

A DENSIDADE DE ESTRUTURAS GEOLÓGICAS, OS PADRÕES DE LINEAMENTOS E SUA RELAÇÃO COM OS MOVIMENTOS DE MASSA NO MUNICÍPIO DE VITÓRIA (ESPÍRITO SANTO, SUDESTE DO BRASIL)

Thiago Borini Pimentel

Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Vitória, ES, Brasil
thiagoborinip@hotmail.com

Luiza Leonardi Bricalli

Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Departamento de Geografia, Vitória, ES, Brasil
luizabricalli@gmail.com

RESUMO

Essa pesquisa tem como objetivo principal analisar e relacionar a densidade de estruturas geológicas e os padrões de lineamentos com a ocorrência de movimentos de massa no município de Vitória (Espírito Santo, Brasil). A metodologia utilizada foi dividida em três etapas: Etapa de Levantamentos Bibliográficos - consiste na realização e coleta de dados bibliográficos, mapas temáticos diversos (topográficos, geológicos e estruturais), imagens de satélites e fotointerpretação, bem como confecção de mapa com estruturação geológica da região (lineamentos, falhamentos, fraturamentos etc...); Etapa de Campo e Coleta de dados da área de estudo - realizada através de mapeamento sistemático em campo com coleta de dados estruturais; Sistematização e integração dos Dados - ocorre em gabinete e consiste na análise, interpretação dos dados obtidos em campo, bem como sistematização e integração dos dados existentes. Estes dados foram integrados e analisados a partir dos registros de movimentos de massa da Defesa Civil Municipal, referentes ao período entre 2006 e 2020. A análise dos resultados obtidos demonstra a importante relação entre os lineamentos e as ocorrências de movimentos de massa com a litologia, as estruturas geológicas regionais e os eventos neotectônicos do estado do Espírito Santo.

Palavras-chave: Lineamentos. Geologia Estrutural. Neotectônica. Movimentos de Massa.

THE DENSITY OF GEOLOGICAL STRUCTURES, LINEAMENT PATTERNS AND THEIR RELATIONSHIP WITH MASS MOVEMENTS IN THE MUNICIPALITY OF VITÓRIA (ESPÍRITO SANTO, SOUTHEAST BRAZIL)

ABSTRACT

The main objective of this research is to analyze and relate the density of geological structures and lineament patterns with the occurrence of mass movements in the municipality of Vitória (Espírito Santo, Brazil). The methodology used is divided into three stages: Bibliographic Survey Stage - consists of carrying out and collecting bibliographic data, various thematic maps (topographic, geological and structural), satellite images and photointerpretation, as well as making a map with geological structure of the region (lineaments, faults, fracturing etc...); Field Stage and Data Collection of the study area - carried out through systematic mapping in the field with collection of structural data; Data systematization and integration - takes place in an office and consists of the analysis and interpretation of data obtained in the field, as well as the systematization and integration of existing data. These data were integrated and analyzed from the mass movement records of the Municipal Civil Defense, referring to the period between 2006 and 2020. The analysis of the results obtained demonstrates the important relationship between the lineaments and the occurrences of mass movements with the lithology, regional geological structures and neotectonic events in the state of Espírito Santo.

Keywords: Lineaments. Structural Geology. Neotectonic. Mass Movements.

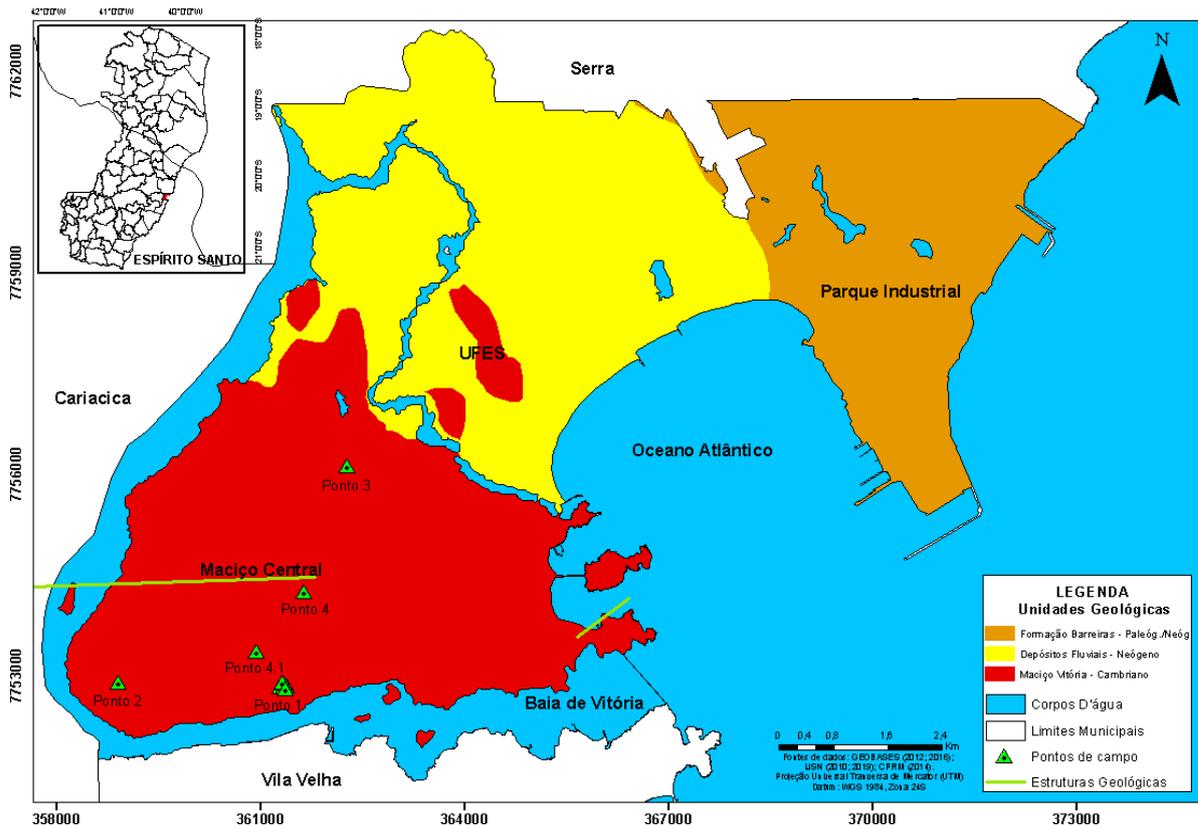
INTRODUÇÃO

Essa pesquisa foi realizada no município de Vitória (Figura 1), capital do Espírito Santo, tendo como objetivo principal identificar e relacionar os padrões de lineamentos com a ocorrência de movimentos

de massa. A área apresenta três unidades geológicas: Maciço Vitória, Depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes e Formação Barreiras (CPRM, 2014).

A combinação de fatores fisiográficos, juntamente com o crescimento desordenado da ocupação urbana em determinadas áreas, sem o adequado planejamento do uso do solo e com a presença de edificações de baixo padrão construtivo, tem desencadeado acidentes associados a movimentos de massa, muitas vezes causando desastres, o que eleva a necessidade e importância de se analisar e compreender esses processos (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

Figura 1 - Localização e Unidades Geológicas de Vitória-ES.



Organização - os autores, 2022.

Nesse sentido, as pesquisas sobre os movimentos de massa têm se intensificado, especialmente nas últimas décadas, uma vez que, esses processos são os principais problemas ambientais que ocorrem em áreas urbanas. Além disso, alguns autores afirmam que a combinação de fatores deflagradores naturais com aqueles oriundos de transformações das encostas pela sociedade pode contribuir com a dinâmica evolutiva do relevo (EFFGEN; MARCHIORO, 2017).

No Brasil uma quantidade expressiva de estudos sobre movimentos de massa tem sido realizada no sudeste do país (TOMINAGA, 2007; FERNANDES et al., 2004; EFFGEN; MARCHIORO, 2017), com destaque para o estado do Espírito Santo, que apresenta muitas áreas com ocorrências destes processos.

Um aspecto importante relacionado à ocorrência de movimentos de massa, não muito abordado em estudos da temática, pode estar relacionado à influência de estruturas geológicas (falhas e fraturas), que correspondem à linhas de fraqueza da crosta terrestre (BRICALLI, 2011). As primeiras análises e registros dessas linhas de fraqueza são realizadas através da identificação de lineamentos sobre imagens orbitais e suborbitais.

O estudo da relação dos padrões de lineamentos com a ocorrência de movimentos de massa é, praticamente, escassa, sendo assim considerado um estudo inédito para o local, para o Espírito Santo e para o Brasil. No entanto, a relação dos lineamentos com a ocorrência de movimentos de massa tem sido investigada no Brasil e no mundo, tendo como referência pesquisas no continente asiático (ANBALAGAN; SIGH, 1996; SARKAR; KANUNGO, 2017) e europeu (ATKINSON; MASSARI, 1998; AMBROSI; CROSTA, 2006), apresentando também estudos no Brasil (GONTIJO, 1999; TOMINAGA, 2007).

MATERIAS E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos para elaboração dessa pesquisa foram essencialmente compostos por análises de gabinete e análise de campo.

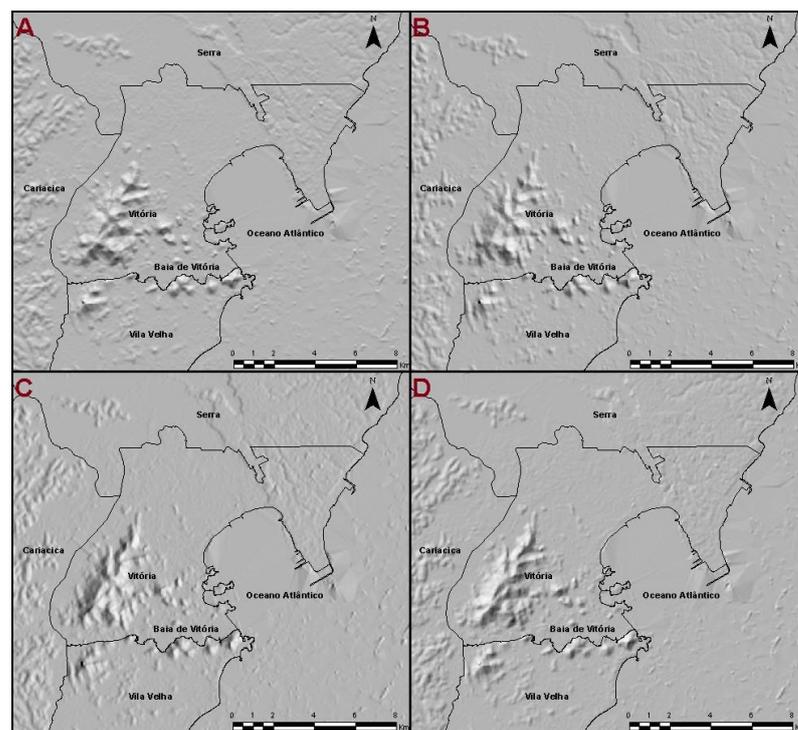
Análises de gabinete

As bases cartográficas utilizadas foram processadas no *software ArcGIS™ 10.5* (ESRI, 2016). Todos os mapas foram criados ou convertidos para a projeção *Universal Transversa de Mercator (UTM)*, *Datum Geodésico Horizontal WGS 1984*, Fuso 24S.

Extração de lineamentos em Modelo Digital de Elevação (MDE)- Escala 1:110.000

O mapa de lineamentos foi elaborado a partir da técnica de extração manual (BRICALLI, 2011), sobre um Modelo Digital de Elevação (MDE), adquirido do Serviço Geológico Norte-Americano (USGS), com resolução espacial de 30m, onde foram aplicadas quatro iluminações artificiais: 000°, 045°, 090° e 315° (BRICALLI, 2011), como demonstra a Figura 2. Os lineamentos foram identificados seguindo a metodologia de Liu (1984) e decalcados em cada uma das iluminações, na escala de 1:110.000.

Figura 2 - Aplicação das iluminações artificiais na área de estudo (A: 000°; B: 045°; C: 090°; D: 315°)



Fonte - USGS, 2020. Organização: os autores, 2022.

Extração de lineamentos em Ortofotos digitais - Escala 1:25.000

Para uma análise local, foram utilizados ortofotomosaicos adquiridos do IJSN (2019). A partir das imagens adquiridas foi possível observar e estabelecer a extensão dos lineamentos identificáveis, que por análise visual foram decalcados seguindo a metodologia de Bricalli (2011), e as definições de Liu (1984), na escala de 1:25.000.

Elaboração de rosetas de orientação

Para o cálculo da orientação dos lineamentos foi utilizado o aplicativo *Azimuth Finder* (GRUPO DE PESQUISA EM NEOTECTÔNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, 2021). Os valores de orientação dos azimutes e comprimento de lineamentos foram exportados e plotados em tabelas presentes no programa Oriana (versão 3.21, *license demo*), da *Kovach Computing Services*, sendo representados em diagramas de rosetas.

Densidade de Lineamentos, Estruturas Geológicas e trends Estruturais

A densidade de lineamentos foi produzida a partir dos lineamentos identificados com a metodologia de extração manual sobre a área de estudo, nas escalas de 1:110.000 e 1: 25.000, detalhados anteriormente, que foram vetorizadas a partir do *software ArcGIS™ 10.5* (ESRI, 2016).

Para a elaboração do mapa de densidade de Estruturas Geológicas, os lineamentos mapeados sobre o MDE, escala 1:110000, e os demarcados sobre Ortofotos Digitais, em escala 1:25000, foram organizados em um único *shapefile*, junto aos dados estruturais (CPRM, 2014), por meio da ferramenta *Merge*.

A densidade foi calculada por meio da utilização da ferramenta *Line Density*, presente no *Arc Toolbox*, com tamanho de célula 45 e unidade da área em km/km². A ferramenta *Line Density* calcula a densidade de recursos lineares na vizinhança de cada célula de varredura de saída e calcula em unidades de comprimento por unidade de área. Os resultados foram agrupados em classes de densidade: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto. Os *trends* estruturais foram traçados sobre as classes de densidade Alta e Muito Alta.

Mapa de suscetibilidade à movimentos de massa

O Mapa de Suscetibilidade à Movimentos de Massa foi elaborado com o auxílio do Sistema de Informação Geográfica (SIG), baseado no método multicritério (LONGLEY et al., 2013) por ponderação das classes de suscetibilidade das seguintes variáveis: Densidade de Estruturas Geológicas, Declividade, Curvatura Horizontal e Cobertura Superficial.

Cada variável recebeu pesos definidos empiricamente, de acordo com o seu grau de importância. Foram definidos pesos, que variam de 0 - 100% (0-1) para cada variável, de acordo com seu grau de importância e correlação com o fenômeno em questão (susceptibilidade à movimentos de massa), e notas de 1 a 5 para cada componente de legenda, de maneira que quanto maior a nota, maior a susceptibilidade erosiva. Tais processos são denominados de tomada de decisão multicritério, fazendo uso de modelos multicritérios, onde são aplicadas variáveis que influenciam o impacto no fenômeno estudado (LONGLEY et al., 2013).

Mapa de Declividade

A partir dos valores das Curvas de Nível (IJSN, 2012) que abrangia o limite da área estudada, foi elaborado o Mapa de Declividade, utilizando a ferramenta *slope*. A declividade foi agrupada em cinco

classes: 0-11°, 11-17°, 17-27°, 27-45° e acima de 45°, segundo as pesquisas de Fernandes et al. (2004), Tominaga (2007) e Effgen e Marchioro (2017).

Em relação às declividades, os maiores pesos foram atribuídos às faixas de declividade de 17-27°, 11-17° e 27-45° (5, 4 e 3, respectivamente), que são as que mais registram movimentos de massa (FERNANDES et al., 2004; TOMINAGA, 2007; EFFGEN; MARCHIORO, 2017). De acordo com os autores supracitados, as faixas com declividade 0-11° e maiores que 45° receberam os menores pesos (1 e 2 respectivamente), por terem menos registros de movimentos em nível mundial.

Mapa de Curvatura Horizontal

A partir dos valores das Curvas de Nível (IJSN, 2012) que abrangia o limite da área estudada, foi elaborado o Mapa de Curvatura Horizontal, utilizando a ferramenta *slope* e *curvature* do ArcMap.

As curvaturas horizontais foram classificadas como divergentes, convergentes e retilíneas, segundo os valores de curvatura (FERNANDES et al., 2004; TOMINAGA, 2007). Os valores de curvatura negativos são de formas convergentes, enquanto os positivos são divergentes e os valores próximos a zero, são de formas retilíneas (VALERIANO, 2002).

Mapa de Cobertura Superficial

Foi elaborado um mapa sobre as Ortofotos Digitais na escala de 1:25.000 para representar as rochas e os solos na área, uma vez que se sobrepor o mapa litológico (CPRM, 2014) e mapa de solos haverá sobreposição dessas duas características. As áreas de urbanização consolidada também foram demarcadas. Como as variáveis serão utilizadas na elaboração de um mapa de suscetibilidade, onde se priorizam as características naturais do sistema, essas áreas obtiveram um peso médio (3).

Em relação à variável solo, os dados foram adquiridos do IJSN (2016), apresentando as classes de solo presentes na área de estudos, que em momento posterior foram otimizadas. Assim, os dados foram recortados no limite municipal (comando *Clip*), dissolvidos nas tipologias de solos (comando *Dissolve*). As denominações dadas às classes de solos foram definidas conforme a classificação de Santos et al. (2013). Os pesos das classes de solos foram definidos com base em suas texturas, tendo como base os estudos de Tominaga (2007).

A variável Litologia foi mapeada a partir da utilização de ortofotomosaicos (IJSN, 2019). Sobre as imagens foram demarcadas as áreas de rochas expostas, por meio da criação de *shapefile* (polígono). As rochas demarcadas foram classificadas litologicamente de acordo com o mapa geológico de Vitória (CPRM, 2014), em escala de 1:110.000.

Os dados de litologia, solos e áreas urbanas foram organizados em um único mapa, com a utilização da ferramenta *merge*, sendo posteriormente criado um campo numérico "Peso" na tabela de atributos (*Create Field*), onde foram atribuídos coeficientes para as variáveis. Por fim, foi efetuada a transformação para *Raster* (*Polygon to Raster*).

Atribuição de notas das classes das variáveis utilizadas para análise da suscetibilidade à movimentos de massa

A metodologia utilizada para a geração do Mapa de Suscetibilidade à Movimentos de Massa foi de Silva, Schulz e Camargo (2003), que sistematizou uma hierarquia que expressa o grau de suscetibilidade do meio, representada pelas categorias: muito baixa (1), baixa (2), média (3), alta (4) e muito alta (5). A metodologia foi adaptada para a análise da suscetibilidade à movimentos de massa.

Dessa forma, foram estabelecidos os pesos para cada uma das classes atribuídas às variáveis mencionadas, apresentadas nas Tabelas 1, 2, 3 e 4.

Tabela 1 - Pesos atribuídos às classes da variável densidade de lineamentos

Densidade de Estruturas Geológicas	Peso
Muito Baixa	1
Baixa	2
Média	3
Alta	4
Muito Alta	5

Fonte - adaptado de Sarkar e Kanungo (2017). Organização: os autores, 2022.

Tabela 2 - Pesos atribuídos às classes da variável declividade

Classes de Declividade (%)	Peso
0-11	1
11-17	4
17-27	5
27-45	3
45>	2

Fonte: adaptado de Tominaga (2007); Effgen e Marchioro (2017). Organização: os autores, 2022.

Tabela 3 - Pesos atribuídos às classes da variável Curvatura Horizontal

Curvatura Horizontal	Peso
Convergente	5
Retilínea	3
Divergente	1

Fonte - adaptado de Tominaga (2007). Organização: os autores, 2022.

Tabela 4 - Pesos atribuídos às classes da Cobertura Superficial

Cobertura Superficial	Peso
Solo Arenoso	2
Solo Argiloso-arenoso ou Argilo-siltoso; Áreas de urbanização consolidada	3
Solo Areno-argiloso ou Silto-argiloso	4
Solo Arenoso, Areno-siltoso, Silto-arenoso ou Siltoso;	5
Granito alcalino de granulação fina à média (Maciço Vitória)	

Fonte - adaptado de Tominaga (2007); CPRM (2014). Organização: os autores, 2022.

Atribuição de valores de peso às variáveis analisadas

Foram atribuídos valores de peso a cada variável (Tabela 5) com base na importância que cada uma delas representa no desencadeamento de processos de movimentos de massa, as quais são descritas abaixo:

Declividade: A declividade do terreno é uma variável básica na investigação dos movimentos de massa, devido à estreita associação com processos de transporte gravitacional (VALERIANO, 2002). No entanto, a análise isolada do papel desempenhado por essa variável é uma tarefa difícil, pois é evidente a existência de relações entre a declividade e outros parâmetros que também exercem influência na instabilidade das encostas (FERNANDES et al., 2004). Peso: 0,30.

Densidade de Estruturas Geológicas: Tem sido observado que as falhas e fraturas influenciam a ocorrência dos movimentos de massa. Para incorporar essa influência, deve-se adicionar à equação do mapa de densidade. Os lineamentos representam as fraturas e descontinuidades que podem ser interpretadas a partir de imagens de satélite (SARKAR; KANUNGO, 2017). Peso: 0,30.

Curvatura Horizontal: A curvatura horizontal influencia na direção dos fluxos nas encostas, exercendo, assim, um papel importante na ocorrência dos movimentos de massa. Nas encostas com curvatura horizontal convergente, há tendência na concentração dos fluxos e presença de canais de escoamento superficial, enquanto as divergentes correspondem a zonas de dispersão de água (GONÇALVES; FRANCISCO, 2016). Peso: 0,20.

Cobertura Superficial: É composta por elementos fundamentais para avaliação das áreas suscetíveis a movimentos de massa. De acordo com suas características, podem-se apresentar uma maior ou menos predisposição à ocorrência destes fenômenos. Peso de 0,20.

Tabela 5 - Variáveis utilizadas para a elaboração do Mapa de Suscetibilidade e seus respectivos pesos

Variável	Peso
Densidade de Estruturas Geológicas	0,30
Declividade	0,30
Curvatura Horizontal	0,20
Cobertura Superficial	0,20

Organização - os autores, 2022.

Integração das informações das variáveis analisadas (Análise Multicritério)

Depois de estabelecidas as notas para cada classe variável (Densidade de Estruturas Geológicas, Declividade, Curvatura Horizontal e Cobertura Superficial) iniciou-se a integração das informações, a partir do *software* ArcGIS™ 10.5 (ESRI, 2016).

A primeira etapa se constituiu em converter as entidades geográficas que estavam em formato vetorial, para o formato *raster*, uma vez que a modelagem aqui proposta só pode ser executada com arquivos neste formato. As entidades geográficas Declividade, Densidade de Estruturas Geológicas e Curvatura Horizontal foram criadas inicialmente em formato *raster*.

A variável que estava em formato vetorial (Cobertura Superficial), foi convertida para o formato *raster* por meio do comando *features to raster*.

A segunda etapa foi reclassificar cada classe presente de acordo com suas notas estabelecidas (Tabelas 1, 2, 3 e 4). A reclassificação foi feita pela ferramenta *Reclassify*.

A terceira etapa constituiu em correlacionar as quatro entidades geográficas e gerar o Mapa de Suscetibilidade à Movimentos de Massa. Para isso foi utilizada a função *Raster Calculator*. Esta

função executa o cruzamento dos dados por meio de operações aritméticas automáticas, com base nos pesos atribuídos às classes das variáveis e às notas estabelecidas para cada variável.

Espacialização das ocorrências de movimentos de massa

Os dados de movimentos de massa registrados pela Defesa Civil Municipal de Vitória, ocorridos no período de 2006 à 2011, foram adquiridos no mapa interativo presente no endereço eletrônico do Projeto de Mapeamento de Áreas de Risco Geológico-Geotécnico e Monitoramento de Encostas do Município de Vitória – ES (MAPENCO).

Os registros dos movimentos de massa ocorridos entre 2012 à 2020 foram adquiridos na Defesa Civil Municipal, através do acesso aos relatórios de vistorias, disponibilizados pela instituição.

Análises estruturais e ocorrência de Movimentos de Massa

Foi analisada a relação de dados estruturais presentes na área (local) e próximo dela (regional) com a ocorrência de movimentos de massa.

Para isso, relacionaram-se os dados de lineamentos, densidade de lineamentos, estruturas geológicas (CPRM, 2014), Faixa Colatina, Orógeno Araçuaí e falhas neotectônicas (BRICALLI, 2011).

Análises de campo

Nas análises de campo foram selecionados quatro pontos de análise na área, onde foram identificadas em gabinete a ocorrência de movimentos de massa nas proximidades de lineamentos decalcados.

Esta etapa consistiu na análise, identificação e validação dos seguintes aspectos geológicos e geomorfológicos: litologia, estrutura geológica, altimetrias, ocorrência de movimentos de massa e a relação entre todas essas variáveis.

RESULTADOS

Lineamentos em Modelo Digital de Elevação (MDE)- Escala 1:110.000

No mapa de lineamentos elaborado por meio da técnica de extração manual sobre o MDE para o município de Vitória (Figura 3), na escala de 1:110.000, foram identificados 273 lineamentos, em uma área de 93,38 km². A Unidade Geológica do Maciço Vitória apresenta a maior quantidade dos lineamentos mapeados, seguida pela Formação Barreiras. Os lineamentos são menos expressivos na Unidade Geológica de Depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes.

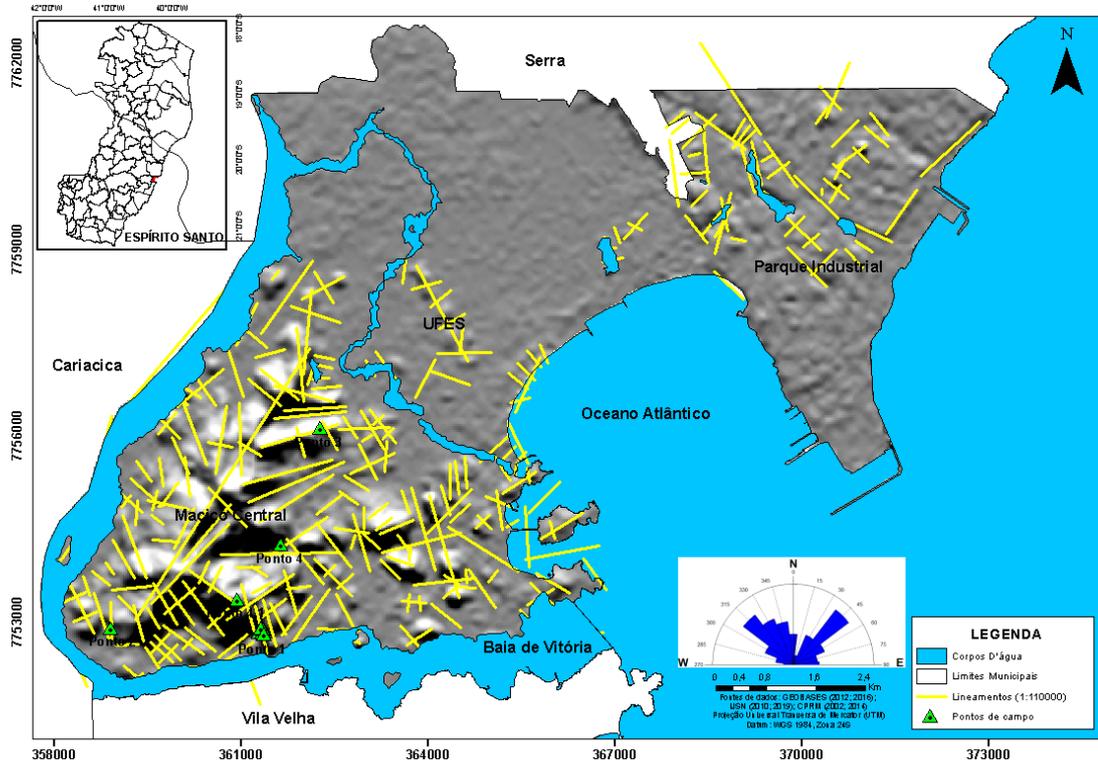
Na área de estudos é possível observar uma maior concentração de lineamentos de orientação NW-SE, seguidos pelas direções NE-SW, NNW-SSE, ENE-WSW e WNW-ESE, respectivamente, possuindo também lineamentos E-W, em menor quantidade (Figura 3).

Lineamentos em Ortofotos Digitais - Escala 1:25.000

No mapa de lineamentos elaborado por meio da técnica de extração manual sobre Ortofotos Digitais para o município de Vitória (Figura 4), na escala de 1:25.000, foram identificados 1211 lineamentos, em uma área de 93,38 km².

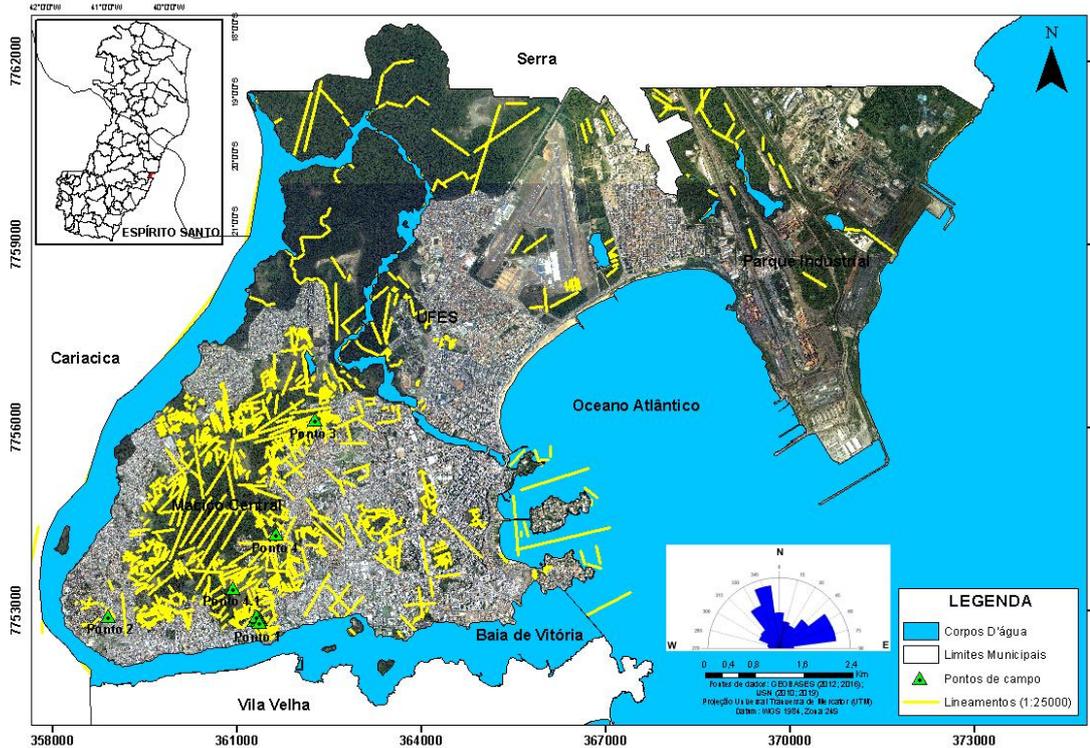
A área de estudos apresenta maior recorrência de lineamentos de orientação NNW-SSE, ENE-WSW, seguidos por lineamentos E-W. A maior proporção de lineamentos mapeados se encontra na Unidade Geológica do Maciço Vitória, seguida pela Formação Barreiras.

Figura 3 - Mapa de Lineamentos decalcados sobre Modelo Digital de Elevação (MDE), na escala de 1:110.000



Organização - os autores, 2022.

Figura 4 - Lineamentos decalcados sobre Ortofotos Digitais, em escala 1:25.000



Organização - os autores, 2022.

Densidade de Lineamentos e trends Estruturais

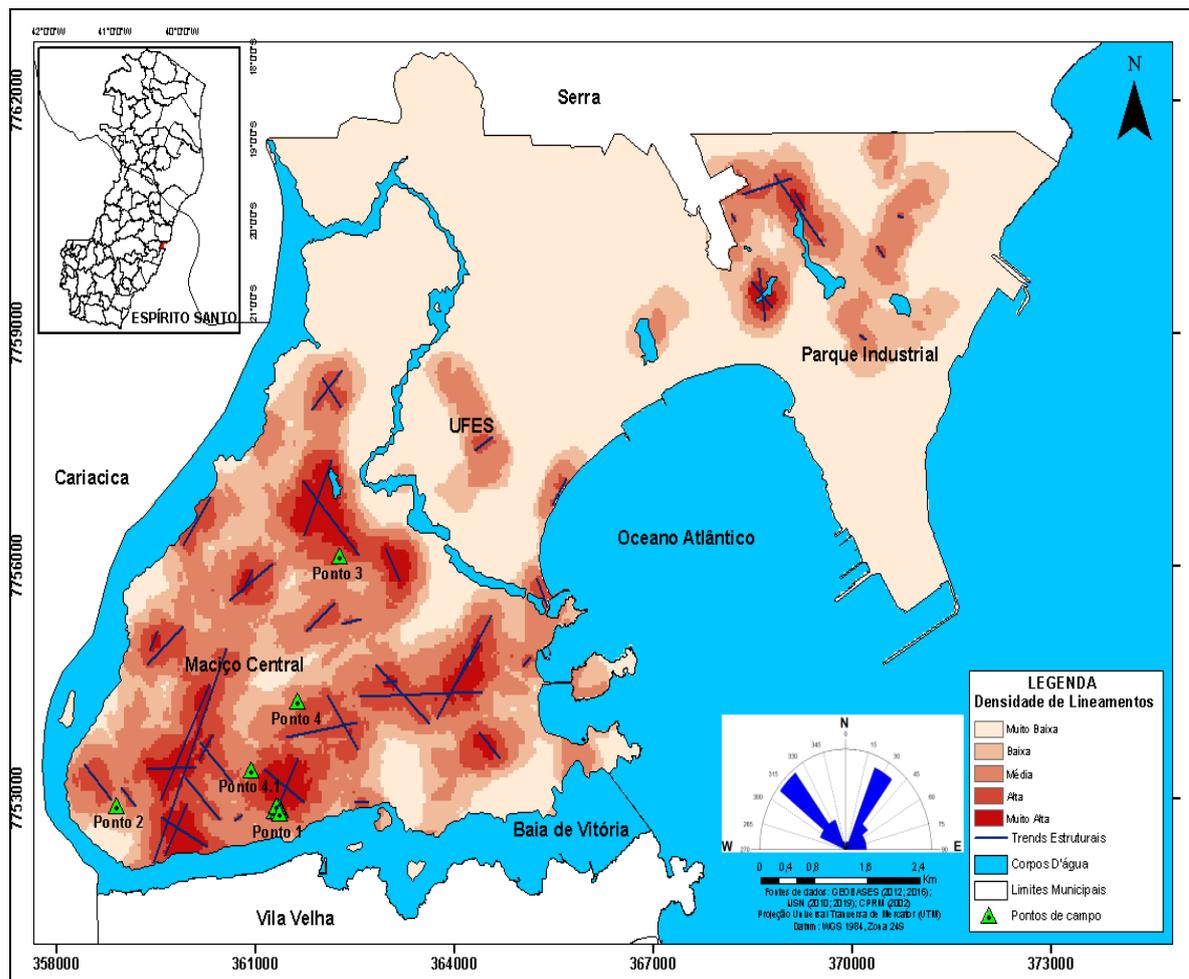
A densidade dos lineamentos decalcados sobre o MDE, em escala de 1:110.000 (Figura 5), demonstra uma maior concentração destas estruturas na Unidade Geológica Maciço Vitória, apresentando também áreas de densidade Alta e Muito Alta em localidades da Formação Barreiras, mesmo que em menor proporção.

Nesta escala, os *trends* estruturais apontam uma maior quantidade de orientações NW-SE e NNE-SSW, apresentando também *trends* NE-SW, ENE-WSW, NNW-SSE e WNW-SSE, em menor proporção.

Os lineamentos mapeados sobre Ortofotos Digitais, em escala de 1:25.000 (Figura 6), se concentram na Unidade Geológica do Maciço Vitória, se apresentando de forma mais dispersa e em menor número na Formação Barreiras e nos Depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes.

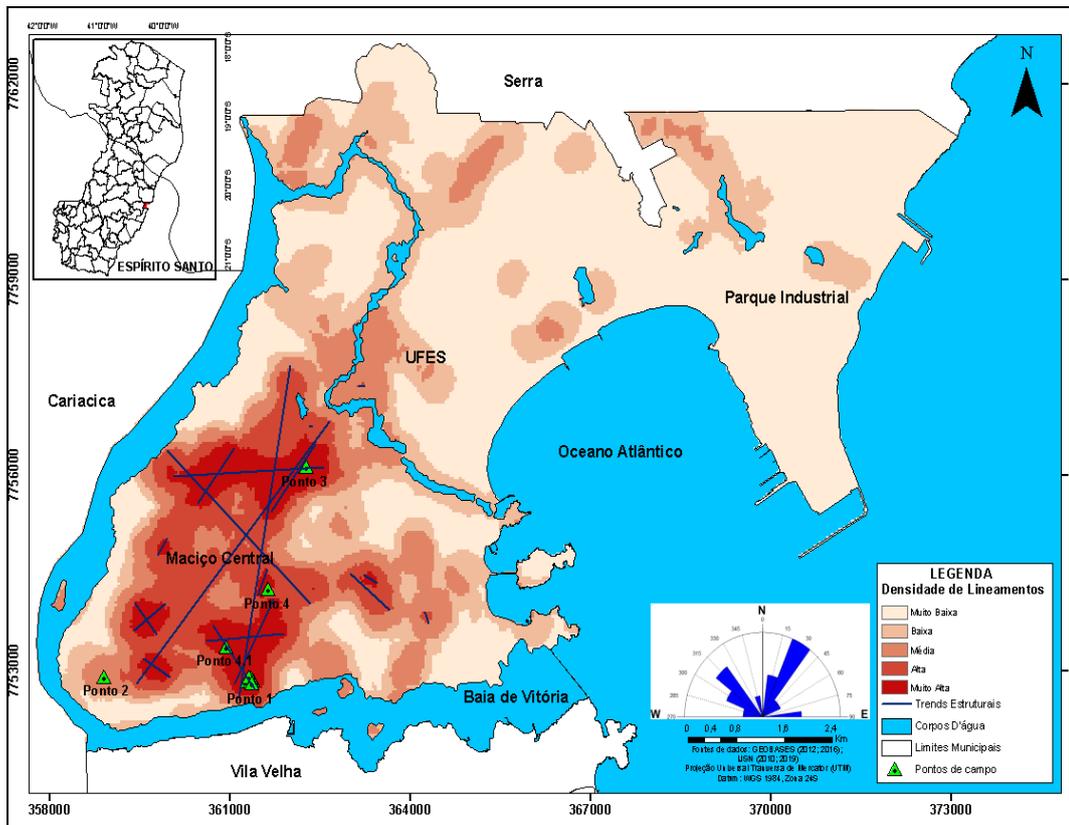
Os *trends* estruturais identificados nesta escala demonstram padrões estruturais de orientação predominantemente NW-SE, seguido pelas orientações NE-SW, NNE-SSW, NNW-SSE, WNW-ESE, ENE-WSW e E-W, nesta ordem.

Figura 5 – Densidade dos lineamentos decalcados sobre Modelo Digital de Elevação (MDE) em escala 1:110.000 e *trends* estruturais



Organização - os autores, 2022.

Figura 6 - Densidade dos lineamentos decalcados sobre Ortofotos Digitais em escala 1:25000 e trends estruturais.



Organização - os autores, 2022.

Suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa

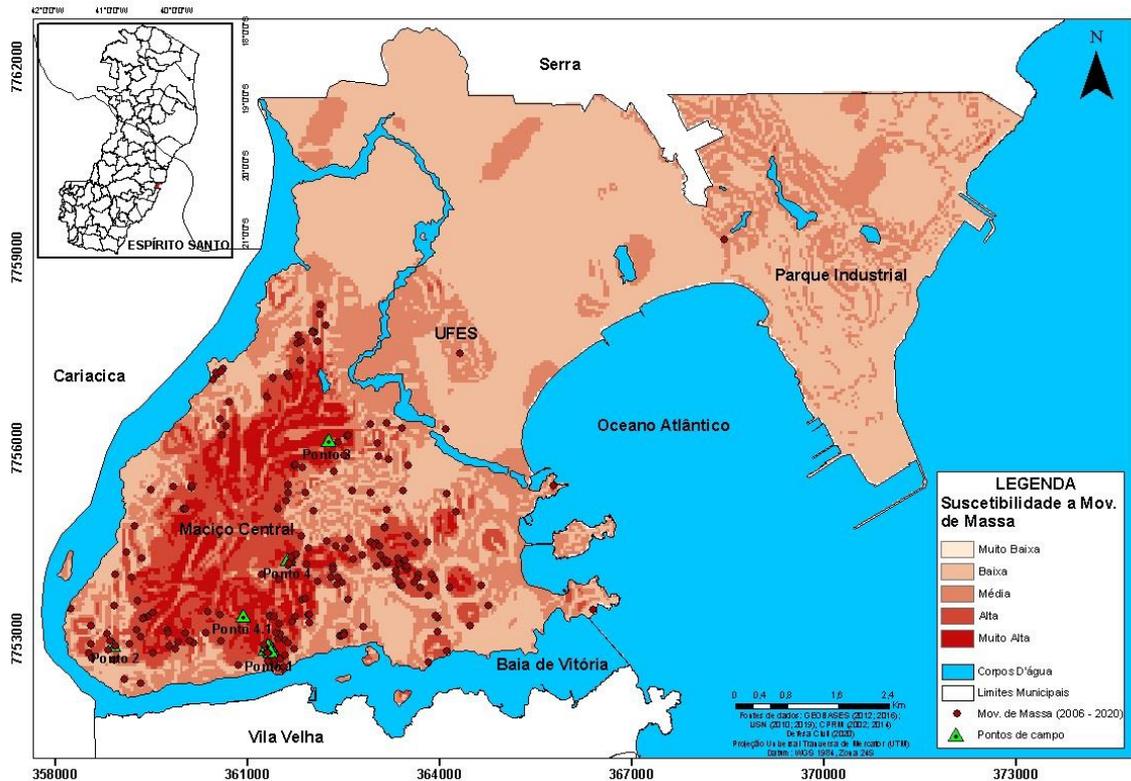
Após a realização dos cálculos envolvendo os pesos de cada variável supracitada, foi elaborado o Mapa de Suscetibilidade à Movimentos de Massa (Figura 7), que foi organizado em cinco classes: 1 – Muito Baixa, 2 – Baixa, 3 – Média, 4 – Muito Alta e 5 – Alta.

Os polígonos que demarcam as áreas de maior suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa no município de Vitória, 4 (Alta) e 5 (Muito Alta), correspondem respectivamente a 9,30% e 5,03% deste, e se concentram na região do maciço central (Maciço Vitória), afetando bairros do entorno. Dos 202 movimentos de massa espacializados, 98 ocorreram em áreas de Suscetibilidade Alta, correspondendo à 48,5% do total. Já nas localidades de Suscetibilidade Muito Alta, foram registrados 26 destes processos, 12,87% dos incidentes contabilizados (Figura 7, Tabela 6).

A classe 3 (Suscetibilidade Média), está presente em 22,27% da extensão territorial (Figura 7, Tabela 6), se apresentando de forma mais significativa em regiões do Maciço Vitória, margeando o maciço central. Nesses polígonos foram identificadas as ocorrências de 35 movimentos de massa, que correspondem à 17,32% dos registros no período analisado.

A Suscetibilidade Baixa (Figura 7, Tabela 6) é muito recorrente no município de Vitória, ocupando 63,38% de sua área. Esta variável tem predominância nas regiões correspondentes às unidades geológicas Depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes e Formação Barreiras. Nesta classe de suscetibilidade ocorreram 43 movimentos de massa, 21,28% dos fenômenos espacializados.

Figura 7 - Mapa de Suscetibilidade à Movimentos de Massa



Organização - os autores, 2022.

A suscetibilidade muito baixa não foi identificada de forma expressiva, correspondendo a apenas 0,01% da área total do município. Nesta classe não foram identificadas ocorrências de movimentos de massa.

Os movimentos de massa ocorridos nas classes de Suscetibilidade Média, Alta e Muito Alta correspondem a 78,72% do total. Se considerados apenas as deflagrações em polígonos demarcados com Suscetibilidade Alta e Muito Alta, estes representam 61,38% das ocorrências do período, mesmo compreendendo uma extensão territorial de apenas 14,2% da área de estudos (Figura 8, Tabela 6).

Tabela 6 - Relação entre a suscetibilidade à movimentos de massa e a ocorrência dos fenômenos

Suscetibilidade	Área (%)	Mov. Massa (%)
Muito Baixa	0,02%	Nenhum registro
Baixa	63,38%	43 (21,28%)
Média	22,27%	35 (17,32%)
Alta	9,30%	98 (48,51%)
Muito Alta	5,03%	26 (12,87%)

Organização - os autores, 2022.

Análises de campo

Foram percorridos quatro pontos, situados nos bairros Centro (Ponto 1), Caratoíra (Ponto 2), Joana D'arc (Ponto 3) e Fradinhos (Ponto 4). Os pontos de campo estão presentes na Unidade Geológica Maciço Vitória (CPRM, 2014), que corresponde à região de maior densidade de lineamentos,

estruturas geológicas e incidência de movimentos de massa entre os anos de 2006 à 2020, e nas Unidades Geomorfológicas Colinas e Maciços Costeiros (GATTO et al., 1983). O trabalho de campo (Figuras 8, 9 e 10) foi importante para identificação e validação dos movimentos de massa registrados pela Defesa Civil, além de ter permitido identificar a ocorrência dos mesmos em lineamentos importantes e visíveis em campo.

A litologia da Unidade Geológica Maciço Vitória é predominantemente representada por granitos porfiríticos, de granulação média e cor cinza. Apresenta megacristais e localmente exibe foliação de fluxo magmático cortada por diques de basalto. Em escala de afloramento se observa autólitos de rocha máfica (microdiorito), além de migmatitos e leucogranitos do tipo S encontrados em ilhas e costões rochosos (CPRM, 2014).

No Ponto 2 (Figura 8), bairro Caratoíra, é possível identificar encosta rochosa com a presença de fraturas de grandes dimensões, que formam lineamento de orientação ENE-WSW, e diversas estruturas menores de orientação NNW-SSE.

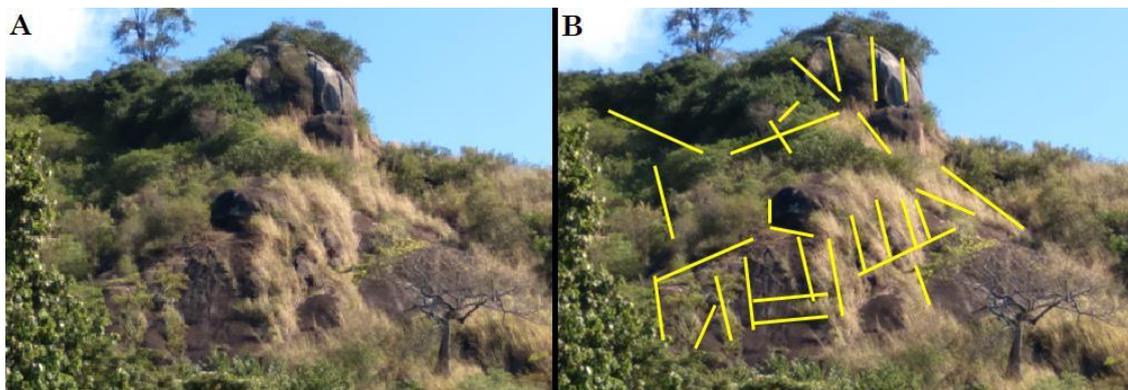
Figura 8 - A: Movimento de massa de grandes dimensões ocorrido no bairro Caratoíra (Ponto 2); B: Fraturas ENE-WSW (linha amarela) e NNW-SSE (linha vermelha) identificadas em campo.



Fonte - Defesa Civil, 2020. Organização - os autores, 2022.

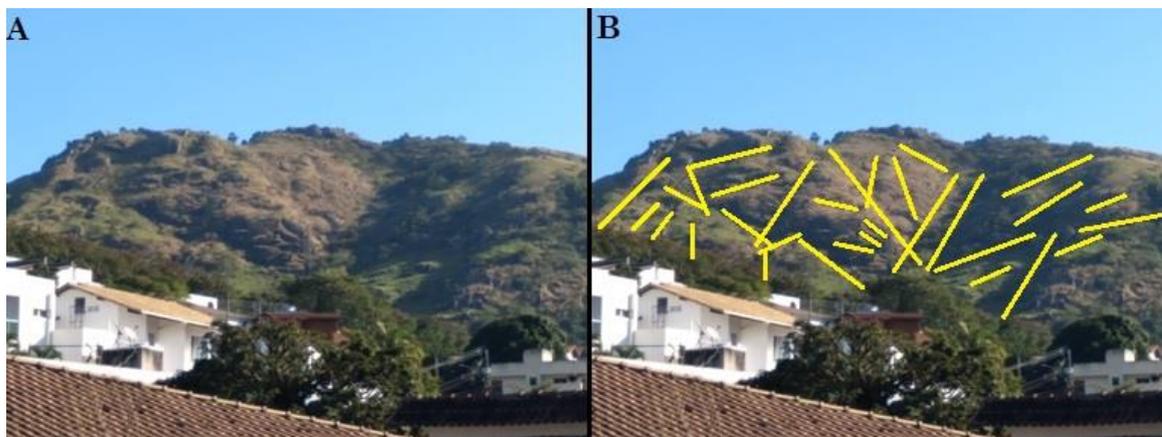
Nos Pontos 3 (Figura 9) e 4.1 (Figura 10), situados respectivamente nos bairros Joana D'arc e Fradinhos, foram identificadas encostas com quantidades expressivas de fraturas, blocos rolados e cicatrizes de escorregamentos. As fraturas identificadas no Ponto 3 (Figura 9) apresentam predominantemente orientações NW-SE e NNW-SSE. Já a encosta situada no ponto 4.1 (Figura 10), apresenta uma maior quantidade de estruturas com orientações NE-SW e NW-SE.

Figura 9 - A: Encosta situada no bairro Joana D'arc (Ponto 3); B: Linhas amarelas representam fraturas identificadas em campo.



Fonte - os autores, 2022.

Figura 10 - A: Encosta situada no bairro Fradinhos (Ponto 4.1); B: Linhas amarelas representam fraturas identificadas em campo.



Fonte - os autores, 2022.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Lineamentos, Densidade de Estruturas Geológicas, Trends Estruturais e Movimentos de Massa

Os lineamentos decalcados no MDE, tanto com relação à orientação, quanto com relação à quantidade de lineamentos, possuem uma forte relação espacial e de orientação com os movimentos de massa ocorridos na área.

Dos 202 registros de movimentos de massa, 63 ocorreram nas proximidades de lineamentos de orientação NNW-SSE, sendo a orientação mais recorrente, seguida por NW-SE (35 ocorrências de movimento de massa). As orientações NE-SW correspondem a 27 registros de movimentos de massa e as orientações ENE-WSW, WNW-ESSE e E-W correspondem, respectivamente, a 20, 15 e 14 ocorrências. Apenas 13 movimentos de massa registrados não ocorreram nas proximidades de lineamentos demarcados na escala supracitada (Figura 11).

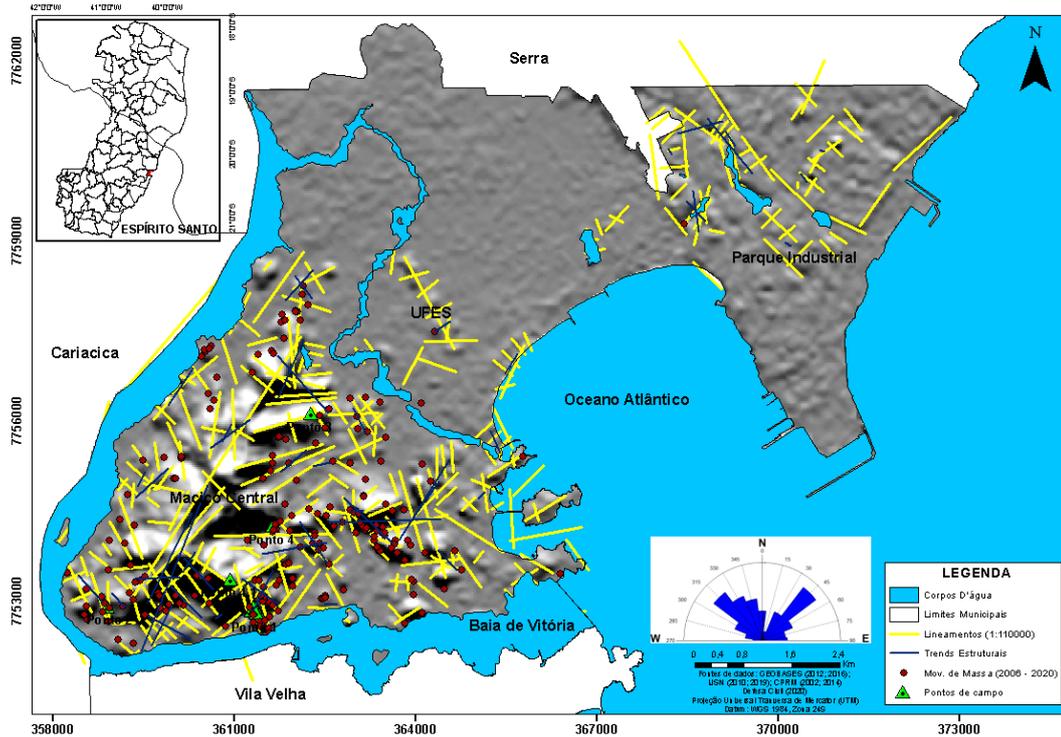
O mapa de densidade de lineamentos (Figura 5) mostra que nas áreas de densidades Alta e Muito Alta ocorre o predomínio da ocorrência dos movimentos de massa. Além disso, o gráfico de rosetas dos *trends* estruturais mostra uma dominância na orientação NW-SE, seguido pelas orientações NNE-SSW e NE-SW.

No mapa de lineamentos decalcados nas Ortofotos Digitais, tanto com relação à orientação quanto com relação à densidade possuem uma forte relação espacial e de orientação com os movimentos de massa ocorridos na área. Nesta escala, dos 202 processos espacializados, 59 ocorreram nas proximidades de lineamentos de orientação NNW-SSE, padrão que apresentou a maior quantidade de registros, seguido por NNE-SSW (39 registros), NE-SW (23 ocorrências), ENE-WSW (22 movimentos de massa), e NW-SE (19 ocorrências). Também foram registrados movimentos de massa próximos a lineamentos de orientação WNW-ESSE e E-W, em menor quantidade (Figura 12).

Dos processos estudados, 36 não ocorreram em localidades próximas aos lineamentos demarcados na escala em análise. Apenas seis movimentos de massa não ocorreram nas proximidades de lineamentos nas escalas 1:110.000 ou 1:25.000.

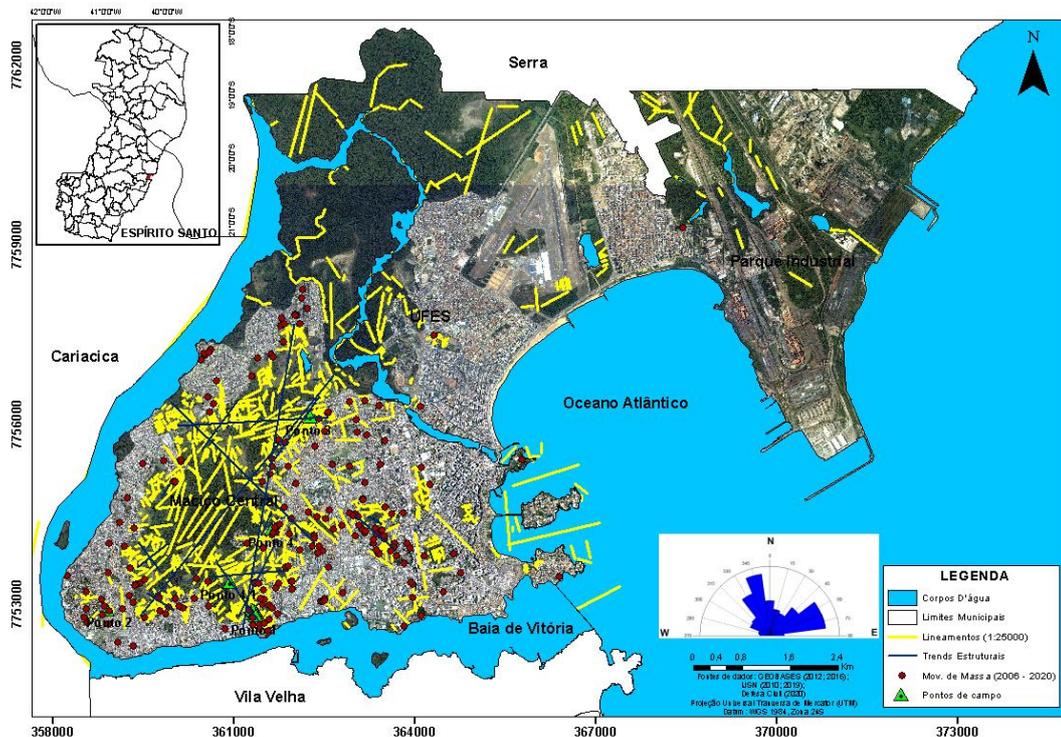
O mapa de densidade de lineamentos (Figura 6) mostra que nas áreas de densidades Alta e Muito Alta ocorre o predomínio da ocorrência dos movimentos de massa. Além disso, o gráfico de rosetas dos *trends* estruturais mostra uma dominância na orientação NW-SE, seguido pela orientação NE-SW.

Figura 11 - Lineamentos decalcados sobre Modelo Digital de Elevação (MDE), na escala 1:110000, trends estruturais e ocorrências de Movimentos de Massa (2006-2020).



Organização - os autores, 2022.

Figura 12 - Lineamentos decalcados sobre Ortofotos Digitais (1:25.000), trends estruturais e ocorrências de Movimentos de Massa (2006-2020).



Organização - os autores, 2022.

Em relação ao mapa de Densidade de Estruturas Geológicas, dos 202 movimentos de massa registrados, 62, que correspondem a 30,7% da totalidade, ocorreram em áreas de densidade alta, que representam apenas 5,3% da extensão territorial de Vitória. Nas localidades de densidade muito alta, que representam 3,1% da área, foram registrados 18 movimentações de massa, 9% do total de fenômenos, conforme demonstram a Figura 13 e Tabela 7.

Em polígonos de densidade média (6,5%), 49 movimentos de massa foram registrados, uma proporção de 24,3% destes processos para o período analisado.

Nas áreas de densidade muito baixa, que representam mais da metade do município (50,9%), foram registrados 26 movimentos de massa, 12,8% das ocorrências totais. Em locais de densidade baixa, que correspondem à 34,2% do território, ocorreram 47 mobilizações de massa, 23,2% do total.

Tabela 7 – Relação entre densidade de estruturas geológicas e movimentos de massa

Densidade de estruturas geológicas	Área do município de Vitória (%)	Mov. de massa (%)
1 – Muito Baixa	50,9%	26 (12,8%)
2 – Baixa	34,2%	47 (23,2%)
3 – Média	6,5%	49 (24,3%)
4 – Alta	5,3%	62 (30,7%)
5 – Muito Alta	3,1%	18 (9%)

Organização - os autores, 2022.

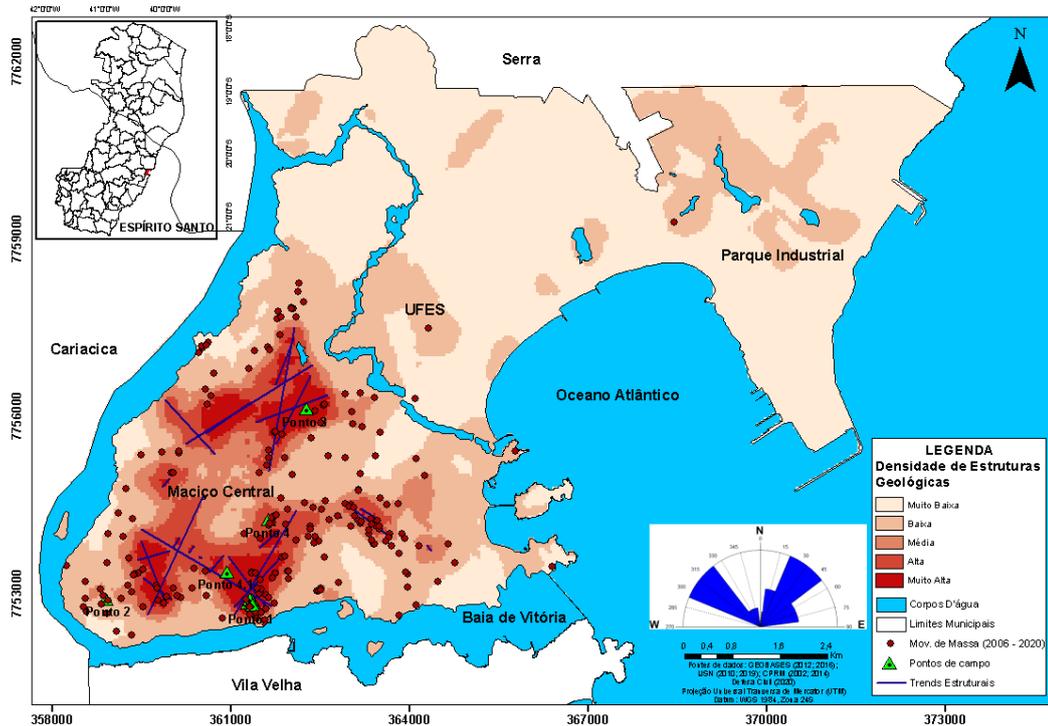
A análise dos dados acima demonstra que a maior ocorrência de movimentos de massa, está relacionada com as densidades Média (24,3%) e Alta (30,7%) – Tabela 7 e Figura 13. Observa-se também, que a medida que aumenta a densidade de lineamentos, aumenta a ocorrência de movimentos de massa (Tabela 7 e Figura 13), com exceção da densidade Muito Alta, que apresenta um menor número de ocorrência de movimentos de massa. Esse dado pode ser explicado pelo fato que a classe de densidade Muito Alta se apresenta em áreas de pequena extensão territorial, em pequenos núcleos distribuídos na área. Além disso, essas áreas representam locais de alta declividade e altitude elevada, representando assim locais pouco habitados e de pequena e/ou nula atuação da Defesa Civil, que é o órgão responsável pela coleta de dados das ocorrências de movimentos de massa na área.

Neste mapa, o gráfico de rosetas dos *trends* estruturais aponta uma dominância na orientação NNE-SSW, seguido pelas orientações NW-SE, NE-SW, NNW-SSE e ENE-WSW.

Dessa forma, observa-se a predominância das orientações dos lineamentos NNW-SSE e NW-SE e a ocorrência predominante de movimentos de massa nessas orientações. Essas orientações também predominam no mapa de lineamentos realizado para o estado do Espírito Santo (BRICALLI, 2011), e coincide com a orientação da Faixa Colatina, demonstrando assim a importante relação da orientação dos lineamentos da área com lineamentos regionais e a estrutura geotectônica mais importante do estado do Espírito Santo (Faixa Colatina). Somado a isso, os *trends* estruturais também reproduzem a mesma relação, orientação e predominância de movimentos de massa (orientação NW-SE). Dessa maneira, observa-se que os movimentos de massa que ocorreram na área, no período analisado, possuem uma forte e importante relação com as estruturas regionais.

Além da importante relação da ocorrência dos movimentos de massa com a litoestrutura, observa-se uma associação dessas orientações predominantes mencionadas e da ocorrência dos movimentos de massa com as orientações das falhas neotectônicas do estado do Espírito Santo, correspondentes às orientações NW-SE das falhas geológicas do regime de Transcorrência Dextral E-W (BRICALLI, 2011).

Figura 13 - Densidade de Estruturas Geológicas, *trends* estruturais e ocorrências de Movimentos de Massa (2006-2020).



Organização - os autores, 2022.

A orientação dos lineamentos NE-SW, que correspondem à segunda orientação mais predominante na área, é também a segunda orientação em que mais foram identificadas ocorrências de movimentos de massa no período analisado. Essa orientação corresponde à orientação predominante do Orógeno Araçuaí (TUPINAMBÁ et al., 2007).

Observa-se, assim como na orientação NW-SE, uma importante associação das orientações NE-SW com a ocorrência dos movimentos de massa e com as orientações das falhas neotectônicas do estado do Espírito Santo, correspondentes às orientações NE-SW das falhas geológicas dos regimes Distensão NW-SE e Transcorrência Sinistral E-W (BRICALLI, 2011).

Nesse sentido, na escala regional (1:110.000), considerando os eventos neotectônicos presentes no estado do Espírito Santo (BRICALLI, 2011), a maior parte dos movimentos de massa registrados (55,4% do total) ocorreu nas proximidades de lineamentos cuja orientação está relacionada ao evento neotectônico de Transcorrência Dextral E-W, de idade pleistocênica a holocênica, como mencionado acima. Uma fração significativa dos processos registrados no período (23,2%) ocorreu também nas imediações de lineamentos cujas orientações estão associadas ao regime neotectônico de Distensão NW-SE, de idade holocênica, ou ao regime de Transcorrência Sinistral E-W, de idade neogênica.

Já na escala local (1:25.000), uma quantidade significativa dos movimentos de massa (39,6%) ocorreu nas proximidades de lineamentos influenciados pela Transcorrência Dextral E-W. Dentre os processos espacializados, a maior proporção (41,5%) de movimentos de massa culminou nas proximidades de lineamentos cuja orientação está associada à Distensão NW-SE ou à Transcorrência Sinistral E-W.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos foi possível verificar um padrão de orientação de estruturas geológicas dominantes na área (NNW-SSE e NW-SE, seguidos por NE-SW), predominante também no estudo de lineamentos e neotectônica em todo estado do Espírito Santo (BRICALLI, 2011) e na Faixa

Colatina, considerando, assim, sua importância num contexto regional das estruturas geológicas. Já as orientações NE-SW, secundariamente dominantes na área, relacionam-se com a orientação do orógeno Araçuai (TUPINAMBÁ et al., 2007).

Por meio da análise dos dados de Lineamentos, Densidade de Estruturas Geológicas e Movimentos de Massa, foi possível verificar que a alta densidade, bem como os *trends* estruturais e a ocorrência dos movimentos de massa está fortemente associada à Unidade Geológica do Maciço Vitória, uma vez que a maioria dos grandes lineamentos regionais mesoscópicos se encontra na região do Maciço Central, onde existem zonas de maior ou menor grau de intensidade quanto a quantidade de fraturamentos, ocasionadas por características próprias de um maciço rochoso. É comum maciços graníticos apresentarem um intenso fraturamento conjugados ou juntas de alívio (fraturas na forma de “x”), também chamados de descontinuidades em geotecnia, bem como desenvolvimento de zonas de “escamamentos/acebolamento” devido a própria esfoliação esperoidal causada por intemperismo progressivo, que quando associados a falhas geológicas formam um *trend* preferencial, que no caso coincide com as estruturas neotectônicas regionais.

Atrelado a isso, foi verificado que, no período analisado, os movimentos de massa ocorreram com mais frequência nas proximidades de lineamentos de orientações NNW-SSE, NW-SE e NE-SW, na escala regional e orientações NNW-SSE, NNE-SSW e NE-SW, na escala local, demonstrando a importante relação entre o controle litoestrutural e a culminância e localização destes processos. Além da associação aos controles litoestruturais mencionados, as orientações dominantes dos lineamentos, dos *trends* de lineamentos e das estruturas geológicas (falhas e fraturas), refletem as mesmas orientações das falhas neotectônicas identificadas por Bricalli (2011), presentes nos regimes neotectônicos do estado do Espírito Santo.

Nesse sentido, na escala regional (1:110.000), a maior parte dos movimentos de massa registrados (55,4 % do total) ocorreu nas proximidades de lineamentos cuja orientação está relacionada ao evento neotectônico de Transcorrência Dextral E-W, e uma fração significativa dos processos registrados no período (23,26%) ocorreu nas imediações de lineamentos cujas orientações estão associadas ao regime neotectônico de Distensão NW-SE, ou ao regime de Transcorrência Sinistral E-W.

Já na escala local (1:25.000), uma quantidade significativa dos movimentos de massa (39,6%) ocorreu nas proximidades de lineamentos influenciados pela Transcorrência Dextral E-W. No entanto, a maior quantidade de movimentos de massa (41,5%) culminou nas proximidades de lineamentos de orientação NE-SW, cuja orientação está associada ao regime Neotectônico de Distensão NW-SE ou à Transcorrência Sinistral E-W.

Apesar da dominância de lineamentos de orientação NNW-SSE, na escala local, há um número expressivo de lineamentos nas orientações NE-SW (NE-SW, NNE-SSE, ENE-WSW), que só foi possível de serem mapeados nessa escala, ou seja, apresentam-se como estruturas geológicas menores. Esse fato, explica a maior recorrência de processos de movimentos de massa nas orientações associadas ao regime Neotectônico de Distensão NW-SE ou à Transcorrência Sinistral E-W, quando comparados aos representados na escala regional.

Foi possível identificar também que a medida que se observa o aumento da densidade de estruturas geológicas, ocorre um aumento na ocorrência de movimentos de massa, exceto na densidade Muito Alta, fato que pode ser explicado pela pequena abrangência territorial desta classe, que se apresenta em locais de declividades elevadas, representando locais pouco habitados e de pequena e/ou nula atuação da Defesa Civil, que é o órgão responsável pela coleta de dados das ocorrências de movimentos de massa na área, fazendo assim com que quantificação e identificação de movimentos de massa nessas localidades não reflita a realidade local.

A maioria das pesquisas sobre movimentos de massa não considera ou atribui pouca relevância às influências litoestruturais implícitas nesses processos. Assim, esta pesquisa trouxe uma abordagem diferenciada sobre o tema e apresentou resultados que permitem novas discussões, demonstrando existir uma importante relação (direta ou indireta) litoestrutural (regional e local) e neotectônica com a localização dos movimentos de massa.

REFERÊNCIAS

AMBROSI, C.; CROSTA, G. Large sackung along major tectonic features in the Central Italian Alps, Large Landslides: dating, triggering, modelling, and hazard assessment. **Engineering Geology** 83(1): 183–200, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.06.031>

ANBALAGAN, R.; SINGH, B. Landslide hazard and risk assessment mapping of mountainous terrains—a case study from Kumaun Himalaya, India. **Engineering Geology**, 43(4):237–246, 1996. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(96\)00033-6](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(96)00033-6)

ATKINSON, P. M.; MASSARI, R. Mapping Susceptibility to Landsliding in the Central Apennines, Italy. **Computers and Geosciences**, 24, 373-385, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(97\)00117-9](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(97)00117-9)

BRICALLI, L. L. **Padrões de Lineamentos e Fraturamento Neotectônico no Estado do Espírito Santo (Sudeste do Brasil)**. 258f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Estado do Espírito Santo, 2002**. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/15564?show=full>. Acesso em: 13 abr. 2020.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Mapa geológico do estado do Espírito Santo: Folha Vitória (1:110.000)**. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de geologia, mineração e transformação mineral, 2014.

EFFGEN, J. F.; MARCHIORO, E. Mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa no município de Vila Velha-ES, com o uso de análise de processos hierarquizados (AHP). São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 36, n. 4, p. 731 - 742, 2017. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v36i4.12066>

ESRI INCORPORATED. **ArcMap (versão 10.5.1)**. Redlands, Estados Unidos, 2016.

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. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(03\)00115-2](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(03)00115-2)

GATTO, L. C. S.; RAMOS, V. L. S.; NUNES, B. T. A.; MAMEDE, L.; GÓES, M. H.; MAURO, C. A.; ALVARENGA, S. M.; FRANCO, E. M. S.; QUIRICO, A. F.; NEVES, L. B. Geomorfologia. **Projeto Radam Brasil**. Folhas 23/24 Rio de Janeiro/Vitória. V. 32. Rio de Janeiro, 1983.

GONÇALVES, U. S.; FRANCISCO, C. N. Análise espacial das variáveis geomorfométricas e movimentos de massa na região serrana fluminense. **Revista Brasileira de Cartografia** (2016), Nº 68/9, Edição Especial Movimentos de Massa e Processos Erosivos: 1839-1851 Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto.

GONTIJO, A.H.F. **Morfotectônica do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul: Região da Serra da Bocaina, Estados de São Paulo e Rio de Janeiro**. 1999. 259 f. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP), Rio Claro (SP), 1999. <https://doi.org/10.14393/rbcv68n9-44446>

GRUPO DE PESQUISA EM NEOTECTÔNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Azimuth Finder**. Disponível em <http://www.neotectonica.ufpr.br/2013/index.php/aplicativos>. Acesso em: 13 jul. 2021.

IJSN – Instituto Jones dos Santos Neves. **Geobases, 2010**. Disponível em: <https://geobases.es.gov.br/downloads>. Acesso em: 12 abr. 2020.

IJSN – Instituto Jones dos Santos Neves. **Geobases, 2012**. Disponível em: <https://geobases.es.gov.br/downloads>. Acesso em: 12 abr. 2020.

IJSN – Instituto Jones dos Santos Neves. **Geobases, 2016**. Disponível em: <https://geobases.es.gov.br/downloads>. Acesso em: 12 abr. 2020.

IJSN – Instituto Jones dos Santos Neves. **Geobases, 2019**. Disponível em: <https://geobases.es.gov.br/downloads>. Acesso em: 12 abr. 2020.

IJSN – Instituto Jones dos Santos Neves. **Ortofotomosaicos, 2019**. Disponível em: <https://geobases.es.gov.br/imagens-kpst-2019-2020>. Acesso em: 12 abr. 2020.

KOVACH COMPUTING SERVICES. **Oriana (versão 3.21, license demo)**. Disponível em: <https://www.kovcomp.co.uk/oriana/>. Acesso em: 15 jul. 2021.

LIU, C. C. **Análise Estrutural de Lineamentos em Imagens de Sensoriamento Remoto: aplicação no estado do Rio de Janeiro**. 183f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1984.

LONGLEY, P. A; GOODCHILD, M. F. RHIND, D.W.; MAGUIRE, D. J. Modelagem de dados geográficos; Coleta de dados para SIG. In: _____. (Org.). **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. Porto Alegre: ABDR, 2013.

MAPENCO - Projeto de Mapeamento de Áreas de Risco Geológico-Geotécnico e Monitoramento de Encostas do Município de Vitória – ES. **Mapa Interativo**. Disponível em: https://mapas.mapenco.com.br/mapa_int/index.php. Acesso em: 10 jul. 2021.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

SARKAR, S.; KANUNGO, D. P. GIS application in landslide susceptibility mapping of Indian Himalayas. In: YAMAGISHI, H.; BHANDARY, N. **GIS Landslide**. Tokyo, Japan: Springer, 2017. https://doi.org/10.1007/978-4-431-54391-6_12

SILVA, A. M.; Schulz, H. E.; Camargo, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: RIMA, 2003.

TOMINAGA, L. K. **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos**: Aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP. 2007. 240f. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres Naturais**: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

TUPINAMBÁ, M.; HEILBRON, M.; DUARTE, B. P.; NOGUEIRA, J. R.; VALLADARES, C.; ALMEIDA, J.; SILVA, L. G. E.; MADEIROS, S. R.; ALMEIDA, C. G.; MIRANDA, A.; RAGATKY, C. D.; MENDES, J.; LUDKA, I. Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: estado da arte e conexões com a Faixa Araçuaí. **Revista Geonomos**, v. 15, n. 1, 2007. <https://doi.org/10.18285/geonomos.v15i1.108>

USGS – Serviço Geológico Norte-Americano. **Modelo Digital de Elevação (MDE)**. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

VALERIANO, M. M. **Modelos digitais de elevação de microbacias elaborados com krigagem**. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-9364-RPQ/736), 2002.

VITÓRIA (Município). DEFESA CIVIL. **Relatórios de Vistoria**. Vitória, 2020.

Recebido em: 21/09/2022

Aceito para publicação em: 27/02/2023