

MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTOS DE MASSA NO MUNICÍPIO DE VILA VELHA-ES, COM O USO DE ANÁLISE DE PROCESSOS HIERARQUIZADOS (AHP)

MAPPING OF AREAS SUSCEPTIBLE TO MASS MOVEMENTS OF VILA VELHA, ESPÍRITO SANTO STATE

Julia Frederica EFFGEN¹, Eberval MARCHIORO²

¹Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Email: juliaeffgen@gmail.com

²Departamento de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Email: ebervalm@gmail.com

Introdução
Área de estudo
Materiais e Métodos
Mapeamento de suscetibilidade
Resultados e Discussão
Conclusão
Referências

RESUMO - Este artigo objetiva analisar a distribuição das áreas de suscetibilidade a movimentos de massa na Região Administrativa 1 do município de Vila Velha (ES). O método utilizado para realização do trabalho foi o de Análise de Processos Hierarquizados (AHP), com a avaliação das variáveis geologia (cobertura superficial), declividade e curvatura horizontal. Verificou-se que os maciços costeiros, na porção norte da área de estudo, são as áreas de maior suscetibilidade, onde ocorre a combinação de coberturas superficiais da formação Maciço Vitória, declividades predominantemente maiores que 17° e curvaturas horizontais apresentando alternância entre divergentes e convergentes. As colinas costeiras apresentam suscetibilidade variando entre média e alta nos terços médio e inferior das encostas, com declividades entre 17-27°, depósitos aluvionares e curvaturas horizontais divergentes e convergentes alternadas. As áreas de planícies têm baixa suscetibilidade a movimentos de massa, com declividades entre 0-11°, coberturas superficiais formadas por depósitos aluvionares e litorâneos e curvatura horizontal retilínea. O modelo de suscetibilidade gerado foi validado em trabalho de campo, onde foram identificadas cicatrizes de movimentos de massa na porção média e alta das encostas, em conformidade com o modelado.

Palavras-chave: formas de relevo; suscetibilidade; área urbana; Análise de Processos Hierarquizados.

ABSTRACT - This paper seeks to analyze the distribution of susceptibility to mass movement of areas inside the Administrative Region 1, Vila Velha (ES). The method used to carry out was the Analytic Hierarchy Process (AHP), with evaluation of the following variables: geology (as in surface coverage), slope and horizontal curvature. Was found that the Massive Coastal areas are the most susceptible, where there are combination of the "Maciço Vitória" surface covers, slopes steeper than 17° and horizontal curvatures alternating between divergent and convergent. The Coastal Hills shows susceptibility ranging from medium to high in the middle and lower thirds of the ramps, with slopes between 17-27° and alternating divergent and convergent horizontal curvatures. The plains have low susceptibility to mass movement, since the slopes range between 0-11°, the surface coverings are composed of alluvial and coastal deposits and rectilinear curvature. The model was validated with fieldwork, where mass movements scars were identified in the mid and upper portion of the slopes in accordance with the modeled.

Keywords: landforms; susceptibility; urban area; Analytic Hierarchy Process.

INTRODUÇÃO

Movimentos de massa são processos naturais que fazem parte da evolução do relevo terrestre, que ocorrem em diversas escalas espaço-temporais, resultantes do equilíbrio dinâmico da paisagem. A ocorrência desses processos, em áreas ocupadas por populações humanas, é de extrema gravidade, uma vez que causam prejuízos sociais, econômicos e ambientais, tanto em zonas rurais quanto urbanas (Guidicini & Nieble, 1983).

Dentre os fatores naturais que contribuem para os movimentos de massa, podem-se destacar as condições climáticas, a geologia, a geomorfologia, a pedologia, entre outros, conforme salientado por Guidicini & Nieble (1983) e Fernandes & Amaral (2011).

Apesar das características naturais serem fatores importantes para a deflagração de

movimentos de massa, em áreas urbanas, estes são impulsionados pela ação antrópica, que tem se intensificado nas últimas décadas.

Nas cidades, os movimentos de massa podem atingir proporções catastróficas, uma vez que concentram a maior parte da população e têm sido realizadas diversas modificações nas encostas, como corte de taludes, ocupação de áreas declivosas e/ou em fundos de encostas côncavas, que contribuem para potencialização deste processo geomorfológico (Gomes, 2006).

Inúmeros trabalhos foram realizados em diversas áreas urbanas do Brasil nos últimos anos, verificando a relação entre movimentos de massa e as condicionantes naturais e antrópicas. Entre os trabalhos que abordam os condicionantes naturais deflagradores de movimentos de massa, pode-se destacar os

associados a precipitação pluvial (Bertolino et al., 2012; Guimarães et al., 2009; Parizzi et al., 2010, entre outros); a condicionantes topográficas, como declividade e formas de vertentes (Bigarella, 2003; Fernandes et al., 2001, 2004; Ferreira et al., 2008, entre outros); a condicionantes geológicas e pedológicas (Fernandes & Amaral, 2011; Guimarães et al., 2003; Meis & Silva, 1968; Parizzi et al., 2011; Silva et al., 2013, dentre outros); e a atividades de uso e ocupação da terra (Zaidan & Fernandes, 2009, 2015, entre outros).

Para o desenvolvimento desses estudos, as principais metodologias que tem sido utilizadas para a previsão de áreas instáveis são os inventários de movimento de massa; mapeamentos heurísticos, que podem ser diretos, ou seja, baseados em levantamentos de campo, ou indiretos, que se utilizam da combinação de diversos mapas temáticos, com pesos assinalados aos diferentes parâmetros; modelos estatísticos (estatísticas multivariadas ou bivariadas); e modelos determinísticos que são modelos de bases físicas e matemáticas (Van Westen et al., 2006; Vanacôr, 2006). Diante da diversidade de métodos de

modelagem de áreas suscetíveis a movimentos de massa, o presente trabalho utilizou do mapeamento Heurístico indireto, através da combinação de mapas temáticos para avaliar a suscetibilidade a ocorrência de movimentos de massa na Região Administrativa 1 (ou Sede) de Vila Velha (ES), em função dessa região concentrar as áreas de maior declividade do município em questão, bem como uma expansão imobiliária (principalmente residencial), observada nas últimas décadas, próximas aos Maciços e Colinas Costeiras.

Área de Estudo

O município de Vila Velha está localizado na porção centro-leste do estado do Espírito Santo e faz parte da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), limitando-se a leste com Oceano Atlântico, a norte com Vitória, a oeste com Cariacica e Viana, e a sul com Guarapari (Figura 1).

A Região Administrativa 1, também denominada de Sede ou Centro, possui área de 15,69 km², representando aproximadamente 7,50% da área total do município, que é de 209,965 km² (BRASIL, 2016b; INCAPER, 2011).

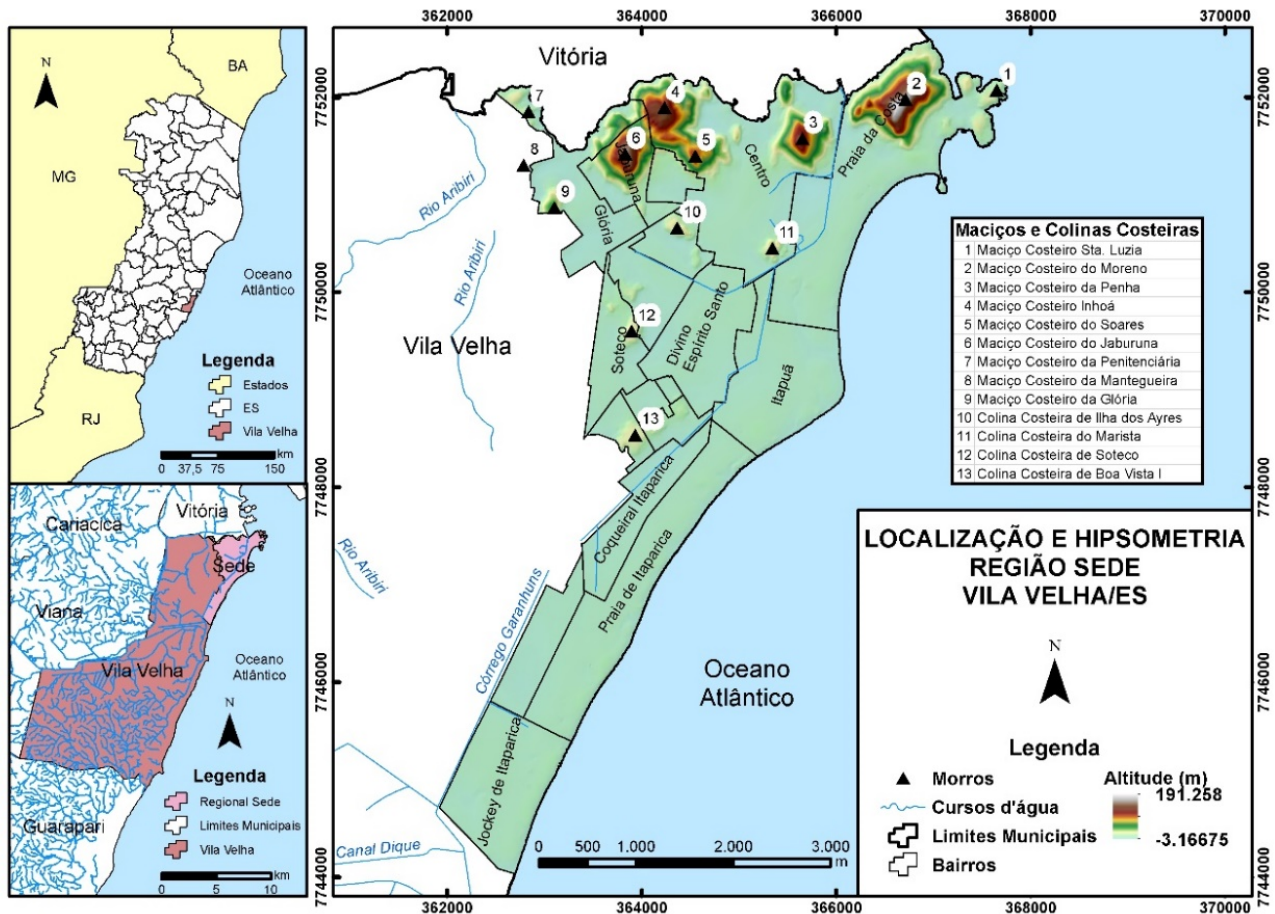


Figura 1 – Localização e Hipsometria da Regional Administrativa Sede.

Atualmente, Vila Velha é o segundo município mais populoso do estado com 414.586 habitantes, dos quais 99% vivem em áreas urbanas, distribuídos em 209,965 km² de área, o que confere densidade demográfica de 1973,59 hab./km² (BRASIL, 2010, 2016b).

A precipitação média anual da regional administrativa Sede é de 1320 milímetros, sendo os meses mais chuvosos novembro, dezembro e janeiro, com temperaturas médias anuais de 25°C (Correa, 2011). De acordo com Silva (2013), as direções dos ventos predominantes em Vila Velha são: Nordeste (NE), durante todo o ano, e Sudeste (SE) e Sul (S) entre abril e setembro devido a atuação das massas de ar.

Durante o inverno, há dominância de passagens de frentes frias, enquanto no verão, acontecem as formações da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) (Marchioro et al., 2016). As principais massas de ar que influenciam o clima do município são a Tropical Atlântica (mTa), a Equatorial Continental (mEc) e, a Polar Atlântica (mPa) (Belo, 2014; Marchioro, 2012; Silva, 2013).

O quadro geológico da região administrativa Sede é dividido entre: Suíte Intrusiva do Espírito Santo, datada em 500 milhões de anos atrás (Proterozóico Superior), com presença de granitos de granulação média a fina e Sedimentos Marinhos, datados entre as épocas do Holoceno e Pleistoceno (cerca de 1 milhão de anos atrás) (BRASIL, 1983; BRASÍLIA, 2001).

De acordo com a Carta Geológica elaborada pelo CPRM em 2014 (folha SF-24-V-B-I Vitória – escala 1:100.000), a área de estudo se divide em: Depósitos Aluvionares, Depósitos Marinhos Litorâneos Recentes e Maciço Vitória (parte da

Suíte Intrusiva Espírito Santo, com presença de granitos de granulação média a fina) (BRASIL, 2015). Baseado no Projeto RADAMBRASIL (1983), a área de interesse está inserida nos domínios morfoestruturais de Depósitos Sedimentares e Faixa de Dobramentos Remobilizados. O domínio dos Depósitos Sedimentares inclui dunas, restingas, tabuleiros e planícies formadas por aluviões arenosos e cascalhentos e sedimentos arenoargilosos. A Faixa de Dobramentos Remobilizados apresenta alto controle estrutural, coincidentes com os dobramentos originais e falhamentos recentes (BRASIL, 1983).

As unidades geomorfológicas da área de interesse são: Acumulação Marinha (áreas planas, podendo assumir formas de praias, canais de maré, cordões litorâneos, terraços arenosos ou cascalhentos), que faz parte do domínio dos depósitos sedimentares; e Colinas e Maciços Costeiros, com modelado de dissecação fluvial fina, que faz parte do domínio de Faixas de Dobramentos Remobilizados (BRASIL, 1983).

O relevo é de predominância plana, com altitude média de 4m para o município, sendo que na área da regional administrativa Sede é de 11m. A média mais elevada em relação ao restante do município deve-se a presença das Colinas e Maciços Costeiros ao norte (IJSN, 2015; INCAPER, 2014).

Os solos encontrados na região administrativa Centro ou Sede são os Argissolos Vermelho-Amarelo e Espodosolos Hidromórficos (BRASIL, 1983). Os principais rios presentes no município são o Jucu, Aribiri, Marinho, Formate e Congo, enquanto nas áreas urbanizadas, destacam-se os canais da Costa, Marinho, Guaranhuns e Bigossi (Belo, 2014; Silva, 2013).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi utilizada a abordagem heurística de mapeamento indireto (ou combinação qualitativa), onde o pesquisador atribui pesos para os parâmetros avaliados.

Para diminuir a subjetividade de julgamento embutida nesta abordagem, durante a distribuição dos pesos dados a cada critério avaliado, foi utilizado o método Análise de Processos Hierarquizados (AHP) (Caixeta et al., 2012; Cardozo & Hermann, 2011; Faria & Augusto Filho, 2013; Ferreira et al., 2008; Martini et al.,

2006, Spínola & Victória, 2012; Van Westen et al., 2006; Vanacôr, 2006).

A figura 2 apresenta as etapas seguidas para a elaboração do mapa final de suscetibilidades a movimentos de massa da Região Sede de Vila Velha (bordas tracejadas indicam produtos gerados, bordas contínuas indicam produtos adquiridos prontos; em itálico e vermelho, as ferramentas utilizadas).

Os parâmetros envolvidos na modelagem de áreas suscetíveis a movimentos de massa na Regional Sede de Vila Velha/ES, são a

cobertura superficial, declividade e curvatura horizontal. Os mapas dos parâmetros envolvidos na modelagem (com resolução

espacial de 5m) foram elaborados com o software ArcMap™ 10.2.2 (ESRI, 2014). A escala final de mapeamento é de 1:100.000.

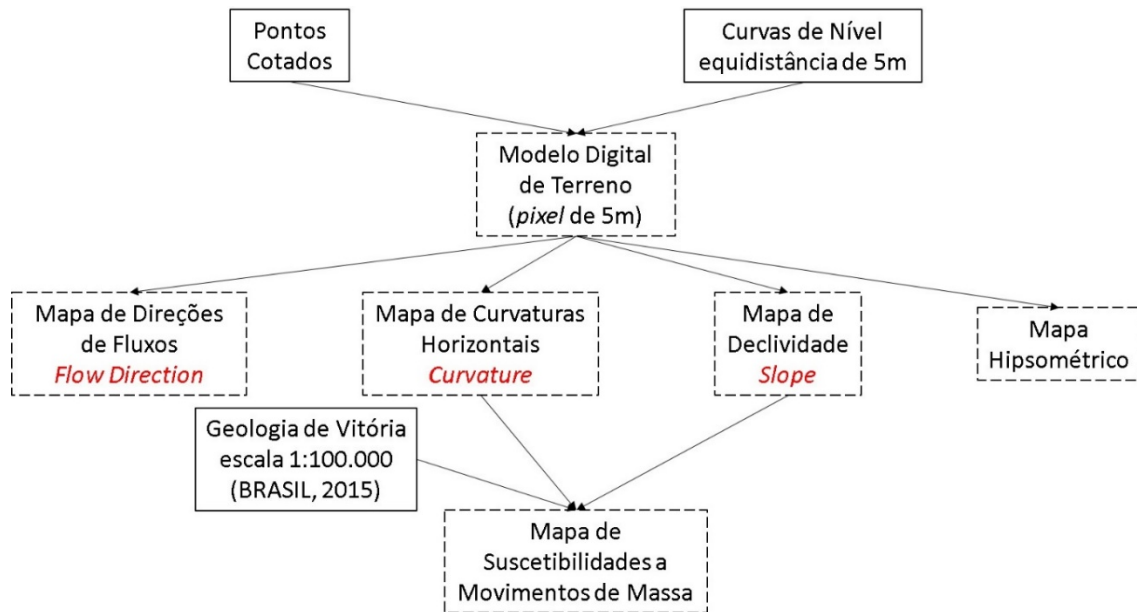


Figura 2 – Fluxograma utilizado para o mapeamento final de suscetibilidade.

O ortofotomosaico de 2012, curvas de nível e pontos cotados de Vila Velha-ES (ESPÍRITO SANTO, 2012a; 2012b) são do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) e foram cedidos pelo Laboratório de Monitoramento e Modelagem de Sistemas Ambientais (LAMOSA).

O plano de informações geográficas vetoriais (*shapefiles*) de divisão de todos os bairros do Espírito Santo foi obtido no *site* do Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN, 2015). Na interface do Portal Geobases, foram obtidos os planos de informação de limites municipais e trechos de drenagem (INCAPER, 2014). Através do IBGE, foram obtidos os planos de informação de limites dos estados brasileiros (BRASIL, 2016a).

O mapa de cobertura superficial foi feito a partir do plano de informação em formato vetorial de Geologia de Vitória-ES (articulação SF.24-V-B-I), obtido no *site* Geobank, da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM). O *shapefile* de Geologia foi convertido para formato matricial (*raster*), com resolução espacial de 5m.

Na região de estudo, as classes foram: Maciço Vitória, Depósitos Aluvionares e Depósitos Litorâneos (BRASIL, 2015). As declividades (em graus) e as curvaturas horizontais foram extraídas do MDT, também com resolução espacial de 5m, através das ferramentas *Slope* e *Curvature* do ArcMap. As declividades foram divididas nas

classes 0-11°; 11-17°; 17-27°; 27-45° e maior que 45°, com base em trabalhos de Bigarella (2003), Faria & Augusto Filho (2013), Fernandes et al., (2001; 2004), Ferreira et al., (2008), Listo & Vieira (2010), Selby (1982), Tominaga (2007), Vanacôr (2006).

As curvaturas horizontais foram divididas em divergentes, convergentes e retilíneas. Segundo Valeriano (2008), os valores de curvatura negativos são de formas convergentes, enquanto os positivos são divergentes; os valores próximos a zero são de formas retilíneas. A divisão das curvaturas horizontais é baseada em trabalhos de Cardozo & Herrmann (2011), Fernandes et al., (2001; 2004), Passarella et al., (2008), Tominaga (2007), Vanacôr (2006).

Mapeamento de Suscetibilidade

A Análise de Processos Hierarquizados (AHP) consiste em “um método de análise multicriterial baseado na ponderação ativa”, onde os fatores a serem avaliados são colocados numa escala de importâncias que varia de 1 a 9 (sendo 1, mesma importância entre critérios, e 9, importância absoluta de um critério sobre outro), com os valores pares (2, 4, 6 e 8) sendo intermediários entre as importâncias definidas (Spínola & Victória, 2012).

O método oferece um meio compreensivo para se modelar um “problema de decisão,

representando e quantificando as variáveis envolvidas em uma hierarquia de critérios ponderados por preferências (pesos)” (Faria & Augusto Filho, 2013).

Os graus de importância são utilizados para estabelecer ordem de relevância e intensidade entre os fatores avaliados.

A consistência da matriz de ponderação é analisada a partir do índice de consistência, dado pela Equação 1, a seguir. O autovalor máximo deve ser o mais próximo de n , que é a ordem da matriz e é dado pela soma dos produtos do total da matriz de ponderação pelos pesos de cada fator avaliado.

Para reduzir a subjetividade do processo de julgamento e atribuição de pesos, são calculados os autovalores máximos e os índices de consistências (o ideal é que tais índices de consistência fiquem abaixo de 0,1 – se os índices

de consistências ficarem maiores que 0,1, os julgamentos devem ser refeitos) (FARIA & Augusto Filho, 2013; Gao & Wang, 2016; Spínola & Victória, 2012).

$$IC = \frac{(\text{autovalor máximo} - n)}{(n-1)} \quad (1)$$

Onde IC é o Índice de Consistência e n é a ordem da matriz avaliada.

A tabela 1 mostra a matriz de ponderação dos parâmetros físicos da modelagem de suscetibilidade a movimentos de massa: Declividade, Curvatura Horizontal e Geologia.

O índice de consistência obtido para a avaliação dos parâmetros gerais é de 0,0277 – o que a torna consistente. Os pesos atribuídos à declividade, curvaturas horizontais e geologia (cobertura superficial) são, respectivamente: 0,633; 0,260; 0,106.

Tabela 1 – Matriz de ponderação dos parâmetros físicos da modelagem.

Critério	Declividade	Curvatura	Geologia	Peso
Declividade	1	3	5	0,633
Curvatura	0,333	1	3	0,260
Geologia	0,200	0,333	1	0,106
Total	1,533	4,333	9	1
IC: 0,0277				

O mapeamento final de suscetibilidade foi feito a partir da realização de operação de média ponderada entre os fatores avaliados (declividades, curvaturas e geologia). Para cada classe dos fatores avaliados são calculados seus respectivos pesos.

Das classes de cobertura superficial (tabela 2), o peso atribuído ao Maciço de Vitória foi de

0,746; os depósitos aluvionares e litorâneos receberam pesos 0,134 e 0,120, respectivamente, com índice de consistência de 0,011 (consistente). Os menores pesos atribuídos a essas últimas duas classes devem-se ao fato de estarem associadas a planícies, não sujeitas a movimentos de massa, de acordo com Guidicini & Nieble (1983).

Tabela 2 – Matrizes de ponderação e normalização da Cobertura Superficial.

Critério	Maciço Vitória	Depósitos Aluvionares	Depósitos Litorâneos	Peso
Maciço Vitória	1	5	7	0,746
Depósitos Aluvionares	0,2	1	1	0,134
Depósitos Litorâneos	0,1	1	1	0,120
Total	1,343	7	9	1
IC: 0,011				

Em relação às declividades (tabela 3), os maiores pesos foram atribuídos às faixas de declividade de 17-27°, 11-17° e 27-45° (0,316; 0,294 e; 0,179, respectivamente), que são as que mais registram movimentos de massa.

De acordo com a literatura consultada, as faixas com declividade 0-11° e maiores que 45° receberam os menores pesos (0,110 e 0,100,

respectivamente), por terem menos registros de movimentos em nível mundial, sendo o índice de consistência alcançado para a avaliação de 0,012.

A escolha das classes de declividade de maiores pesos está pautada em pesquisas de Bigarella (2003), Ferreira et al. (2008), Fernandes et al. (2001; 2004); Listo & Vieira (2010), Selby (1982), Tominaga (2007) e Vanacôr (2006).

Tabela 3 – Matrizes de ponderação e normalização da Declividade.

Critério	0-11°	11-17°	17-27°	27-45°	>45°	Peso
0-11°	1	0,5	1/3	1/2	1	0,110
11-17°	2	1	1	2	3	0,294
17-27°	3	1	1	2	3	0,316
27-45°	2	1	1	1	2	0,179
>45°	1	0,333	0	0,5	1	0,100
Total	9	3,333	3,167	6	10	1
IC: 0,012						

Considerando que a curvatura horizontal representa a capacidade de divergir ou convergir fluxos de matéria na encosta, as encostas de curvaturas convergentes e retilíneas receberam maiores importâncias, uma vez que a maior parte dos movimentos de massas está associada às áreas de concavidades (*hollows*)

ou vertentes retilíneas (Bispo et al., 2011; Fernandes & Amaral, 2011; Fernandes et al., 2001; 2004).

Os pesos atribuídos às curvaturas convergente, retilínea e divergente foram 0,525; 0,334 e 0,142, respectivamente, com índice de consistência de 0,033 (consistente - ver tabela 4).

Tabela 4 – Matrizes de ponderação e normalização da Curvatura Horizontal.

Critério	Convergente	Retilínea	Divergente	Peso
Convergente	1	2	3	0,525
Retilínea	0,500	1	3	0,334
Divergente	0,333	0,333	1	0,142
Total	1,833	3,333	7	1
IC: 0,033				

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A classe de declividade predominante na região de estudo é de 0-11°, com 84,05%, associada às Planícies Costeiras e Fluviais. As duas outras classes de declividades com maiores áreas na região são as entre 17-27° e de 27-45°, compreendendo o relevo de Maciços Costeiros (tabela 5 e figura 3). Existe nas Planícies Costeiras e Fluviais, a ocorrência de Colinas isoladas que, pontualmente, contribuem para o aumento da declividade.

Tabela 5 – Declividades da Região Administrativa 1 de Vila Velha-ES.

CLASSES	ÁREA	%
0-11°	13,19	84,05%
11-17°	0,58	3,67%
17-27°	1,17	7,45%
27-45°	0,72	4,62%
> 45°	0,03	0,21%
TOTAL	15,69	100%

A curvatura horizontal predominante é a retilínea, com 85,57% da área, associada as Planícies Costeiras e Fluviais, seguida pelas curvaturas divergente (9,03% da área total) e convergente (5,40%), na área dos Maciços e Colinas Costeiras (Tabela 6 e Figura 4).

Tabela 6 – Curvatura Horizontal da Região Administrativa 1 de Vila Velha-ES.

CLASSES	ÁREA (km ²)	%
CONVERGENTE	0,85	5,40%
RETILÍNEA	13,43	85,57%
DIVERGENTE	1,42	9,03%
TOTAL	15,69	100%

Os depósitos litorâneos estão associados à faixa costeira da região Sede de Vila Velha, ocupando apenas 0,93% da sua área total (tabela 7 e figura 4). Os depósitos aluvionares correspondem à 77,67% da área estudada. A formação Maciço Vitória ocupa 21,40% da Sede de Vila Velha, correspondendo aos Maciços Costeiros.

Na figura 4, são apresentadas as direções preferenciais dos fluxos de matéria na área de interesse. É notável que nos Maciços Costeiros do norte da Região Administrativa 1, especialmente nos Maciços do Jaburuna, do Soares, da Penha e do Moreno, os fluxos direcionados para Sudeste, Sudoeste e Sul, estão voltados para áreas densamente ocupadas. Isso evidencia que, em caso de eventos de movimentos de massa, o sentido de movimentação e deposição de matérias movimentadas ocorrerá em direção às áreas densamente ocupadas a jusante.

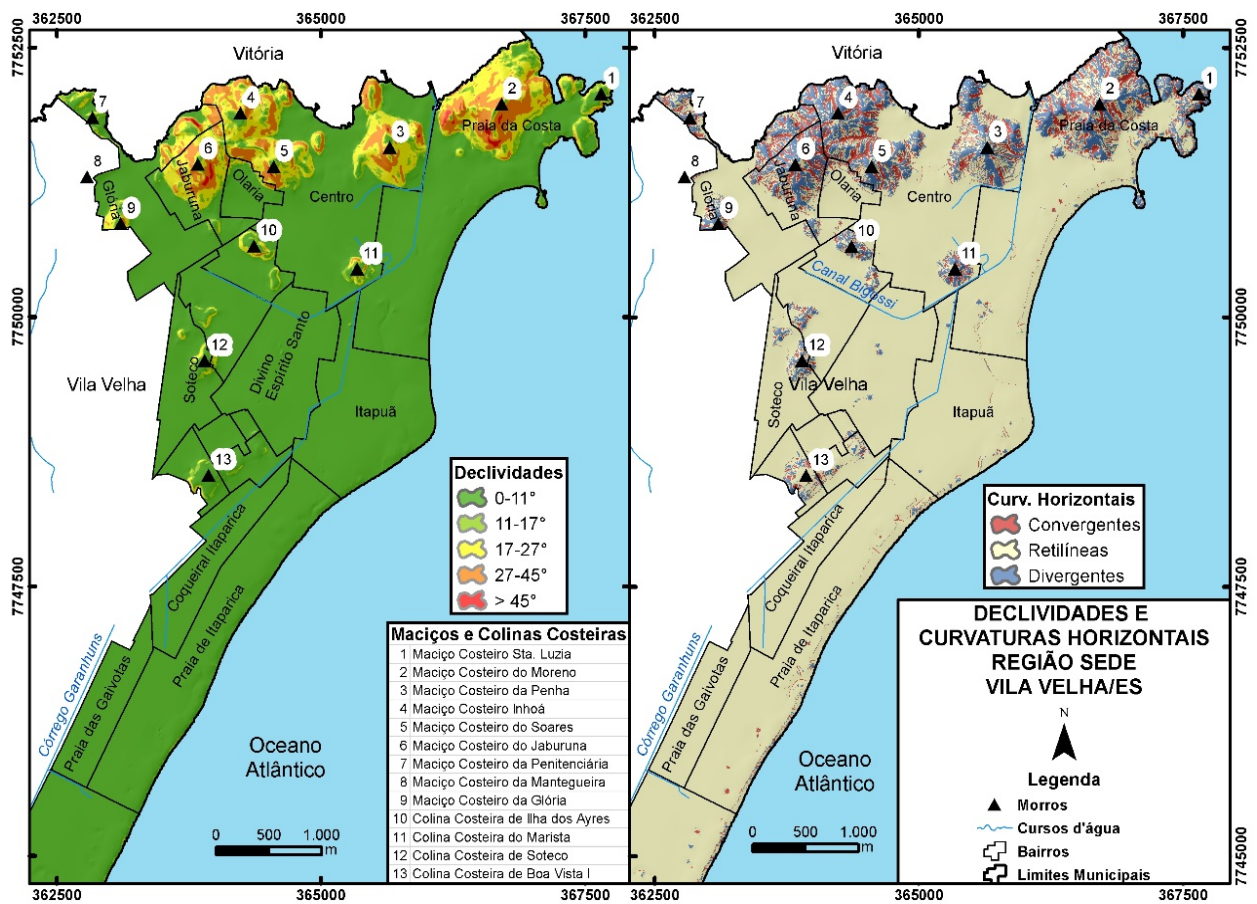


Figura 3 – Mapas de Declividades e Curvaturas Horizontais da Região Sede de Vila Velha-ES.

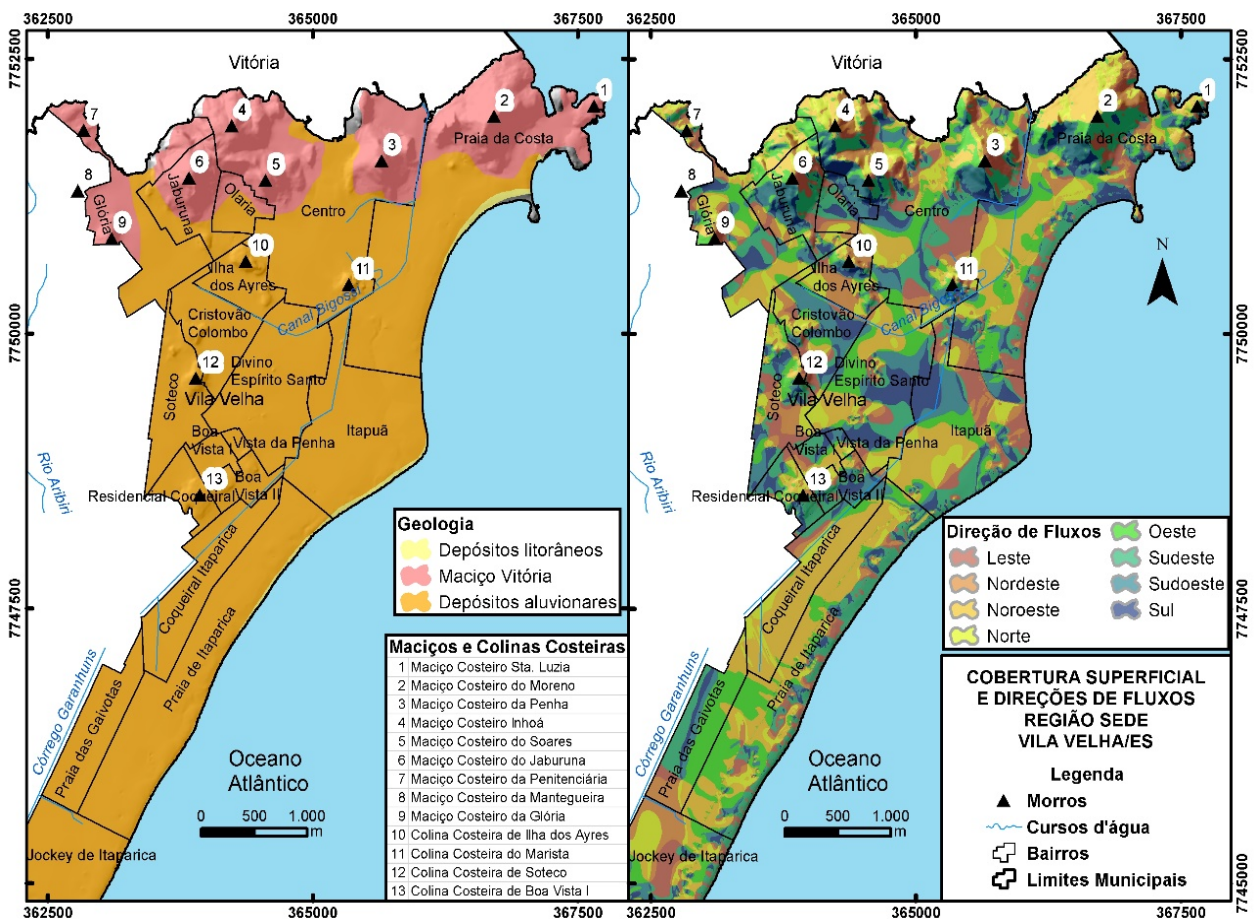


Figura 4 – Mapa de Coberturas Superficiais e Direções de Fluxos da Região Sede de Vila Velha-ES.

Tabela 7 – Cobertura Superficial (Geologia) da Região Sede de Vila Velha-ES.

CLASSES	ÁREA (km ²)	%
DEPÓSITOS LITORÂNEOS	0,14	0,93%
MACIÇO VITÓRIA	3,33	21,40%
DEPÓSITOS ALUVIONARES	12,05	77,67%
TOTAL	15,52	100%

Nos casos do Maciço do Moreno e Maciço da Penha, as faces sul, sudeste e sudoeste apresentam suas direções de fluxos voltados para o interior dos bairros Praia da Costa e Centro, ambos de grande concentração populacional, por conta da quantidade de

prédios e condomínios residenciais. Nos Maciços do Jaburuna e do Soares, a ocupação ao sul, sudeste e sudoeste, é em grande parte, formada por residências individuais.

O mapa da figura 5 apresenta as suscetibilidades a movimentos de massa para a Região Administrativa 1, onde pode-se verificar que as áreas de maior suscetibilidade estão associadas aos Maciços Costeiros, presentes na parte norte da área de estudo, e às Colinas Costeiras, presentes nas áreas centrais da Região Sede (principalmente nos bairros de Ilha dos Ayres, Centro, Cristóvão Colombo e Soteco).

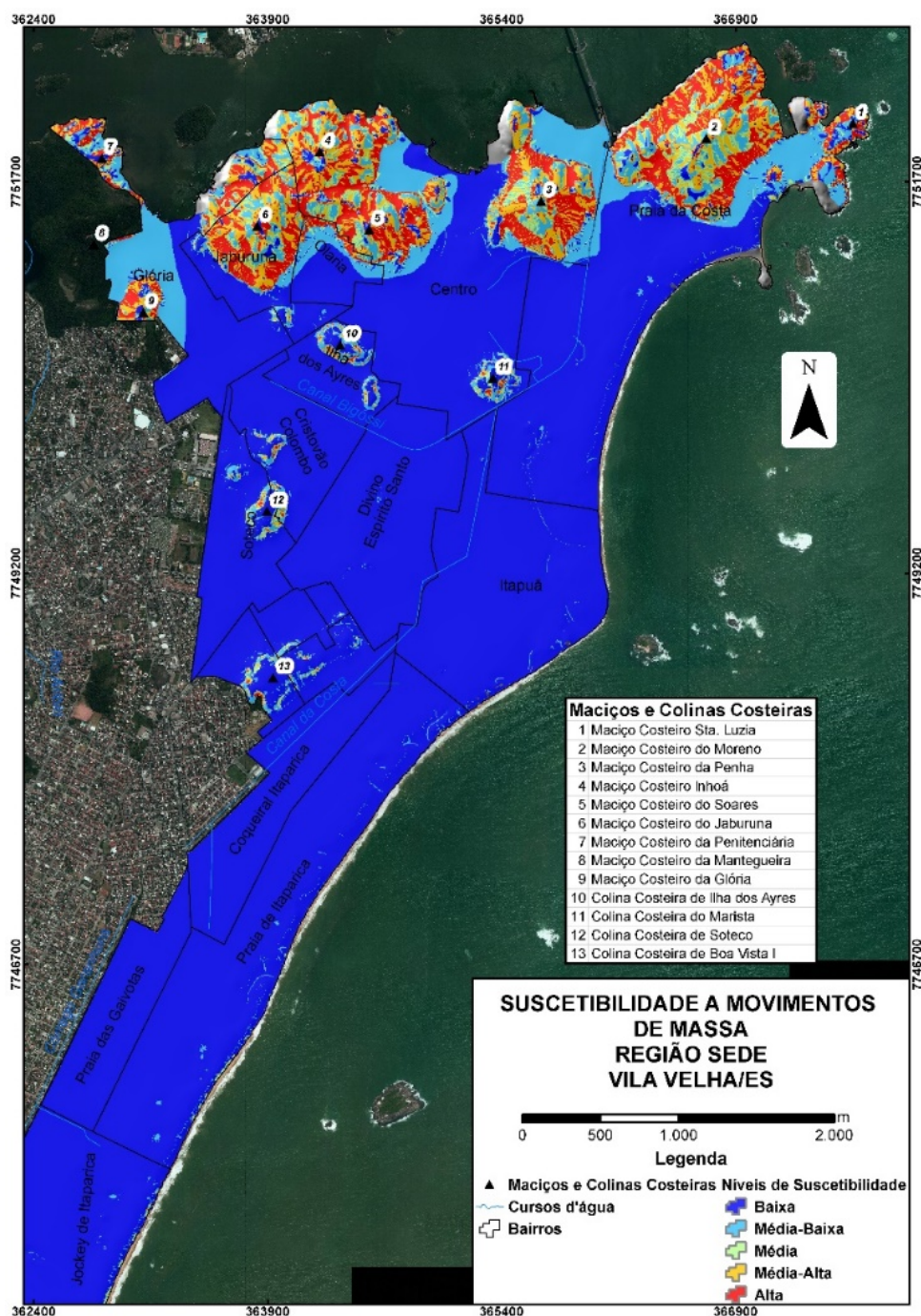


Figura 5 – Mapa de Suscetibilidades a Movimentos de Massa da Região Sede de Vila Velha-ES.

É notável que o aumento da declividade ocasiona o incremento da instabilidade das encostas – ainda que também se observe que, na maioria dos casos, a maior probabilidade de ocorrência de movimentos de massa se concentra nas médias declividades, enquanto a menor instabilidade das vertentes mais íngremes está ligada à pouca disponibilidade de material para escorregar.

De acordo com a tabela 8 e a figura 5, a classe de baixa suscetibilidade é predominante na Região Administrativa 1, e verifica-se que grande parte dessa classe de suscetibilidade está presente nas áreas de baixa declividade (de 0 a 11°), forma retilínea e de planícies fluviais e costeiras, em consonância com o verificado nos trabalhos de Bigarella (2003); Guidicini & Nieble (1983); Listo & Vieira, (2010); Tominaga, 2007, entre outros.

Tabela 8 – Áreas Suscetíveis a Movimentos de Massa da Região Sede.

CLASSES DE SUSCETIBILIDADE	ÁREA (km ²)	%
BAIXA	11,85	76,37%
MÉDIA-BAIXA	1,57	10,11%
MÉDIA	0,35	2,27%
MÉDIA-ALTA	0,86	5,55%
ALTA	0,89	5,71%
TOTAL	15,52	100%

A área de Maciços Costeiros ao norte da Região Administrativa 1 de Vila Velha é a que apresenta maior suscetibilidade a movimentos de massa, em grande medida pela predominância de declividades entre 17-45°, pela alternância entre curvaturas horizontais divergentes e convergentes e por causa da cobertura superficial Maciço Vitória.

Apesar da predominância de áreas de média a alta suscetibilidade, tem-se a presença pontual de áreas de baixa suscetibilidade a movimentos de massa (como nas faces oeste no Maciço da Penha e nas faces sul e oeste do Maciço do Moreno).

Em grande parte, essas áreas de baixa suscetibilidade estão associadas a afloramentos rochosos e/ou encostas muito inclinadas – logo, sem material disponível para escorregar, mas que podem ser suscetíveis a quedas e rolamentos de blocos.

No Maciço “Morro do Moreno”, em especial, há grande presença de afloramentos e rochas fraturadas, suscetíveis a quedas e rolamentos, observáveis na Figura 6, onde estão circuladas cicatrizes de movimentações de massa e blocos rochosos. As declividades nessa área variam entre 17-45°, com curvatura predominantemente retilínea, com alternância de formas divergentes e convergentes. A suscetibilidade varia de média-baixa a alta, sendo que as classificações mais altas estão associadas às áreas de declividade entre 17-27°.



Figura 6 – Face Norte do Maciço “Morro do Moreno”, em Vila Velha - ES. Os círculos vermelhos identificam cicatrizes de movimentos de massa e de blocos rochosos.

A figura 7 mostra a planície costeira de Vila Velha, ao sul do Maciço da Penha. A área exposta é predominantemente plana, de declividade entre 0 e 11°, curvatura retilínea e

cobertura superficial de depósitos marinhos e aluvionares. A suscetibilidade a movimentos de massa nas áreas com essas características (porção Sul da Região Administrativa Sede) é baixa.



Figura 7 – Planície costeira de Vila Velha.

CONCLUSÕES

As áreas de maior suscetibilidade se concentram nos Maciços Costeiros ao norte da Região Administrativa 1 de Vila Velha. Nessas áreas, a cobertura superficial predominante é do conjunto Maciço Vitória (que apresenta granitos de granulação média a fina, com fraturamento bem localizado), com curvaturas predominantemente divergentes e convergentes (intercaladas entre si, mas também com presença de vertentes retilíneas), e declividades entre 17 e 45°.

As áreas de curvatura retilínea, baixa declividade e de depósitos aluvionares e litorâneos são as que apresentam as suscetibilidades mais baixas a movimentos de massa. Apesar disso, as condições de curvatura, declividade e direções de fluxos de matéria das áreas próximas aos Maciços Costeiros do Norte e das Colinas Costeiras acabam tornando essas áreas planas potenciais depósitos de fluxos de movimentos de massa.

Apesar do método heurístico ser de caráter subjetivo (uma vez que depende de julgamentos

dos pesquisadores/autores), ele se mostrou bastante efetivo para realização deste mapeamento, considerando a baixa disponibilidade de bancos de dados de parâmetros físicos para a modelagem (como coesão dos solos, ângulo de atrito interno, falhas geológicas, etc.). Considera-se que para elaboração de um novo mapeamento, mais preciso, seja necessária a utilização de outras metodologias, como a modelagem de base estatística proposta pelo IPT, modelos de bases físicas/matemáticas ou da abordagem de Paisagem.

Dentre as potenciais áreas “receptoras” (de materiais provenientes de movimentos de massa) densamente ocupadas estão: o bairro de Orlaria, que se situa entre os Maciços Costeiros do Jaburuna e Soares; a região próxima à face sul do Maciço Costeiro do Moreno (no bairro Praia da Costa); o entorno da Colina Costeira do Marista; as proximidades da Colina Costeira de Ilha dos Ayres, com densa ocupação residencial e comercial.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES), Defesa Civil de Vila Velha e Universidade Federal do Espírito Santo pelo apoio na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BELO, L. T. L. **Modificações antropogênicas na bacia hidrográfica do canal Bigossi, no município de Vila Velha (ES): uma evolução histórica subsidiando o planejamento ambiental**. Vitória, 2014. 111 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo.
- BERTOLINO, A. V. F. A.; FIALHO, E. S.; MARCHIORO, E.; BAPTISTA, E. C. S. As repercussões pluviais e os movimentos de massa na porção leste da Baía de Guanabara: estudo de caso de São Gonçalo - RJ. In: SILVA, C. A.; FIALHO, E. S. (Org.). **Concepções e Ensaios da Climatologia Geográfica**, 2012. Cap. 10. p. 233-256. E-book.
- BIGARELLA, J. J. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais**, v. 3. Florianópolis: Ed. UFSC, 2003.
- BISPO, P. C.; ALMEIDA, C. M.; VALERIANO, M. M.; MEDEIROS, J. S.; CREPANI, E. Análise da suscetibilidade aos movimentos de massa em São Sebastião (SP) com o uso de métodos de inferência espacial. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 30, n. 3, 2011.
- BRASIL. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. CPRM - GEOBANK. Disp. em: <<http://geobank.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 18 maio 2015.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Censo 2010. Disp. em: <<http://www.censo2010.ibge>

- gov.br/sinopse/index.php?dados=21&uf=32>. Acesso em: 12 ago. 2016.
- BRASIL. **Portal de Mapas**. Disp. em: <http://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage>. Acesso em: 02 fev. 2016a.
- BRASIL. **Espírito Santo: Vila Velha**. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/5CN>>. Acesso em: 01 ago. 2016b.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. *Projeto RADAMBRASIL*: Folha SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro, 1983. 780p. (Levantamento dos Recursos Naturais, 32).
- BRASÍLIA. Universidade de Brasília. Instituto de Geociências (Ed.). **Glossário Geológico Ilustrado**, 2001.
- CAIXETA, P. R. C.; PIMENTA, D. F.N.; AMARAL, R. V.; SCHAEFER, C.E. Análise multicritério (MCE) aplicada ao mapeamento de áreas susceptíveis a movimentos de massa na área urbana de Viçosa-MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DE GEOINFORMAÇÃO, 4, 2012, Recife. **Anais...Recife: UFPE**, 2012.
- CARDOZO, F. S. & HERRMANN, M. L. P. Uso da técnica AHP no mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamentos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais**. Curitiba: INPE, 2011. p. 4134 - 4141.
- CORREA, W. S. C. **Comportamento dos elementos climáticos, temperatura e precipitação, no município de Vitória (ES) no período de 1978 a 2007**. 2011. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.
- ENVIRONMENTAL SYSTEM RESEARCH INSTITUTE (ESRI). *ArcMap 10.2.2*. Disp. em: <<http://www.esri.com>>. Acesso em: 30 out. 2014.
- ESPIRITO SANTO. Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Ortofotomosaico da Região Administrativa Sede de Vila Velha-ES, 2012. Colorida, resolução espacial de 0,25m. 2012a.
- ESPIRITO SANTO. Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Curvas de Nível e Pontos Cotados da Região Administrativa Sede de Vila Velha-ES, 2012. 2012b.
- FARIA, D. G. M. & AUGUSTO FILHO, O. Aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP) no mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 23-44, 2013.
- 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**, 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. Cap. 3. p. 123-194.
- FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Condicionantes Geomorfológicas 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, 2001
- FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modeling. **Catena**, v. 55, n. 2, p. 163-181, 2004.
- FERREIRA, M. V.; RIEDEL, P. S.; LOPES, E. S. S.; MERINO, E. R. Comparação entre diferentes critérios para elaboração de mapas de suscetibilidade aos escorregamentos: Exemplo do município de Cubatão, Serra do Mar Paulista. Rio de Janeiro, **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 4, n. 60, p.385-400, dez. 2008.
- GAO, J. & WANG, Q. Application of Analytical Hierarchy Process Method for Landslide Susceptibility Mapping Using GIS. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, v. 21, n. 21, p. 6615-6627, 2016.
- GOMES, R. A. T. **Modelagem de Previsão de Movimentos de Massa a Partir da Combinação de Modelos de Escorregamentos e Corridas de Massa**. Rio de Janeiro, 2006. 180p. Tese (Doutorado), Curso de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- GUIDICINI, G. & NIEBLE, C. M. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1983. 196p.
- GUIMARÃES, R. F.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. M.; FERNANDES, N. F.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO JUNIOR, O. A. Parameterization of soil properties for a model of topographic controls on shallow landsliding: application to Rio de Janeiro. **Engineering Geology**, v. 69, n. 1-2, p. 99-108, abr. 2003.
- GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, S. N.; FERNANDES, N. F. Análise temporal das áreas susceptíveis a escorregamentos rasos no Parque Nacional da Serra dos Órgãos (RJ) a partir de dados pluviométricos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, n. 1, p. 190-198, mar. 2009. Disp. em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/7640/7067>. Acesso em: 10 dez. 2015.
- INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL (INCAPER). Governo do Estado do Espírito Santo. **Portal Geobases**. Disponível em: <http://www.geobases.es.gov.br/portal/>. Acesso em: 08 nov. 2014.
- INCAPER. Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural (PROATER) 2011-2013: Vila Velha. 2011. Disp. em: <http://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Centro_cerrano/Vila_Velha.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2016.
- INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES (IJSN). Governo do Estado do Espírito Santo. **Arquivos Shapefile**. Disponível em: <http://www.ijsn.es.gov.br/mapas/>. Acesso em: 20 nov. 2015.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios**. Brasília: Ministério das Cidades, 2007. 176p. Disp. em: <http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/PrevencaoErradicacao/Livro_Mapeamento_Enconstas_Margens.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2015.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Cartas de Suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000**: Nota Técnica Explicativa. São Paulo: IPT, 2014. 50p. Disp. em: http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16588/NT-Carta_Suscetibilidade.pdf?sequence=1 Acesso em: 11 maio 2015.
- LISTO, F. L. R. & VIEIRA, B. C. Análise de Condicionantes Topográficos como subsídio para avaliação de áreas de risco a escorregamentos rasos. Recife, **Revista de Geografia**, vol. especial, n. 3, p. 193-207, 2010.
- MARCHIORO, E. A incidência de Frentes Frias no Município de Vitória (ES). **Acta Geografica**, v. 7, p. 49-60, 2012.
- MARCHIORO, E.; SILVA, G. M.; Correa, W. S. C. A Zona de Convergência do Atlântico Sul e a precipitação pluvial do Município de Vila Velha (ES): Repercussões sobre a inundações. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, v. 31, p. 101-117, 2016.
- MARTINI, L. C. P.; UBERTI, A. A. A.; SCHEIBE, L. F.; COMIN, J. J.; OLIVEIRA, M. A. T. Avaliação da suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa: decisão multicriterial suportada em Sistemas de Informações Geográficas. **Geologia USP: Série Científica**, v. 6, n. 1, p. 41-52, 2006.
- MEIS, M. R. M. DE & SILVA, J. X. DA. Considerações geomorfológicas a propósito dos movimentos de massa ocorridos no Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 30, p. 55-73, 1968.
- PARIZZI, M. G.; SEBASTIÃO, C. S.; VIANA, C. S.; PFLUEGER, M. C.; CAMPOS, L. C.; CAJAZEIRO, J. M. D.; TOMICH, R. S.; GUIMARÃES, R. N.; ABREU, M. L.;

- SOBREIRA, F. G.; REIS, R. Correlações entre chuvas e movimentos de massa no município de Belo Horizonte, MG. **Geografias**, Belo Horizonte, v. 6, n. 2, p. 49-68, jul. 2010
- PARIZZI, M. G.; SOBREIRA, F. G.; GALVÃO, T. C. B.; ARANHA, P. R. A.; ELMIRO, M. A. T.; BEIRIGO, E. A. Processos de movimentos de massa em Belo Horizonte, MG. **Geografias**, Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p. 58-87, jun. 2011.
- PASSARELLA, S. M.; MACHADO, F. B.; RIEDEL, P. S.; LOPES, E. S. S.; FERREIRA, M. V.; MOREIRA, M. R.; AZZI, A. A. Análise da relação entre escorregamento e formas de vertentes no município de Cubatão (SP) e seus arredores. **Geociências**, v. 27, n. 1, p. 7-20, 2008.
- SELBY, M. J. **Hillslope materials and processes**. Nova York: Oxford University Press, 1982. 264p.
- SILVA, G. M. **A zona de convergência do Atlântico Sul e a precipitação pluvial do município de Vila Velha (ES): repercussões sobre as inundações**. Vitória, 2013. 95p. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Espírito Santo
- SILVA, E. L.; GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A. Emprego de modelo de susceptibilidade a escorregamentos rasos para gestão de riscos de desastres no município de Vitória-ES. Uberlândia, **Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 1, p. 119-132, 2013
- SPÍNOLA, H. & VICTÓRIA, S. Zoneamento das áreas susceptíveis aos movimentos de massa no Município de Tarrafal, Ilha de Santiago, Cabo Verde. São Paulo, **Revista do Instituto Geológico**, v. 33, n. 1, p. 41-56, 2012.
- TOMINAGA, L. K. **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos**: Aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP. 2007. 240p. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo.
- VALERIANO, M. M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos, INPE: 2008. 75p.
- VAN WESTEN, C.J.; VAN ASCH, T.W.J.; SOETERS, R. Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult?. **Bull. Eng. Geol. Environ.** v. 65, n. 2, p. 167-184, 2005
- VANACÔR, R. N. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas susceptíveis a movimentos de massa na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2006. 132p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- ZAIDAN, R. T. & FERNANDES, N. F. Zoneamento de susceptibilidade a escorregamentos em encostas aplicado à bacia de drenagem urbana do córrego do Independência - Juiz de Fora (MG). Porto Alegre, **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 2, p. 57-76, 2009.
- ZAIDAN, R. T. & FERNANDES, N. F. Análise de riscos de escorregamentos nas encostas edificadas da bacia de drenagem urbana do córrego do Independência - Juiz de Fora (MG). Juiz de Fora, **Revista de Geografia**, v. 5, n. 1, p. 17-32, 2015.

*Submetido em 8 de dezembro de 2016
Aceito em 9 de março de 2017*