

Análise de áreas suscetíveis a escorregamentos na bacia de drenagem de Fradinhos, Vitória/ES, frente ao Plano Diretor Urbano e uso e cobertura da terra

Julia Frederica Effgen
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Jeniffer Oliveira Nepomuceno do Couto
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Eberval Marchioro
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

Resumo

Escorregamentos em áreas urbanas são um problema ambiental que afeta socioeconomicamente a população residente. No Brasil, a região Sudeste é palco constante deste processo. Uma das tipologias de movimentos de massa mais recorrentes é a de escorregamentos translacionais, o qual também se manifesta em Vitória/ES. Em função disto analisou-se as áreas de suscetibilidade a escorregamentos translacionais na bacia de drenagem de Fradinhos, através do modelo SHALSTAB, levando em consideração o zoneamento definido pelo Plano Diretor Urbano de Vitória/ES e das classes de uso e cobertura da terra. As áreas de mais alta suscetibilidade estão associadas, principalmente, com as Zonas de Proteção Ambiental (ZPA) e Especiais de Interesse Social (ZEIS). A ZPA ocupa a maior área da bacia (76,3%) e tem as maiores frequências relativas entre todos os níveis de suscetibilidade a escorregamentos, com destaque para baixa e média (31,3% e 24,2%, respectivamente). A ZEIS tem suscetibilidade a escorregamentos variando entre baixa e incondicionalmente instável, com predominância desta última classe, com 1,9% da área total da bacia. Faz-se necessário limitar a expansão urbana para as encostas da bacia de drenagem de Fradinhos, já que a expansão urbana pode contribuir para o aumento das áreas de instabilidade.

Palavras chave: Escorregamentos translacionais. Plano Diretor Urbano. Uso e cobertura da terra.

Abstract

Landslides in urban areas are an environmental problem that affects socioeconomically the resident population. In Brazil, the Southeastern region has become a “hot spot” for this process. Shallow landslides are one of the most recurrent types of landslide in Southeastern Brazil, as it is in Vitória. Therefore we analyzed the areas susceptible to shallow landslides at the Fradinhos watershed, through the SHALSTAB model, taking into consideration Vitória’s Urban Master Plan and land use. The areas most susceptible to landslides are associated, mostly, with Environmental Protection Zones (ZPA) and Special Social Interests Zones (ZEIS). The ZPA occupies the largest part of the watershed (76.3%) and has the greatest frequency amongst all susceptibility levels to landslides, specially in low and average classes (31.3% and 24.2% respectively). The ZEIS has susceptibility levels ranging from low to “unconditionally unstable”, with predominance of the latter class (1.9% of the watershed’s area). It is necessary to limit the urban expansion towards the Fradinhos watershed’s slopes, given that this could contribute to expand instability areas.

Keywords: Shallow landslides. Urban Master Plan. Land use.

juliaeffgen@gmail.com
nepcouthotmail@hotmail.com
ebervalm@gmail.com

Introdução

Os escorregamentos translacionais têm se constituído como um dos principais problemas ambientais em áreas urbanas. Tal fato tem sido atribuído à combinação de fatores deflagradores naturais com aqueles oriundos de transformações das encostas para sua apropriação pela sociedade corroborando para o impulsionamento de tal dinâmica evolutiva do relevo. Vale a pena esclarecer que as encostas, em sua maioria, são ocupadas sem a devida observância das características limitantes à ocupação, sendo que tais características estão regulamentadas por legislações de âmbito Federal, Estadual e Municipal. Portanto, quando há a ocorrência de escorregamentos, os habitantes das comunidades afetadas sofrem perdas de ordem socioambiental, humana e econômica.

No Sudeste Brasileiro, os problemas são ainda mais pronunciados por causa de relevo íngreme e clima quente e úmido, potencializadores de escorregamentos. Essas condições são encontradas, por exemplo, nas encostas da Serra do Mar e da Mantiqueira (AMARAL, 1996; FERNANDES; AMARAL, 2011; GUIDICINI; NIEBLE, 1983; IPT, 1991; LISTO; VIEIRA, 2012; ZAIDAN, 2006). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), nestas duas serras estão os maiores contingentes populacionais do país, com destaque para as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro e suas regiões metropolitanas. Os estudos de previsão de ocorrências de movimentos de massa, se tornam, portanto, de extrema importância, considerando que nos últimos anos houve um aumento no número de registros de escorregamentos em encostas urbanas – sendo a causa primordial justamente a ocupação desordenada das encostas.

No cenário do sudeste brasileiro encontra-se o Estado do Espírito Santo, que é um dos mais afetados por escorregamentos no Brasil (TOMINAGA, 2009). Entre os diversos exemplos de escorregamentos, pode-se destacar o ocorrido em Vitória, em 1985, denominado de Morro do Macaco, quando depois de dois dias de precipitação intensa aconteceu um escorregamento, vitimando cerca de 40 pessoas e, deixando diversos desaparecidos e desabrigados (GOULART, 2005; SALAROLI, 2003).

Considerando a preocupação crescente com a ocorrência de escorregamentos rasos ou translacionais na capital do Espírito Santo, este trabalho pretende subsidiar o planejamento e gestão ambiental a partir da análise das áreas suscetíveis aos escorregamentos na bacia de drenagem de Fradinhos, Vitória/ES. Pretende-se ainda confrontar os dados referentes aos escorregamentos com os zoneamentos proposto pelo Plano Diretor Urbano da capital (VITÓRIA, 2018a; 2018b) e o uso e cobertura da terra.

Caracterização da área de estudo

A bacia de drenagem de Fradinhos se localiza na face sudeste do Maciço Central de Vitória/ES, com 2,27 km² de área, e abrange nove bairros (Figura 1), com população aproximada de 20 mil habitantes na região (VITÓRIA, 2018b). Neste Maciço está a porção mais elevada do município de Vitória/ES. Vale ressaltar que Vitória/ES tem população de 360 mil habitantes, distribuída em 96,5 km². Com altas declividades, sob ação de desmatamento e alterações para dar lugar a moradias, as encostas de Vitória passaram a sofrer processos erosivos e de

movimentos de massa (IBGE, 2016; VITÓRIA, 2013).

O clima da capital capixaba é quente e úmido, com temperatura média anual de 25,3°C e precipitação média anual de 1303,5 mm, para a normal climatológica de 1961-2015. Os meses de novembro a janeiro apresentam as maiores precipitações médias, enquanto o período entre junho e agosto apresentam as menores (EFFGEN, 2018).

A bacia de drenagem de Fradinhos tem uma única unidade geológica identificada, em mapeamento de escala 1:100.000. A unidade Maciço Vitória é parte da Suíte Intrusiva do Espírito Santo, com idade entre 542-488 Ma (período Cambriano, era Paleozoica). Esta unidade apresenta granitos alcalinos, de granulação fina a média, e corpos quase circulares, sendo alguns de caráter intrusivo (BRASIL, 1983; CPRM, 2015). Já em termos geomorfológicos, o mapeamento do Espírito Santo foi realizado por Coelho *et al.* (2012) em escala 1:250.000, tendo sido retrabalhada a partir do Projeto RADAMBRASIL, de escala 1:1.000.000 (BRASIL, 1983). A bacia de drenagem de Fradinhos está enquadrada na unidade de Colinas e Maciços Costeiros, caracterizada por ter cotas altimétricas baixas em relação às outras unidades do Domínio Morfoestrutural da Faixa de Dobramentos Remobilizados (do qual faz parte). Por fim, em termos pedológicos, o solo presente na bacia de Fradinhos é da classe Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, caracterizado pelo horizonte A moderado, de textura de média-argilosa a muito argilosa e associado a relevo forte ondulado a montanhoso. A escala do mapeamento de solos consultado é 1:250.000 (BRASIL, 1983; CUNHA *et al.*, 2016).

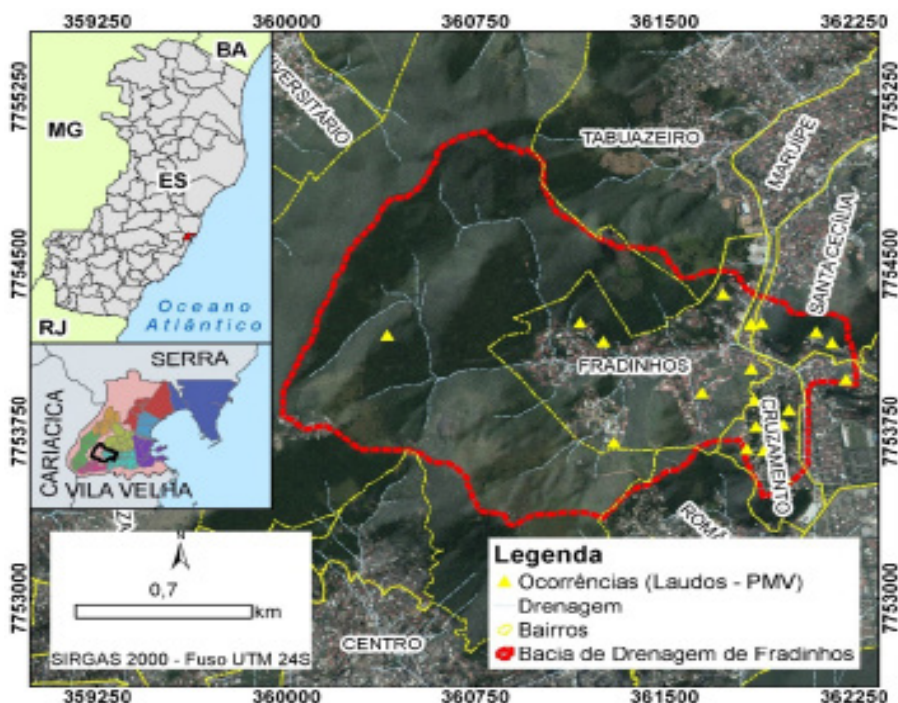


Figura 1 – Localização da Bacia de Drenagem de Fradinhos, Vitória/ES (EFFGEN, 2018).

Materiais e métodos

Na execução deste trabalho, as operações de geoprocessamento foram realizadas através do *software* ArcMap™ 10.3 (ESRI, 2015), enquanto as análises de frequências (percentuais de ocorrência de classes de suscetibilidades, por exemplo) foram feitas através do Excel, do pacote Office 365 (MICROSOFT, 2018). Os planos de informações de limites estaduais e municipais foram obtidos no Portal de Mapas (IBGE, 2017), enquanto os planos de informações dos Bairros e do PDU de 2018 de Vitória foi obtido no *site* “Vitória em Dados” (VITÓRIA, 2018b). Já o mapeamento de uso e cobertura da terra foi realizado por Effgen (2018), sobre o ortofotomosaico de 2012 (IEMA, 2012a), com aplicação da metodologia e cores de classes de mapeamento propostas por IBGE (2013).

Os laudos de registros de movimentos de massa foram cedidos pela Prefeitura Municipal de Vitória (2016) ao Laboratório de Monitoramento e Modelagem de Sistemas Ambientais (LAMOSA) e usados para validação dos dados obtidos. Couto (2018) os organizou em planilha, com registros de datas e horários (quando informados), tipologia do movimento, coordenadas, se houve pluviosidade anterior ao movimento e o volume dela, material movimentado, prejuízos estimados, entre outras informações.

Os planos de informações cartográficas de curvas de nível (5m de equidistância) e pontos cotados (IEMA, 2012b) também foram cedidos ao LAMOSA, tendo sido elaborados pela Hiparc Geotecnologias LTDA. A partir da ferramenta *Topo to Raster* foi elaborado um modelo digital de elevação (MDE) com *pixel* de 3 x 3m. Através do MDE foram gerados os planos de informação de declividade e área de contribuição. Este último foi calculado através do pacote TauDEM (TARBOTON, 2015). Ambos são requisitados pelo modelo escolhido.

O modelo SHALSTAB, *ShallowStability*, foi utilizado para o mapeamento de suscetibilidades a escorregamentos rasos na área de estudo. Este modelo foi elaborado por Montgomery e Dietrich (1994), sendo determinístico, de base físico-matemática, que busca identificar as áreas de maior influência topográfica para a ocorrência de escorregamentos rasos, associados as áreas de convergência de fluxos e altas declividade. Este modelo já foi usado em diversas áreas do mundo, com bons resultados, mesmo calculando a situação limite de estabilidade das encostas, sem considerar a mudança de estados de saturação durante eventos de chuvas (FERNANDES, 2016; MELO; KOBIYAMA, 2018). No Brasil, Zaidan (2006), Vieira (2007), Silva *et al.* (2013), Fernandes *et al.* (2001; 2004), utilizaram o SHALSTAB em seus trabalhos, dentre muito outros, com sucesso (MELO; KOBIYAMA, 2018).

A equação 1 é referente à forma de controle topográfico, fruto da combinação de dois modelos: hidrológico *steady-state*, baseado no trabalho de O’Loughlin (1986) e de estabilidade de encostas baseado na Equação do Talude Infinito (SELBY, 1993).

$$\log\left(\frac{Q}{T}\right) = \frac{\text{sen } \theta}{a/b} + \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \varphi}\right) \quad (1)$$

onde Q é a chuva crítica necessária para a iniciação de escorregamentos translacionais (m/dia), T é a transmissividade do solo (m²/dia), a é a área drenada a montante (m²), b é o comprimento de contorno de cada elemento topográfico

(m), é a densidade aparente do solo úmido (kg/m^3) e é a densidade da água (kg/m^3), é a declividade (graus) e é o ângulo de atrito do material (graus). Os valores usados na modelagem estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Nomes, coordenadas, altitude, densidade aparente do solo úmido e ângulo de atrito dos pontos amostrados.

Pontos	X (m)	Y (m)	Z (m)	Densidade aparente do solo úmido (ρ_s) (kg/m^3)	Ângulo de atrito (φ) (graus)
Floresta	360891	7754105	78,9	1610	30,58
Fonte Grande	360197,4	7753978,5	249,2	1500	27,52
Varejão	361277,9	7753698,1	46,8	1790	24,77

Para a obtenção dos valores de densidade aparente do solo úmido e ângulo de atrito foram coletadas amostras indeformadas de solo na região de estudo, segundo a norma NBR 9604:2016 (ABTN, 2016), e realizados ensaios de cisalhamento direto, de acordo com a norma D3080:2012 (ASTM, 2012). A espacialização dos parâmetros foi feita utilizando o algoritmo *Inverse Distance to a Power* (Potência do Inverso da Distância), com potência igual a 2, tornando o método de interpolação em quadrado do inverso da distância. O *software* utilizado foi o Surfer™ 14 (GOLDEN SOFTWARE, 2017). A medida de incerteza não foi calculada, uma vez que o método é de base geométrica e as distâncias calculadas são euclidianas (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Zaidan (2006) adaptou as classes de estabilidade geradas pelo SHALSTAB para facilitar a interpretação dos resultados, tornando-as: áreas estáveis, áreas de média instabilidade e áreas instáveis. A validação do modelo foi feita comparando as áreas modeladas com os registros de laudos de ocorrência de escorregamentos (PMV, 2016).

Resultados e discussão

A Figura 2 mostra o uso e cobertura da terra da bacia de drenagem de Fradinhos e as frequências de cada classe de uso e cobertura da terra. As classes de uso de maior incidência são as de Florestas e Matas Naturais e Urbano, com respectivamente 55,8% e 24,2%. Já o Zoneamento Urbanístico de Vitória para a Bacia de Drenagem de Fradinhos é visto na Figura 3, onde se verifica o predomínio absoluto da Zona de Proteção Ambiental, com 76,3% da área, e, posteriormente, da Zona de Ocupação Restrita, com 14,6%.

Por sua vez, na Figura 4 verificam-se as áreas de suscetibilidades a escorregamentos translacionais e as frequências de cada classe. As de baixa suscetibilidade e incondicionalmente estáveis são em conjunto predominantes, com 41,5% e 1%, respectivamente, da área da bacia de drenagem de Fradinhos. Nessas

áreas ocorrem encostas de baixa declividade ou planas e pouca convergência de fluxos (vide Figura 5). Já as áreas de média suscetibilidade ocupam 31,8% da bacia, sendo de transição entre as de baixa e alta suscetibilidade, com declividades variando de média a alta, comportamento de fluxos de divergente a convergente e áreas de contribuição a montante medianas. As áreas de alta suscetibilidade ocupam 6,7% da bacia, com encostas de alta declividade, grandes áreas de contribuição a montante e características de fluxos superficiais e subsuperficiais de convergência. Por fim, as áreas incondicionalmente instáveis são 19% da área da bacia de drenagem de Fradinhos e estão associadas aos terços médios e superiores das encostas, de alta declividade, grandes convergências de fluxos e áreas de contribuição a montante.

O modelo SHALSTAB considera os fundos de vale como áreas estáveis, mesmo em condição de saturação do solo, enquanto as áreas consideradas de baixa instabilidade são as encostas divergentes e de baixa inclinação. As áreas de maior instabilidade são as associadas a cabeceiras de drenagem, com convergências de fluxos (*hollows*) e alta declividade (FERNANDES *et al.*, 2001; 2004; LISTO; VIEIRA, 2012; MONTGOMERY; DIETRICH, 1994).

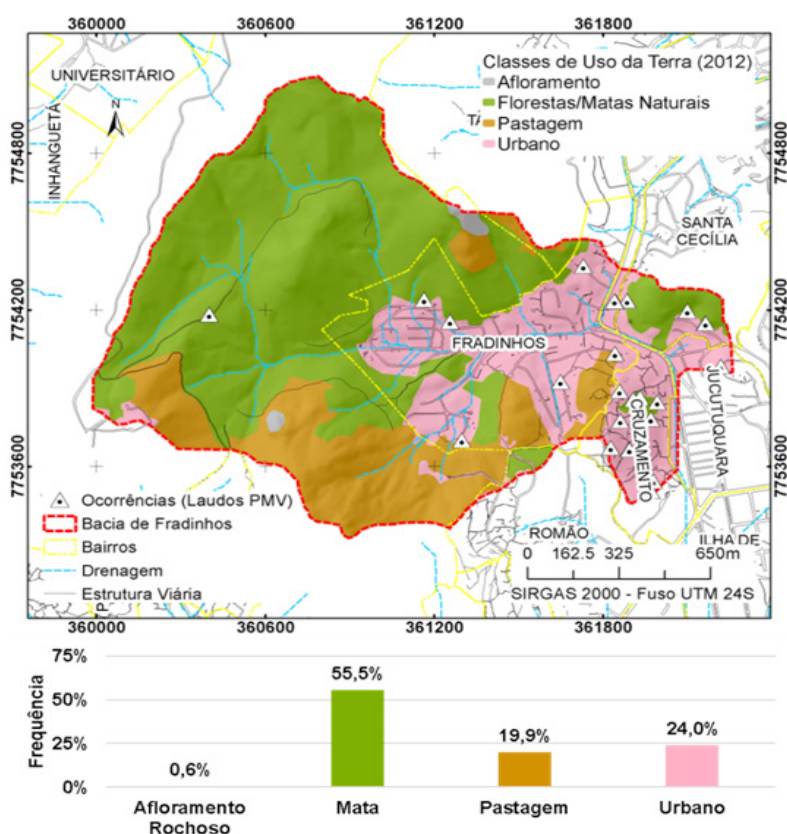


Figura 2 – Uso e Cobertura da Terra da bacia de drenagem de Fradinhos.

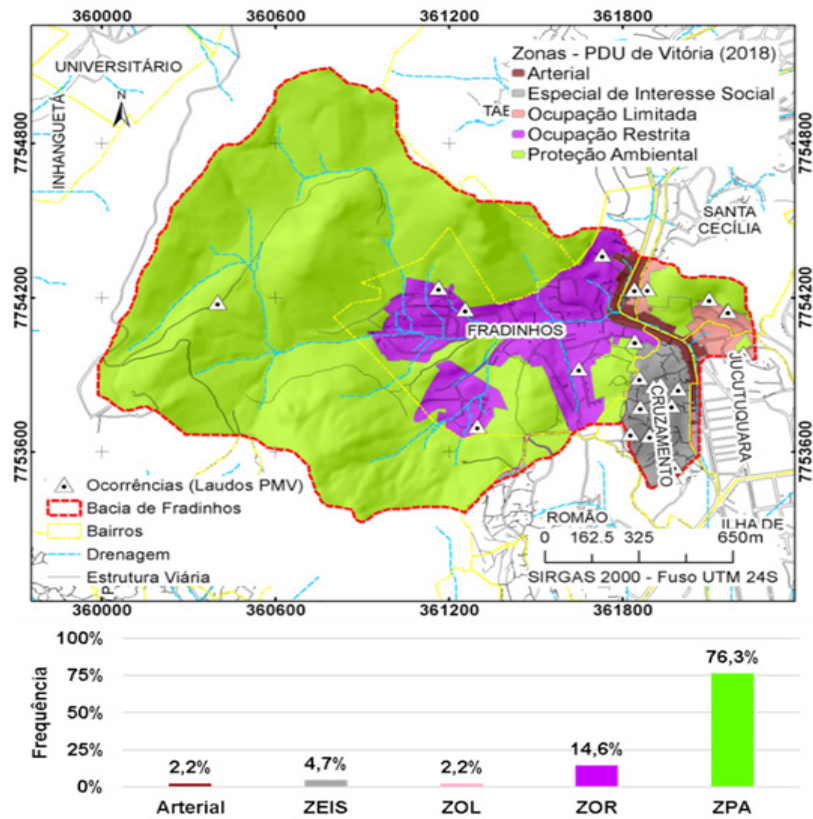


Figura 3 – Zoneamento Urbanístico, Plano Diretor Urbano de Vitória.

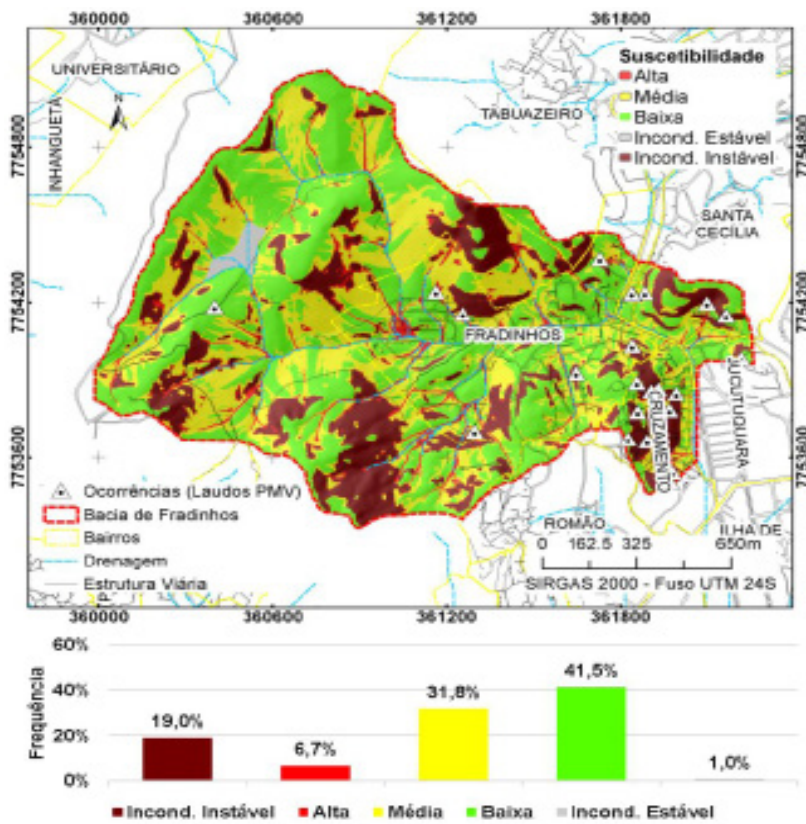


Figura 4 – Zoneamento de suscetibilidades na bacia de drenagem de Fradinhos.

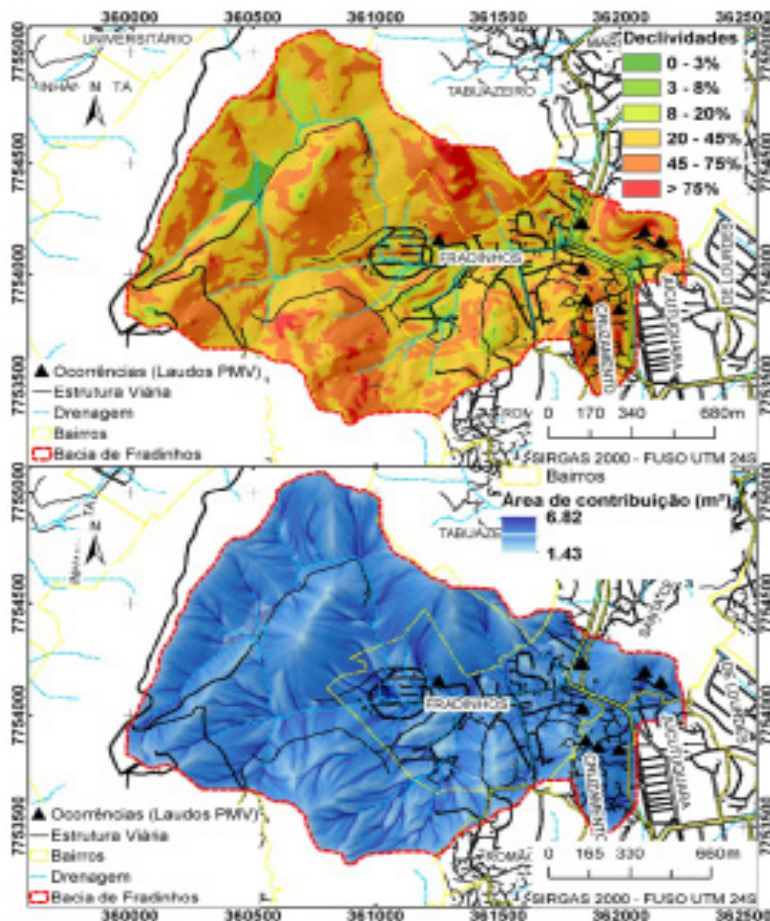


Figura 5 – Declividades e área de contribuição da bacia de drenagem de Fradinhos.

Dos 21 laudos de registros de escorregamentos translacionais na bacia de Fradinhos, oito estão em áreas modeladas como incondicionalmente instáveis e três em áreas modeladas como de alta instabilidade (representando 52,4% do total dos laudos). Em áreas modeladas como de média instabilidade, três laudos foram registrados (14,3%). Um terço dos laudos foram registrados em áreas de baixa instabilidade, nas proximidades de outras classes de suscetibilidade a movimentos de massa.

Os laudos de registros de movimentos de massa da Prefeitura Municipal de Vitória apresentam forte viés posicional, uma vez que as coordenadas são coletadas, não necessariamente nos locais exatos onde ocorreram os movimentos de massa, mas nas residências que solicitaram vistoria da Defesa Civil municipal ou órgão competente (SALAROLI, 2003). Na Tabela 2 observa-se a frequência cruzada entre os planos de informação de Zoneamento urbanístico, Uso e Cobertura da Terra e níveis de suscetibilidade a escorregamentos translacionais.

Tabela 2 – Frequências relativas a área total da bacia de Fradinhos em relação a Zoneamento do PDU, Uso e Cobertura da Terra e Níveis de Suscetibilidade

Zoneamento PDU (2018) Uso e Cobertura da Terra (2012)	Níveis de Suscetibilidade					Total
	Incond. instável	Alta	Média	Baixa	Incond. estável	
Arterial	0,0%	0,2%	0,9%	0,9%	0,1%	2,2%
Mata	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Urbano	0,0%	0,2%	0,9%	0,9%	0,1%	2,1%
ZEIS	1,9%	0,3%	1,3%	1,2%	0,0%	4,7%
Mata	0,2%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,4%
Pastagem	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Urbano	1,6%	0,2%	1,2%	1,2%	0,0%	4,3%
ZOL	0,3%	0,1%	0,7%	1,0%	0,1%	2,2%
Mata	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
Urbano	0,2%	0,1%	0,7%	1,0%	0,1%	2,1%
ZOR	1,3%	1,6%	4,6%	7,1%	0,0%	14,6%
Mata	0,3%	0,0%	0,1%	0,2%	0,0%	0,6%
Pastagem	0,1%	0,0%	0,2%	0,1%	0,0%	0,4%
Urbano	0,9%	1,6%	4,4%	6,7%	0,0%	13,6%
ZPA	15,6%	4,4%	24,2%	31,3%	0,8%	76,3%
Afloramento Rochoso	0,5%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,6%
Mata	7,8%	3,2%	19,7%	22,8%	0,8%	54,3%
Pastagem	7,0%	1,1%	4,1%	7,2%	0,0%	19,4%
Urbano	0,3%	0,1%	0,4%	1,2%	0,0%	2,0%
Total Geral	19%	6,7%	31,8%	41,5%	1%	100%

Na Figura 6 temos a relação entre os 21 laudos de escorregamentos translacionais relatados na bacia de drenagem de Fradinhos, os zoneamentos urbanísticos delimitados pelo novo PDU (VITÓRIA, 2018a) e os usos e coberturas de terra locais. Em relação aos usos e cobertura da terra, há predominância clara de laudos registrados em zonas urbanizadas, com 61,9% dos registros, enquanto as florestas têm 1/3 dos laudos registrados e as zonas de pastagens tem apenas um laudo registrado (4,8% do total).

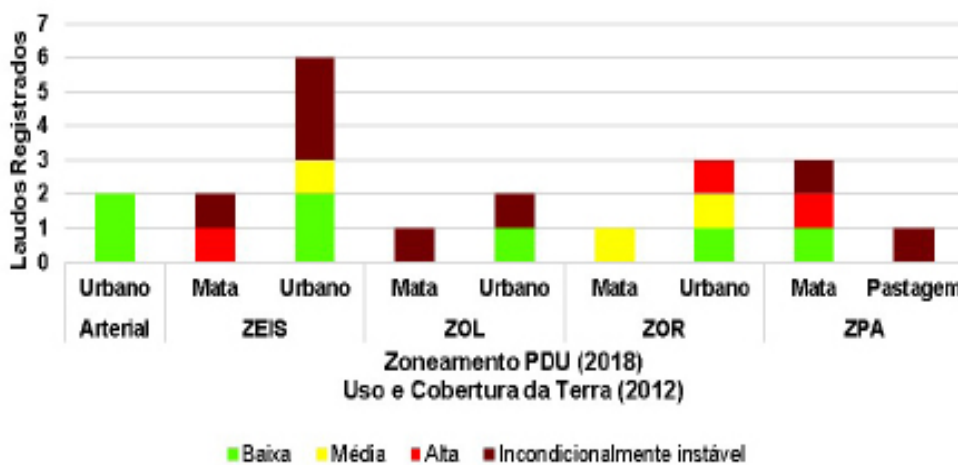


Figura 6 – Laudos de escorregamentos translacionais registrados em Fradinhos, de acordo com Zoneamento do PDU (VITÓRIA, 2018a) e Uso e Cobertura da Terra

Com relação ao zoneamento, pode-se afirmar que a Zona Arterial (ZAR) ocupa 2,2% da área da bacia de Fradinhos e é a única que não tem áreas incondicionalmente instáveis, tendo avaliação de suscetibilidade majoritariamente de média a incondicionalmente estável. Tal fato se deve a posição topográfica que esta zona ocupa (região baixa e plana, com pouca convergência de fluxos), com uso quase exclusivamente urbano. As ZARs são, prioritariamente, destinadas a concentração de transportes coletivos e devem atender a políticas metropolitanas de mobilidade urbana, de acordo com o PDU de Vitória (2018a). Possuem dois laudos de escorregamentos registrados pela Defesa Civil de Vitória/ES, com uso urbano e avaliação de baixa suscetibilidade a escorregamentos.

A Zona Especial de Interesse Social (ZEIS) ocupa 4,7% da bacia, sendo predominante na encosta leste. No artigo 24, as ZEIS são definidas como

(...) porções do território onde deverá ser promovida a regularização urbanística e fundiária dos assentamentos habitacionais de baixa renda existentes e consolidados e o desenvolvimento de programas habitacionais de interesse social nas áreas não utilizadas ou subutilizadas (VITÓRIA, 2018a).

A ZEIS tem suscetibilidade a escorregamentos variando entre baixa e incondicionalmente instável, com predominância desta última classe (1,9% da área total da bacia). O uso nesta zona é predominantemente urbano (Figura 7), com características topográficas de altas declividades e grandes áreas de contribuição de fluxos, conforme observado na Tabela 2 e Figura 5. Dos laudos da Defesa Civil, oito estão nessa zona, como pode ser observado na Figura 6. Quatro desses pontos de ocorrência são classificados incondicionalmente instáveis, sendo que três tem uso urbano e um tem cobertura florestal. A retirada de vegetação para ocupação urbana, com possível lançamento de esgoto e lixo em encostas de alta declividade e convergência de fluxos, agrava uma situação de suscetibilidade alta natural do relevo, tornando a área ocupada de elevado risco para a população ali residente. As características topográficas tornam o zoneamento justificado, uma vez que entre seus objetivos estão a regularização urbanística e fundiária dos assentamentos ocupados pela população de baixa renda e a eliminação dos riscos decorrentes de ocupações em áreas inadequadas (BRASIL, 2001; VITÓRIA, 2018a).

A Zona de Ocupação Limitada (ZOL) ocupa a menor área da bacia (2,2% do total), com predominância de suscetibilidades baixa e média, respectivamente (Tabela 2). A posição topográfica deste zoneamento contribui para a classificação, uma vez que este fica nas porções baixas das encostas a leste/nordeste, com pouca convergência de fluxos e baixa declividade (Figura 5). A ZOL tem três registros de escorregamentos translacionais, sendo dois em áreas incondicionalmente instáveis com uso urbano e de floresta, e um em zona urbana com baixa suscetibilidade (Figura 6). O uso nesta zona é predominantemente residencial e com demanda para instalação de atividades geradoras de empregos, mas com necessidade de adequação urbanística para haver intensificação de usos urbanos, de acordo com o artigo 23 do PDU. Além disso, tem como objetivos preservar e conter a ocupação de locais de interesse ambiental (como a ZPA imediatamente a norte desta zona, vide Figura 3) e estender a infraestrutura de saneamento básico a zonas precárias e com risco (VITÓRIA, 2018a).



Figura 7 – Vista parcial do bairro Cruzamento, porção leste da bacia (acervo da autora).

As Zonas de Ocupação Restrita têm como características a predominância de usos residenciais, restrições ao aumento da ocupação urbana em função de marcos paisagísticos, ruas sem saídas e com grande declividade (VITÓRIA, 2018a). Quatro laudos de escorregamentos foram registrados pela Defesa Civil em ZORs, com suscetibilidades variando entre baixa e alta (Figura 6). As áreas de baixa suscetibilidade somam 7,1% da área total da bacia, sendo que cerca de 7% estão em uso urbano. As áreas de alta suscetibilidade e incondicionalmente instáveis somam 2,9% do total da bacia, com 2,5% em uso urbano. Vale ressaltar que o setor centro-sul da bacia de Fradinhos (Figura 3), onde se localiza uma parte da ZOR, é caracterizado por altas declividades, grande convergência de fluxos e presença de blocos e cicatrizes de escorregamentos pretéritos, como pode ser verificado na Figura 8. O uso é predominantemente vinculado a matas e pastagens, com pouca presença de moradias e vias de acesso.



Figura 8 – Cicatriz de escorregamento na zona de ocupação restrita (ZOR), com presença de blocos, ao lado de uma residência (acervo da autora).

A Zona de Proteção Ambiental ocupa a maior área da bacia (76,3%) e tem as maiores frequências relativas entre todos os níveis de suscetibilidade a escorregamentos, com destaque para baixa e média (31,3% e 24,2%, respectivamente - Tabela 2). A ZPA tem registro de quatro laudos, sendo dois em áreas incondicionalmente instáveis com uso de floresta e pastagem, um em suscetibilidade alta em floresta e um de baixa suscetibilidade em floresta (Figura 6). De acordo com o artigo 17 do PDU (VITÓRIA, 2018a), as ZPAs têm como características a presença de fatores geológicos, hidrológicos, paisagísticos e biológicos (entre outros) importantes para o equilíbrio ambiental e bem-estar da população, com necessidade de preservação e conservação. Além disso, as ZPAs são delimitadas de forma a preservar a estabilidade do solo e as redes de drenagem. De fato, os usos associados as ZPAs são predominantemente de matas e florestas naturais e pastagens, com declividades variando de baixa a alta, assim como as áreas de convergência de fluxos, como pode ser observado na Figura 9.



Figura 9 – Vista parcial da bacia de drenagem de Fradinhos (visada a partir da face sul da bacia), com Pedra dos Olhos e Vitória ao fundo (fonte: VASCONCELOS, 2017).

A cobertura de afloramento rochoso, que ocupa 0,6% da área, é referente à Pedra dos Olhos (norte) e a campos de matações (sul), e tem encostas com classificação de incondicionalmente instáveis (Figura 6 e Tabela 2). No entanto, a instabilidade apontada é um erro do modelo SHALSTAB, que tende a classificar áreas de afloramento rochoso como incondicionalmente instáveis mesmo que tais áreas tenham declividades tão altas a ponto de não permitirem acumulação significativa de solo para gerar escorregamentos translacionais (FERNANDES *et al.*, 2001; 2004; MONTGOMERY; DIETRICH, 1994).

Diante do acima apresentado, as áreas de alta suscetibilidade e incondicionalmente instáveis somam 20% da extensão da bacia e estão vinculadas às porções mais inclinadas e convergentes do relevo, com uso associado de 68

florestas e pastagens. As áreas de maior estabilidade ocupam 0,8% do total da bacia, com baixa característica de concentração de fluxos. A predominância dessa classe na ZPA está associada a uma soleira estrutural localizada na porção oeste da bacia (GOULART, 2005). A presença de ocupação urbana é baixa nessa zona (2,1% no total) porque a implantação de edificações é condicionada a emissão de parecer técnico da Secretaria de Meio Ambiente (VITÓRIA, 2018a).

Conclusões

A bacia de drenagem de Fradinhos apresenta maior suscetibilidade a escorregamentos translacionais em áreas associadas a Zona de Proteção Ambiental, com destaque para as florestas e pastagens. Tal fato corrobora as diretrizes do zoneamento promovido pela Lei 9.271/18, uma vez que visa a prevenção e redução dos riscos urbanos e ambientais (VITÓRIA, 2018a). Quatro dos vinte e um laudos de escorregamentos registrados na bacia estão neste zoneamento. A quantidade baixa de registros, porém, é explicada pela não-ocupação da ZPA e, portanto, o não registro de escorregamentos pela Defesa Civil de Vitória/ES, uma vez que os registros são feitos prioritariamente onde há ocupação.

A ZEIS, por outro lado, ocupa cerca de 5% da área total da bacia, com suscetibilidade predominantemente alta a escorregamentos translacionais e uso urbano. Oito laudos estão associados a esse zoneamento, sendo seis em uso urbano, com três deles em áreas de instabilidade incondicional das encostas.

A presença de cicatrizes e blocos nas encostas na bacia de drenagem de Fradinhos são indicativos de movimentos de massa pretéritos, e há concordância entre os registros de movimentos de massa e áreas de ocupação urbana e de florestas. Estudos mais aprofundados de previsão de movimentos de massa são necessários para o município de Vitória/ES, uma vez que diversos gatilhos/condicionantes estão presentes na paisagem da capital capixaba. Pesquisas que elucidem a distribuição espacial das condicionantes e áreas mais suscetíveis são fundamentais para o planejamento urbano exitoso, assim como a distribuição das áreas com populações mais vulneráveis e das áreas que podem receber os materiais movimentados.

Referências bibliográficas

AMARAL, C P. *Escorregamentos no Rio de Janeiro: inventário, condicionantes geológicas e redução do risco*. 1996. 269 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). *D3080/D3080M: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*. Montgomery County: ASTM, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 9604: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas*. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. *Projeto RADAMBRASIL: Folha SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória*. Rio de Janeiro, 780p. 1983.

_____. *Estatuto da Cidade. Lei 10257/2001*. 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7802.htm>. Acesso em: 20 jun. 2018.

_____. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. 1988.

Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7802.htm>. Acesso em: 20 jun. 2018.

COELHO, A. L. N. *et al.* *Mapeamento geomorfológico do estado do Espírito Santo*. IJSN, Vitória, (Nota Técnica 28), 21p. 2012.

COROMINAS, Jordi *et al.* Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, v. 73, n. 2, p. 209–263, 2014.

COUTO, J. O. N. *INVENTÁRIO DOS MOVIMENTOS DE MASSA DA BACIA DE DRENAGEM DE FRADINHOS-ES*. 94 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel) – Curso de Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2018.

COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS. *GEOBANK*. Disponível em: <<http://geobank.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 18 maio 2015.

CUNHA, A. D. M.; FEITOZA, H. N.; FEITOZA, L. R.; OLIVEIRA, F. S.; LANI, J. L.; CARDOSO, J. K. F.; TRINDADE, F. S. ATUALIZAÇÃO DA LEGENDA DO MAPA DE RECONHECIMENTO DE SOLOS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO E IMPLEMENTAÇÃO DE INTERFACE NO GEOBASES PARA USO DOS DADOS EM SIG. *Geógrafos*, 2(22), 32–65. 2016.

EFFGEN, J. F. *SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS NA BACIA DE DRENAGEM DE FRADINHOS, VITÓRIA/ES*. 120 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2018.

ENVIRONMENTAL SYSTEM RESEARCH INSTITUTE (ESRI). (2015). *ArcMap 10.3*. Disponível em: <<http://www.esri.com>>. Acesso em: 20 jun. 2015.

FERNANDES, N. F. (2016). Modelagem em Geografia Física: Teoria, Potencialidades e Desafios. *Espaço Aberto*, v. 6, n. 1, p. 209-247.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de Massa: Uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro: pp. 123-194. 2011.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, S.l., v. 2, n. 1, p.51-71, jul. 2001. Disponível em: <http://www.ugb.org.br/home/artigos/SEPARATAS_RBG_Ano_2001/Revista2_Artigo05_2001.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2015.

_____. Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modeling. *Catena*, [s.l.], v. 55, n. 2, p.163-181, jan. 2004. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0341-8162\(03\)00115-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0341-8162(03)00115-2). Disponível em: <http://gis.ess.washington.edu/grg/publications/pdfs/Fernandes_et_al.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2015.

GOLDEN SOFTWARE. *Surfer™14*. Disponível em: <<http://www.goldensoftware.com/products/surfer>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

GOULART, A. C. O. *Condicionantes geoambientais na evolução do relevo de um Maciço Costeiro*. 2005. 215 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

GUERRA, A. J. T. Encostas urbanas. In: *Geomorfologia Urbana*. GUERRA, A. J. T. (org.). Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, pp. 13-42. 2011.

GUIDICINI, G; NIEBLE, C.M. *Estabilidade de taludes naturais e de escavação*. Blucher, São Paulo. 1983.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Manual Técnico de Uso da Terra*. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>. Acesso em: 06 jun. 2016.

_____. *Vitória*. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/96J>>. 2016. Acesso em: 13 set. 2016.

_____. *Portal de Mapas*. Disponível em: <<http://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage>>. 2017. Acesso em: 01 fev. 2017.

_____. *Evolução da divisão territorial do Brasil 1872-2010: Evolução da população urbana*. [2010]. Disponível em: <<https://geoftp.ibge.gov.br/>>

organizacao do territorio/estrutura territorial/evolucao da divisao territorial do brasil 1872_2010/evolucao da populacao urbana mapas.pdf>. Acesso em: 02 out. 2018.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (IEMA). Governo do Estado do Espírito Santo. *Ortofotomosaico do Espírito Santo, 2012*. 2012a. Colorida, resolução espacial de 0,25m.

_____. *Curvas de Nível e Pontos Cotados do Espírito Santo, 2012*. 2012b. 5m de equidistância.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). *Ocupação de encostas*. IPT, São Paulo, 216p. 1991.

LISTO, F. L. R.; VIEIRA, B. C. Mapping of risk and susceptibility of shallow-landslide in the city of São Paulo, Brazil. *Geomorphology*, v. 169–170, p. 30–44, out. 2012. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169555X12000311>>. Acesso em: 28 fev. 2017.

MARTINS, T. D.; VIEIRA, B. C.; FERNANDES, N. F.; OKA-FIORI, C.; MONTGOMERY, D. R. Application of the SHALSTAB model for the identification of areas susceptible to landslides: Brazilian case studies. *Revista de Geomorphologie*, v. 19, p. 136–144, 2017. Acesso em: 02 fev. 2018.

MELO, C. M.; KOBAYAMA, M. APLICAÇÃO DO MODELO SHALSTAB NO ESTUDO DE ESCORREGAMENTOS NO BRASIL: REVISÃO. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 19, n. 4, 1 out. 2018. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/1372>>. Acesso em: 10 out. 2018.

MENON JÚNIOR, W.; ZAIDAN, R. T. CONFLITOS DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CORREGO DO YUNG (JUIZ DE FORA-MG) COM A LEGISLAÇÃO DE PARCELAMENTO DO SOLO E SUA EVOLUÇÃO ENTRE OS ANOS 1968 E 2010. *Formação (Online)*, v. 3, n. 23, p. 217–247, 2016a.

_____. Mapeamento de estabilidade de encostas: o caso da bacia hidrográfica do córrego Yung (Juiz de Fora - MG). *Revista de Geografia*, v. 6, n. 2, 2016b.

MICROSOFT. *Pacote Office 365*. [s.l.]: Microsoft, 2018.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. *Water Resources Research*, v. 30, n. 4, p.1153- 1171. 1994.

O'LOUGHLIN, E. M. Prediction of Surface Saturation Zones in Natural Catchments by Topographic Analysis. *Water Resources Research*, v. 22, n. 5, p.794-804, maio 1986.

SALAROLI, I. S. *Movimentos de massa no município de Vitória-ES: Inventário, caracterização e indicativos de um modelo comportamental*. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2003.

SELBY, M. J. *Hillslope materials and processes*. 2. ed. Oxford University Press Inc., New York, 451 p. 1993.

SILVA, E. L.; GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. Emprego de modelo de susceptibilidade a escorregamentos rasos para gestão de riscos de desastres no município de Vitória-ES. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 119-132, Abr. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-45132013000100010&lng=en&nrn=iso>. Acesso em: 25 maio 2015.

TARBOTON, D. G. _____. *Terrain Analysis Using Digital Elevation Models (TauDEM)*. Disponível em: <<http://hydrology.usu.edu/taudem/taudem5/>>. Acesso em: 07 dez. 2015.

TOMINAGA, L. K. Escorregamentos. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.). *Desastres Naturais: conhecer para prevenir*. Instituto Geológico, São Paulo, pp. 11-24.

VASCONCELOS, J. O. *Vitória: um roteiro de 2 dias para conhecer a cidade*. 2017. Disponível em: <<https://blogdestinoes.com.br/vitoria-roteiro-2-dias/>>. Acesso em: 09 set. 2018.

VIEIRA, B. C. (2007). *Previsão de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas*. 213 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

VITÓRIA (Município). *Lei nº 9271, de 21 de maio de 2018. Plano Diretor Urbano do Município de Vitória*. 2018a. Vitória, ES, Disponível em: <<http://www.vitoria.es.gov.br/minhavitoriapdu.php>>. Acesso em: 24 maio 2018.

_____. *Plano de contingência do município de Vitória/ES*. Vitória. 42 p. 2013.

_____. *Vitória em Dados*. 2018b. Vitória. Disponível em: <<http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/home.asp>>. Acesso em: 02 out. 2018.

_____. *Laudos Geológico-Geotécnicos: 1999-2015*. 2016. Vitória. Obs.: obtidos diretamente com a Secretaria, via Sr. Nelson Almeida, em 2016.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. *Geoestatística: conceitos + aplicações*. São

Paulo: Oficina de Textos, 2013. 2. ed. 215p.

ZAIDAN, R. T. *RISCOS DE ESCORREGAMENTOS NUMA BACIA DE DRENAGEM URBANA NO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA – MG*. 113 f. Tese (Doutorado) – Curso de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2006.

ZAIDAN, R. T.; FERNANDES, N. F. ZONEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS EM ENCOSTAS APLICADO A BACIA DE DRENAGEM URBANA DO CORREGO DO INDEPENDÊNCIA - JUIZ DE FORA (MG). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 10, n. 2, p. 57–76, 2009.

_____. Análise de risco de escorregamentos nas encostas edificadas da bacia de drenagem urbana do córrego do Independência - Juiz de Fora (MG). *Revista de Geografia*, v. 5, n. 1, p. 17–32, 2015.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), à Fundação de Amparo a Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) e à Prefeitura Municipal de Vitória (PMV) pelo apoio e fornecimento de bolsas para esta pesquisa.