

Artigo de Pesquisa

CORRELAÇÃO ENTRE MOVIMENTOS DE MASSA E PLUVIOSIDADE NAS ÁREAS DE RISCO DO MACIÇO DE JABURUNA, VILA VELHA – ES

Correlation between mass movement and rainfall in risk areas of the Maciço de Jaburuna, Vila Velha – ES

Fernando de Almeida Felix¹, Antonio Celso de Oliveira Goulart², Ana Christina Wigneron Gimenes³, Bartolomeu Zamprogno⁴, Alessandro José Queiroz Sarnaglia⁵

¹ Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil. E-mail: fernandofelix.eng@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0000-3412-5280>

² Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil. E-mail: celsoliveiragoulart@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-4033-6583>

³ Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil. E-mail: acw.gimenes@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5145-9602>

⁴ Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil. E-mail: bartolomeu.zamprogno@ufes.br

 <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

⁵ Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil. E-mail: alessandro.sarnaglia@ufes.br

 <https://orcid.org/0000-0002-2193-9143>

Recebido em 27/09/2024 e aceito em 05/03/2025

RESUMO: O Maciço de Jaburuna em Vila Velha, Espírito Santo, é uma região de encostas densamente ocupada que tem sido ao longo dos anos afetada por episódios frequentes de movimentos de massa ocasionados por chuvas intensas, trazendo transtornos para sua população e infraestruturas, configurando-se uma área desafiadora para as políticas de Proteção e Defesa Civil e Redução de Risco de Desastres (RRD). O presente artigo propôs-se a desenvolver um estudo de correlação entre movimentos de massa e pluviosidade, de modo a fornecer parâmetros para subsidiar a elaboração de um sistema de alertas antecipado para a referida área. A análise dos resultados do estudo indicou que os intervalos de 6h, 24h e 96h possuem maior influência na deflagração de deslizamentos. Destaca-se que para as chuvas de grande intensidade e curta duração, a análise sugere que podem provocar movimentos de massa independentemente do volume prévio acumulado. Os valores mínimos observados para a ocorrência de eventos geológicos foram de 22,99 mm/6h, 39,22 mm/24h e 53,63 mm/96h, definidos como limiares de monitoramento para níveis de observação. Os valores acima de 39,22 mm/6h; 39,22 mm/24h e 58,08 mm/96h foram definidos como limiares para níveis de atenção. Como limiares para níveis de alerta, estabeleceu-se os valores acima de 93,91 mm/6h; 111,23 mm/24h e 132,05 mm/96h.

Palavras-chave: Redução de riscos de desastres. Índices pluviométricos. Proteção e defesa civil. Sistemas de alerta antecipado. Vila Velha (ES).

ABSTRACT: The Maciço de Jaburuna in Vila Velha, Espírito Santo, is a densely populated region of slopes that has been frequently affected by mass movement episodes associated with intense rain events for years. These occurrences bring inconveniences to the population and infrastructure, constituting a challenging field for Civil Protection and Defense and Disaster Risk Reduction (DRR) policies. This paper proposes to develop a correlation study between mass movement and rainfall indexes, in order to provide parameters to subsidize the elaboration of an early warning system for the referred area. The evaluation of the results obtained indicates that the time intervals of 6 hours, 24 hours, and 96 hours are the most influential in triggering landslides. Notably, the great intensity and short-term rains play a significant role. The analysis suggests that these rains can cause mass movement independently of early accumulated rainfall. The minimum values observed for geological events are 22.99 mm/6h, 39.22 mm/24h and 53.63 mm/96h, defined as monitoring thresholds at the observation level. Values above 39.22 mm/6h, 39.22 mm/24h and 58.08 mm/96h have been defined as attention level thresholds. As warning level thresholds, values above 93.91 mm/6h, 111.23 mm/24h and 132.05 mm/96h were established.

Keywords: Disaster risk reduction. Rainfall indexes. Civil's protection and defense. Early warning systems. Vila Velha (ES).

RESUMEN: El Macizo de Jaburuna en Vila Velha, Espírito Santo, es una región de laderas densamente ocupada que ha sido afectada a lo largo de los años por episodios frecuentes de movimientos de masa ocasionados por lluvias intensas, causando trastornos para su población e infraestructuras, configurándose como un área desafiante para las políticas de Protección y Defensa Civil y Reducción de Riesgo de Desastres (RRD). El presente artículo se propuso desarrollar un estudio de correlación entre movimientos de masa y pluviosidad, con el fin de proporcionar parámetros para subsidiar la elaboración de un sistema de alertas anticipado para dicha área. El análisis de los resultados del estudio indicó que los intervalos de 6h, 24h y 96h tienen mayor influencia en la deflagración de deslizamientos. Se destaca que para las lluvias de gran intensidad y corta duración, el análisis sugiere que pueden provocar movimientos de masa independientemente del volumen previo acumulado. Los valores mínimos observados para la ocurrencia de eventos geológicos fueron de 22,99 mm/6h, 39,22 mm/24h y 53,63 mm/96h, definidos como umbrales de monitoreo para niveles de observación. Los valores por encima de 39,22 mm/6h; 39,22 mm/24h y 58,08 mm/96h fueron definidos como umbrales para niveles de atención. Como umbrales para niveles de alerta, se establecieron los valores por encima de 93,91 mm/6h; 111,23 mm/24h y 132,05 mm/96h.

Palabras clave: Reducción de riesgo de desastres. Índices de lluvia. Protección y defensa civil. Sistemas de alertas tempranas. Vila Velha (ES).

INTRODUÇÃO

No Brasil, os impactos de desastres causados por movimentos de massa afetaram um total de 4.210.000 pessoas, no período entre 1991 e 2022, provocando danos totais, em valores corrigidos, de R\$ 14,74 bilhões, de acordo com o Atlas Digital de Desastres no Brasil (2023). Macedo e Sandre (2022) estimam que esses eventos geológicos vitimaram 4.126 pessoas entre 1988 e 2022.

Em um país de clima predominantemente tropical, a alta pluviosidade atua como o principal agente não antrópico desencadeador de movimentos de massa (PARIZZI *et al.*, 2010). De fato, segundo Marchezini *et al.* (2020), esse tipo de evento está diretamente relacionado à variabilidade climática de dinâmicas de origem natural e seus extremos, potencializados por vulnerabilidades socioeconômicas que aumentam a exposição das populações aos efeitos desses eventos.



Diversas organizações e instituições têm apontado para a necessidade de se desenvolver estratégias e ordenamentos com o objetivo de minimizar os impactos desses desastres e de outros tipos, bem como de promover ações para reduzir os riscos de ocorrência. Atualmente, à nível internacional, esses apontamentos têm sido realizados por meio da Agência das Nações Unidas para Redução de Riscos de Desastres (UNDRR) e implementados, à nível nacional, por meio da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), legislação federal promulgada pela lei n.º 12.608/2012 (BRASIL, 2012).

A utilização de sistemas de monitoramento, previsão, elaboração e de transmissão de alertas e alarmes, ou Sistema de Alerta Antecipado (SAA), desenvolvidos pelo conhecimento em torno do tema de RRD e pela experiência ao longo dos anos, é apontada pela UNDRR (2022) como uma das principais ações não estruturais para prevenção e redução de risco, potencializando as medidas de mitigação e preparação para desastres, além de antecipar a resposta por parte dos poderes públicos locais e das populações vulneráveis. De fato, estima-se que a implementação de Sistemas de Alertas Antecipados como estratégia de Redução de Risco de Desastres preservou dezenas de milhares de vidas e poupar bilhões de dólares em danos e prejuízos (UNDRR, 2022).

Define-se Sistemas de Alerta Antecipado como:

Um sistema integrado de monitoramento de perigos, previsão e predição, avaliação de risco de desastres, comunicação e atividades de preparação que permite a indivíduos, comunidades, governos, organizações e outros tomar ações em tempo hábil para reduzir os riscos de desastres ante a possibilidade de ocorrência de eventos perigosos. (tradução nossa) (UN, 2016, p. 17).

A então Estratégia Internacional para Redução de Desastres (UNISDR, 2006) apresentou os principais elementos necessários para elaboração de um sistema de alerta antecipado eficiente que consiste na abordagem de quatro pilares distintos: o conhecimento do risco, o monitoramento do risco, a comunicação do risco e a preparação para resposta, os quais necessitam de parâmetros técnicos bem definidos para que os critérios de envio sejam efetivos.

Estudos de correlação

No que diz respeito aos desastres relacionados a eventos geológicos, Marchezini *et al.* (2020) destacam ser fundamental, para se estabelecer níveis operacionais e funcionais de sistemas de alerta e planejamento de ações de contingência, compreender a influência dos índices pluviométricos na deflagração de movimentos de massa. Essa correlação pode ser conhecida por meio do reconhecimento desses processos, isto é, dos dados de chuva (precipitação) na deflagração de processos geodinâmicos, que pode ser obtido pela elaboração de uma base de dados estruturada em um conjunto de informações – um banco de dados, permitindo analisar e propor abordagens em um único local.

Diversas pesquisas têm demonstrado a importância de abordar localmente a relação entre precipitação e movimentos de massa, devido às diferentes características

climáticas, geológicas e geomorfológicas observadas em cada território (DAMASCENO *et al.*, 2021). De acordo com Pedrosa (1994), as primeiras pesquisas representativas a apontar a relevância na correlação entre deslizamentos e chuvas antecedentes ocorreram em Hong Kong (LUMB, 1975) e Califórnia (NILSEN e TURNER, 1975). No Brasil, a experiência pioneira na temática das correlações entre pluviosidade e movimentos de massa ocorreu com Guidicini e Iwasa (1976), que realizaram estudos estatísticos de registros de chuvas e processos geodinâmicos ocorridos em diferentes regiões brasileiras.

Também se destacam os estudos de Tatizana *et al.* (1987) para o município de Cubatão (SP); Molina *et al.* (2015) para São Bernardo do Campo (SP); Santoro *et al.* (2010) para os municípios paulistas da região da Serra do Mar; Metodiev *et al.* (2018) para os municípios do litoral norte paulista; D'Orsi (2011) para região da Serra dos Órgãos (RJ); Guerra *et al.* (2009) para o município de Petrópolis (RJ); Oliveira *et al.* (2016) para Nova Friburgo (RJ); Mendes *et al.* (2015) para São José dos Campos (SP); Damasceno *et al.* (2021) para Mauá (SP); Calvello *et al.* (2015) para a cidade do Rio de Janeiro (RJ); Hassan *et al.* (2017) para Duque de Caxias (RJ); Silva *et al.* (2022) para Niterói (RJ); Parizzi *et al.* (2010) para Belo Horizonte (MG); Castro (2006) para o município de Ouro Preto (MG); Silva (2014) para a região da sub-bacia do alto do Ribeirão do Carmo, que engloba Mariana (MG) e Ouro Preto (MG); e Salaroli (2003) para a cidade de Vitória (ES).

Diante da importância do tema proposto para a sociedade, o presente trabalho buscou, como objetivo principal, compreender a correlação existente entre o índice de pluviometria e o acumulado de chuvas com a deflagração de movimentos de massa no território de Vila Velha (ES), mais especificamente na região do Maciço de Jaburuna, por meio da elaboração de inventário de eventos geodinâmicos, construídos por meio de consulta aos relatórios de vistoria de risco da Defesa Civil do município e consulta aos registros pluviométricos das instituições de monitoramento meteorológico atuantes.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O Maciço do Jaburuna (Figura 1) está situado em um complexo de três maciços rochosos na porção norte do município de Vila Velha (ES), Região Metropolitana de Vitória (RMGV) do estado de Espírito Santo, denominados Jaburuna, Soares e Inhoá, e possui 72,31 ha de área. De acordo com a delimitação oficial do município, os bairros limítrofes a Jaburuna são: Olaria e Centro, ao leste; Glória, ao oeste e ao norte; e Ilha dos Ayres, ao sul. A população do bairro estimada é de 6.584 habitantes (VILA VELHA, 2018a; IBGE, 2023).

De acordo com o Plano Diretor Municipal de Vila Velha (2018b), o território do Maciço de Jaburuna é reconhecido como um bem natural de interesse de preservação, mais precisamente uma Zona de Especial Interesse Ambiental – ZEIA, classe B,

caracterizado por ser uma área de ocupação urbanística restrita de uso predominantemente residencial com baixa densidade.

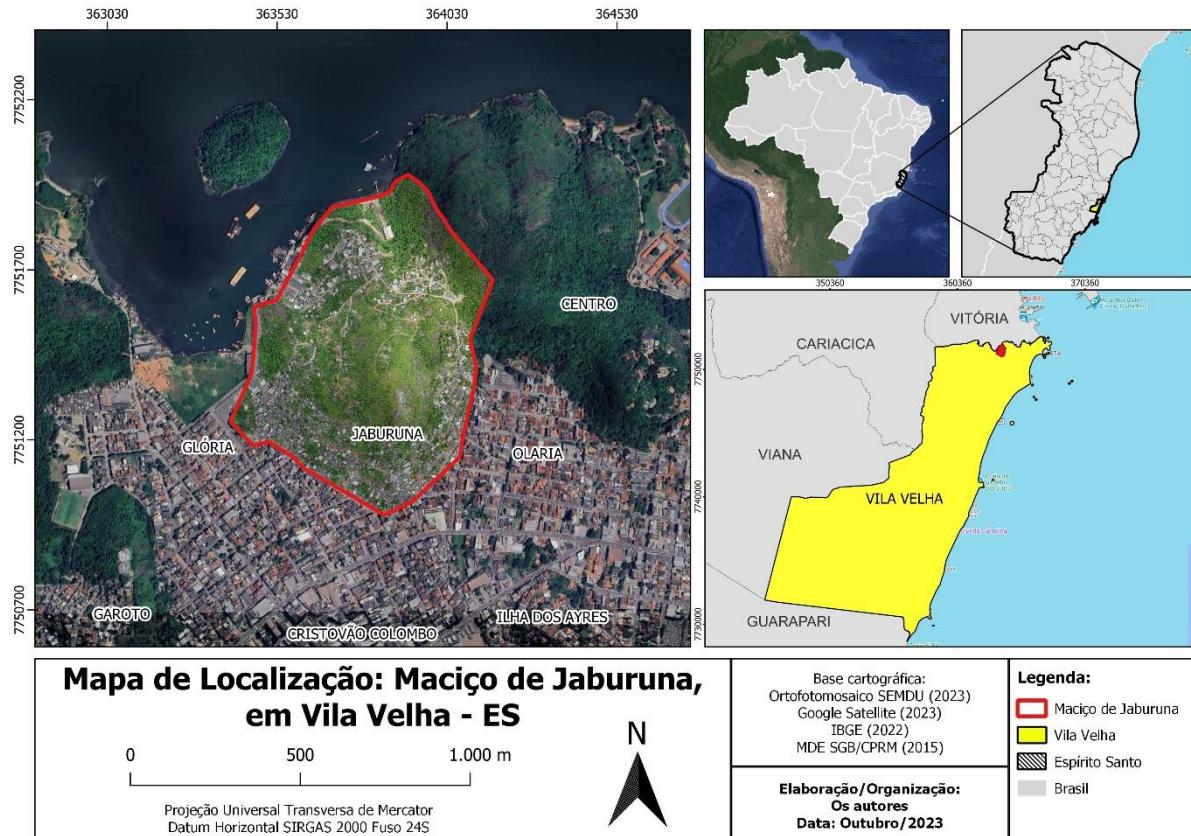


Figura 1. Mapa de Localização do Maciço de Jaburuna, Vila Velha – ES. **Fonte:** Elaborado pelos autores (2023).

O Maciço de Jaburuna é caracterizado como morro baixo (com aproximadamente 160 metros de altitude) de elevada inclinação (acima de 30%), onde se identificou duas feições geomorfológicas importantes para esta análise: um anfiteatro (*hollow*) (Figura 2A), localizado na face nordeste do Maciço de Jaburuna, apresentando-se como um vale, formado pelos terços inferiores dos morros Jaburuna e Soares, cuja bacia de recepção é mais alargada, apresentando forma oval a semicircular e formada por um conjunto de linhas de drenagem que convergem a jusante, no sentido do estuário do rio Santa Maria; e uma sequência de vertentes convexas e retilíneas dispostas nas faces restantes da área de estudo (Figura 2B), com exposição parcial do maciço na face noroeste, e ocorrência de escarpas naturais fraturada e com presença de blocos, na face sudeste do maciço (VILA VELHA, 2022; ORIGGE *et al.*, 2020; MIRASOLA, 2018; ESPÍRITO SANTO, 2015).



Figura 2. Vistas da face nordeste (A) e sudoeste (B) do Maciço de Jaburuna, obtidas por meio de registro fotográfico por drone, em 2019. **Fonte:** Acervo SEMPDEC (2020)

A área de estudo está inserida na Suíte Intrusiva Espírito Santo, que consiste em um conjunto predominantemente granítico a granodiorítico, de caráter sin a pós-tectônico em relação ao Ciclo Brasiliano, que ocorre na região sul do Estado do Espírito Santo, conforme identificação feita pelo Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1983). No Maciço Central de Vitória, análogo ao Maciço de Jaburuna, de acordo com Vieira e Menezes (2015), predomina a presença de Granito Porfirítico em seus afloramentos rochosos, apresentando uma matriz de granulação média e cor cinza, envolvendo megacristais com dimensões de até 3 x 1 cm, além de localmente exibir foliação de fluxo magmático e estar cortado por diques de basalto. O Maciço de Jaburuna, por sua vez, apresenta-se como um granito de granulação média, porfirítico, exibindo lineamento mineral marcante e muito fraturado, contribuindo para a formação de blocos de dimensões variadas. O topo rochoso encontra-se exposto em parte do maciço, onde são observadas famílias de fraturas responsáveis pela geração de blocos e lascas instáveis (Figura 3) (MIRISOLA, 2018).

O solo predominante na região é o argissolo vermelho-amarelo distrófico (PVAd3), apresentando horizonte A com textura típica moderada argilosa média a muito argilosa, típicos de relevos montanhosos e fortemente ondulados. No maciço, esse solo se apresenta de dois modos, de acordo com as feições geomorfológicas identificadas: observa-se, na região do anfiteatro, depósitos de tálus compostos por solo argiloso-arenoso inconsolidado e com baixa capacidade geotécnica com presença de blocos de dimensões de médio a grande porte, dispersos ao longo da vertente, com baixa estabilidade e pouca ou nenhuma compartimentação natural; quanto às regiões de encostas convexo-retilíneas, ocorrem camadas de solo argilo-arenoso (areia média e grossa), de espessura não uniforme, normalmente pouco espesso, e depositado diretamente sobre a rocha sã, com a presença de blocos pouco estáveis nesses trechos decorrentes da região escarpada a montante da vertente (CUNHA *et al.*, 2016; MIRISOLA, 2018).



Figura 3. Afloramento rochoso com fraturamentos aparentes. Maciço de Jaburuna, Vila Velha – ES. Coordenadas UTM – Datum Sirgas 2000 – 363911,188E; 7751593,695N.

Fonte: levantamento de campo feito pelos autores (2023).

Tem-se observado nos últimos 50 anos um avanço considerável na ocupação da área do Maciço de Jaburuna, mormente em assentamentos precários, sem infraestrutura mínima adequada, de modo especial na face norte e oeste do maciço, áreas relativamente menos inclinadas. Esse processo também contribui para a instabilização da área de estudo, uma vez que as atividades associadas à instalação dos assentamentos têm grande papel modificador na paisagem, como a implementação de cortes nas vertentes para construção de moradias, sem o devido acompanhamento técnico, expondo o talude de solo verticalmente e sem estrutura de contenção apropriada; a execução de aterros com materiais inadequados e sem a compactação necessária; a ausência de infraestrutura básica para ocupação, como sistemas de captação de águas servidas e pluviais; o acúmulo de blocos rochosos, oriundos da construção de habitações, descartados de forma irregular ao longo das ruas e das cristas de talude produzidos por cortes para aberturas de vias (MIRISOLA, 2018; MARQUES, 2021).

Clima

O clima de Vila Velha – e consequentemente, do Maciço de Jaburuna – é definido como do tipo “Awa”, de acordo com a Classificação Climática genérica de Köppen, significando que o município é classificado como clima tropical chuvoso (representado pela letra A), com chuvas de verão (representado pela letra w) em que o mês mais quente tem temperatura média acima de 22 °C (representado pela letra a). De fato, a temperatura média anual é de 24 °C, enquanto as médias nos meses mais quente e

mais frio são, respectivamente, 26,7 °C (em fevereiro) e 21,2 °C (em julho) (INCAPER, 2020).

Ao longo do ano, os sistemas meteorológicos que costumam ocorrer no município são os mesmo que atuam sobre a região sudeste e o estado do Espírito Santo; isto é, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), as frentes frias e os sistemas convectivos locais, entre outros; e são responsáveis por gerar grandes volumes de acumulado de chuvas em curtos períodos (MARCHIORO *et al.*, 2016; SILVA, 2013; EFFEGER e MARCHIORO, 2017; VILA VELHA, 2022).

Correlação entre pluviosidade e movimentos de massa

Os estudos de correlação, de modo geral, objetivam a determinação de índices mínimos representativos de chuva crítica a qual possui maior probabilidade de ocorrência de movimento de massa. O índice, também chamado de limite ou limiar, conforme conceituação proposta pelo Projeto GIDES (BRASIL, 2018a), é:

A representação gráfica da fronteira teórica que separa a zona segura (onde os índices de chuva efetiva apontam para menor probabilidade de evento) e a zona insegura (onde os índices de chuva efetiva apontam para maior probabilidade de evento) (BRASIL, 2018, p. 29).

Esses limiares, de acordo com Guzzetti *et al.* (2007), podem ser determinados por meio de modelos baseados em processos físicos ou empiricamente a partir da combinação entre séries históricas de precipitação e/ou bases estatísticas e registros de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa, com as devidas limitações e vantagens existentes em cada uma dessas metodologias.

O presente estudo adotou a modelagem de base empírica como método para estabelecimento de limiares mínimos para a área do Maciço de Jaburuna.

No que diz respeito aos modelos empíricos, conforme Guzzetti *et al.* (2007), a fixação dos limiares pluviométricos é definida mediante o estudo de eventos de chuvas que resultaram em movimentos de massa. Segundo Silva (2014), a correlação entre os índices pluviométricos e os eventos de deslizamento deflagrados por essa dinâmica é representada por meio de limiares traçados em gráficos semilogarítmicos ou logarítmicos; sendo que, com a adição de dados de precipitação que não resultaram em escorregamentos, é possível estimar um limiar com a separação das condições pluviométricas críticas de estabilidade da encosta. Além disso, ainda de acordo com Silva (2014), o número de escorregamentos desencadeados também pode ser utilizado como um dado para construção de um limiar.

O ponto crucial, segundo Silva (2014), para a construção de um modelo empírico é a fixação da intensidade da chuva, ou seja, a quantidade de precipitação acumulada em um período, usualmente medida em milímetros por hora. A autora ressalta a dificuldade de se determinar a duração do período de observação da intensidade das chuvas, pois esse fator pode gerar resultados com significados físicos diferentes: para períodos curtos, a intensidade de chuva medida pode representar uma medida instantânea da taxa de pluviosidade, ou uma média de precipitação ao longo de horas,



dias ou intervalos maiores; para períodos de observação mais longos, a intensidade pluviométrica representa um valor médio que subestima a taxa de precipitação máxima ocorrida durante o período.

Silva (2014) assevera que não existe um intervalo de tempo ideal para caracterizar as condições pluviométricas em que são prováveis as ocorrências de escorregamentos, tendo cada região o seu intervalo de tempo ótimo, inviabilizando a comparação entre os limiares de pluviosidade entre localidades diferentes.

A pesquisa desenvolvida procurou empregar técnicas e métodos para estabelecimento da correlação entre índices pluviométricos e movimentos de massa para a área de Maciço de Jaburuna, baseados na estrutura metodológica adotada nos trabalhos de Tatizana *et al.* (1987), Castro (2006), Silva (2014) e Metodiev *et al.* (2018). O fluxograma da Figura 4 ilustra as etapas de modo esquematizado.

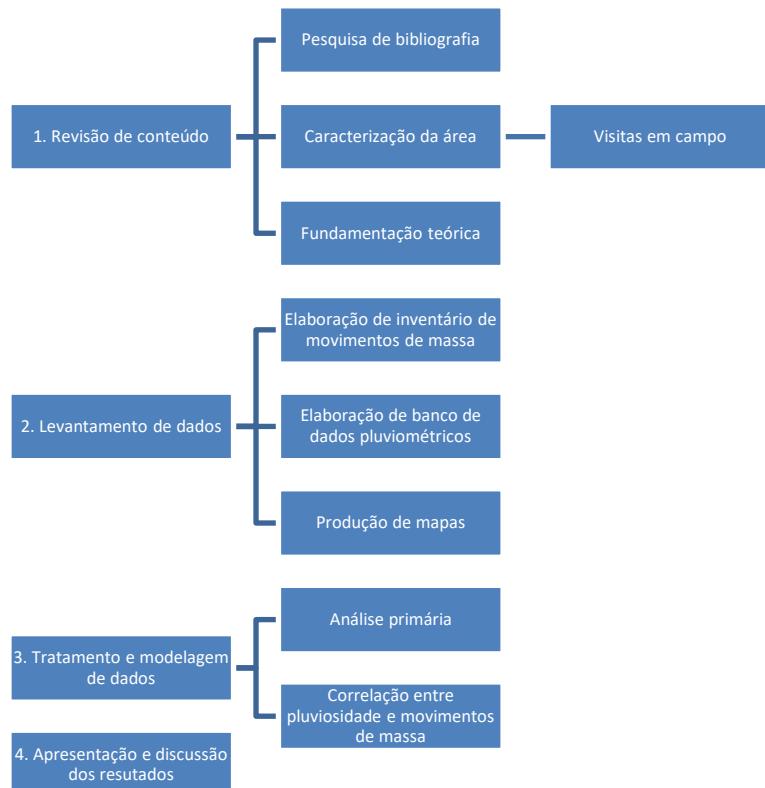


Figura 4. Etapas de concepção da pesquisa. **Fonte:** Elaborado pelos autores (2024).

Os dados de movimentos de massa foram determinados por meio da inspeção de Relatórios de Vistoria de Risco elaborados e disponibilizados pela Secretaria Municipal de Proteção e Defesa Civil – SEMPDEC de Vila Velha, entre o período de 2005 e 2022, de modo a cadastrar cada ocorrência e possibilitar a construção de um inventário de registros de processos geodinâmicos com informações pertinentes a esta pesquisa.

Os registros de chuva foram obtidos por meio da compilação de dados de estações pluviométricas para o período de 2005 a 2022. Conforme Marchezini *et al.* (2020),

estações pluviométricas são instrumentos que medem a precipitação que chega à superfície terrestre em tempo real, sendo que o índice pluviométrico é a medida do somatório da chuva ocorrida em um determinado local durante um período estabelecido, registrado em milímetros. Esses dados são disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e pelo Projeto Mapenco (Mapeamento das áreas de Risco das Encostas do Município de Vitória).

Na análise primária dos dados de registros de movimentos de massa, foi realizado a filtragem dessas informações, considerando as vistorias feitas na área de estudo do Maciço de Jaburuna, elaborando-se um inventário para essa localidade, referenciando a localização de cada ocorrência, a especificação do movimento de massa, a data do evento, o horário (quando disponível), o tipo de ruptura ocorrida e o georreferenciamento de cada evento registrado.

A análise dos dados pluviométricos buscou identificar possíveis inconsistências nas séries históricas das estações de medição, verificando a existência de lacunas nos registros e correlações entre os dados das estações, conforme métodos propostos por Castro (2006). Uma limitação observada foi a possibilidade de os dados apresentarem valores não-homogêneos para uma mesma data, por serem obtidos por diferentes instituições ou mesmo pelo evento chuvoso não se comportar da mesma forma em localidades relativamente próximas, o que se faz necessário uma análise de consistência por meio da comparação entre os dados das estações pluviométricas e avaliar se a distância entre elas não compromete o limite operacional que é considerado por diversos autores como eficaz para utilização dos dados pluviométricos nos estudos de correlação. Esses limites operacionais variam de 2,0 a 3,0 km (METODIEV *et al.*, 2018; MARCHEZINI *et al.*, 2020; BRASIL, 2018).

Objetivando estabelecer uma relação numérica entre os dados levantados, foram destacados os eventos chuvosos em que se obteve movimentos de massa registrados e os que não tiveram. Concomitante a isso, procurou-se analisar a influência de um intervalo de chuva acumulada crítica anterior à deflagração de processos geodinâmicos, no que diz respeito ao papel do estado prévio de saturação do solo nesses eventos (TATIZANA *et al.*, 1987), avaliando a dispersão dos pontos nos intervalos em que se observa a separação entre os episódios sem registros e os com ocorrência de deslizamento.

A partir dos parâmetros levantados, buscou-se elaborar uma curva envoltória, conforme a proposição de Tatizana *et al.*, de forma a obter uma relação numérica entre a chuva acumulada e o intervalo de tempo de chuva acumulada antecedente à ocorrência, definindo o intervalo crítico para isso.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Movimentos de massa

Posteriormente à inspeção e análise dos relatórios de vistoria de risco elaborados pela Defesa Civil de Vila Velha, foram identificados 322 processos geodinâmicos ocorridos



em todo o território do município no recorte temporal referente aos anos de 2005 a 2022.

Para fins de melhor reconhecimento, esses movimentos de massa foram classificados de acordo com as seguintes tipologias de processo geodinâmico, baseados em Varnes (1978), Tominaga (2015) e Gerscovich (2016): deslizamento translacional raso (Des) – com 201 registros (63% do total); deslizamento translacional associado a colapso de estrutura de contenção de talude de corte (Estrutural, Des) – com 49 registros (15%); deslizamento e rolamento de bloco associados (Des, Rb) – com 36 registros (11%); rolamento de bloco rochoso (Rb) – com 26 registros (8%); queda de bloco rochoso por desprendimento (Qb) – com 8 registros (3%); processo geodinâmico indeterminado ou de complexidade de definição (Outros) – com um registro (0,31%); e rolamento e queda de bloco rochoso (Rb, Qb) – com um registro (0,31%). Não foram observados eventos relacionados a corridas de massa ou rastejos (Figura 5).

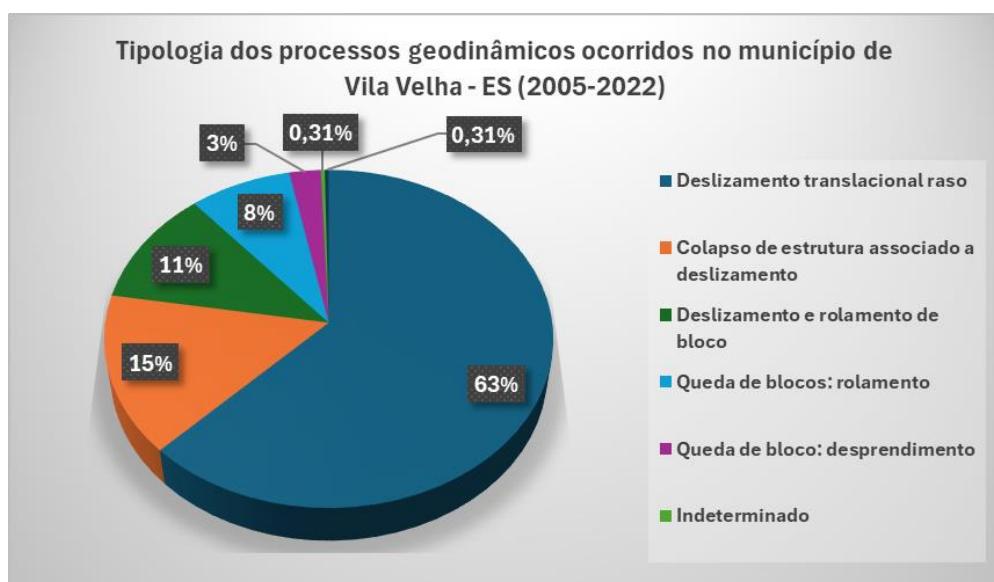


Figura 5. Tipologia dos processos geodinâmicos ocorridos no município de Vila Velha – ES (2005-2022). **Fonte:** Elaborado pelos autores (2024).

A totalidade das ocorrências se distribui entre 33 bairros do município de Vila Velha, conforme gráfico da Figura 6. A recorrência de eventos registrados no bairro de Jaburuna, sendo quase equivalente ao dobro do número de registros do bairro imediatamente anterior, indica um cenário de suscetibilidade a movimentos de massa e justifica a escolha do Maciço de Jaburuna como área de estudo deste trabalho.

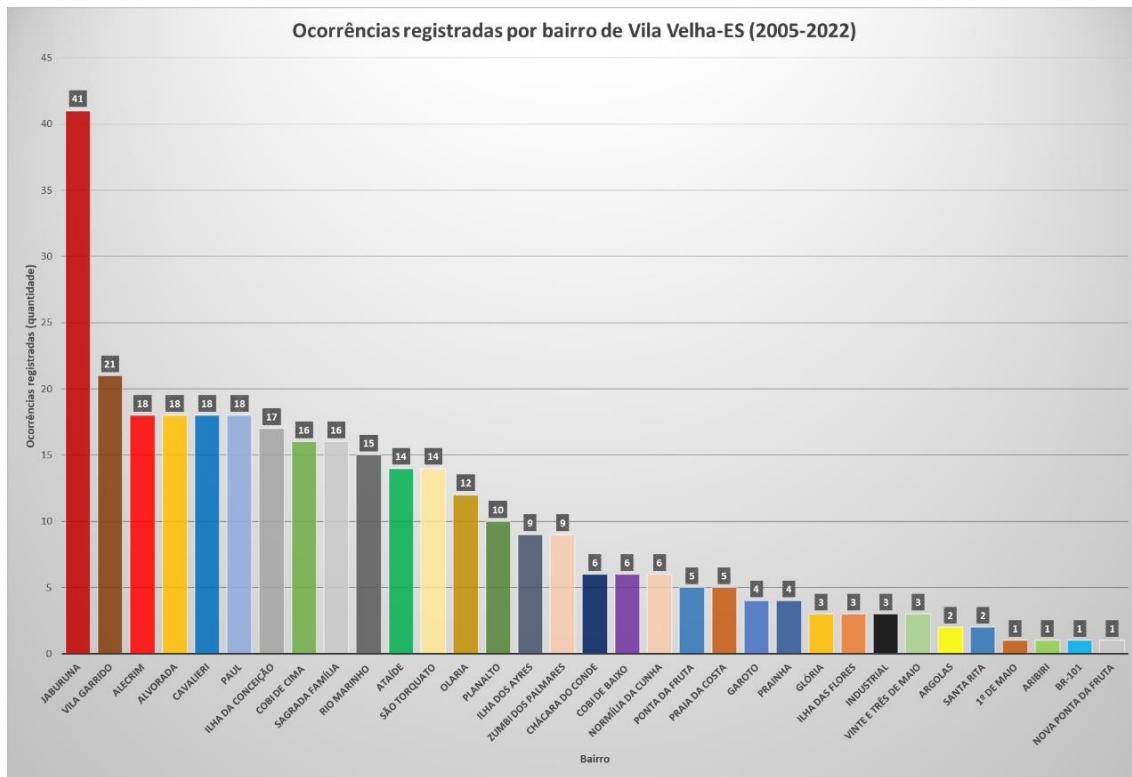


Figura 6. Diagrama de ocorrências registradas por bairro de Vila Velha – ES (2005-2022). **Fonte:** Elaborado pelos autores (2024).

Dentre todos os registros, foram identificadas 43 ocorrências de movimento de massa localizadas no Maciço de Jaburuna – 41 registros do bairro Jaburuna adicionados a outros dois que, embora constem nos relatórios como pertencentes ao bairro Glória, estão inseridos na delimitação da área de estudo. Nota-se que 51% dos movimentos de massa ocorridos no Maciço de Jaburuna correspondem a deslizamentos translacionais rasos (22), e que 21% desses registros se trata de rolamento de blocos (9), 19% desses registrados se referem à ocorrência de deslizamentos translacionais rasos associados com rolamento de blocos (8), e 9% dos registros estão relacionados a deslizamentos translacionais rasos associados a colapso de estruturas de arrimo (4) (Figura 7).

O impacto desses eventos geológicos, conforme se notou na investigação dos relatórios, foi condicionado pela própria intervenção humana no meio, normalmente para fins de ocupação, contribuindo de forma determinante para a instabilização do meio (Figura 8A). Em outras localidades, observa-se intervenções realizadas pelos próprios moradores, objetivando mitigar o risco de novos deslizamentos (Figura 8B). Essas ações realizadas de forma individualizada por cada morador ou núcleo familiar, tendem a tornar dinâmico os processos de ocupação, aumentando ou mitigando os riscos sem, contudo, afastar totalmente a possibilidade de novas ocorrências. Os registros de movimento de massa foram georreferenciados, de modo a identificar a disposição de cada um sobre a superfície do maciço, conforme mapa da Figura 9.

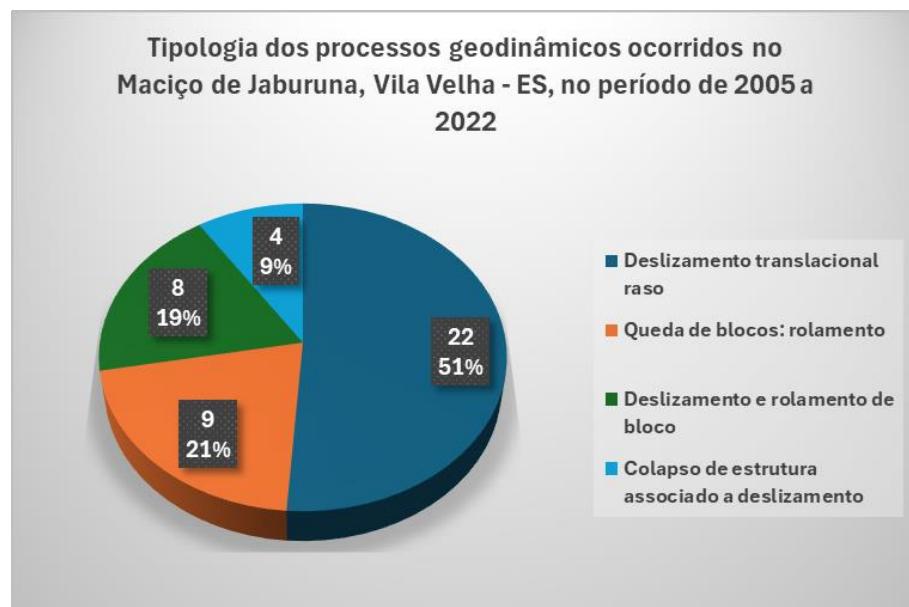


Figura 7. Tipologia dos processos geodinâmicos ocorridos no Maciço de Jaburuna (2005 a 2022). **Fonte:** Elaborado pelos autores (2024).



Figura 8. Interações humanas com o meio e a suscetibilidade a movimentos de massa. Deslizamento ocorrido aos fundos de domicílio (A). Intervenção estrutural para mitigação de riscos promovida por residentes (B). Coordenadas UTM – Datum Sirgas 2000: 363789,38E; 7751639,81N (A). 364037,60E; 7751404,17N (B). **Fonte:** Acervo SEMPDEC (A) (2018) / levantamento feito em campo pelos autores (B) (2023).

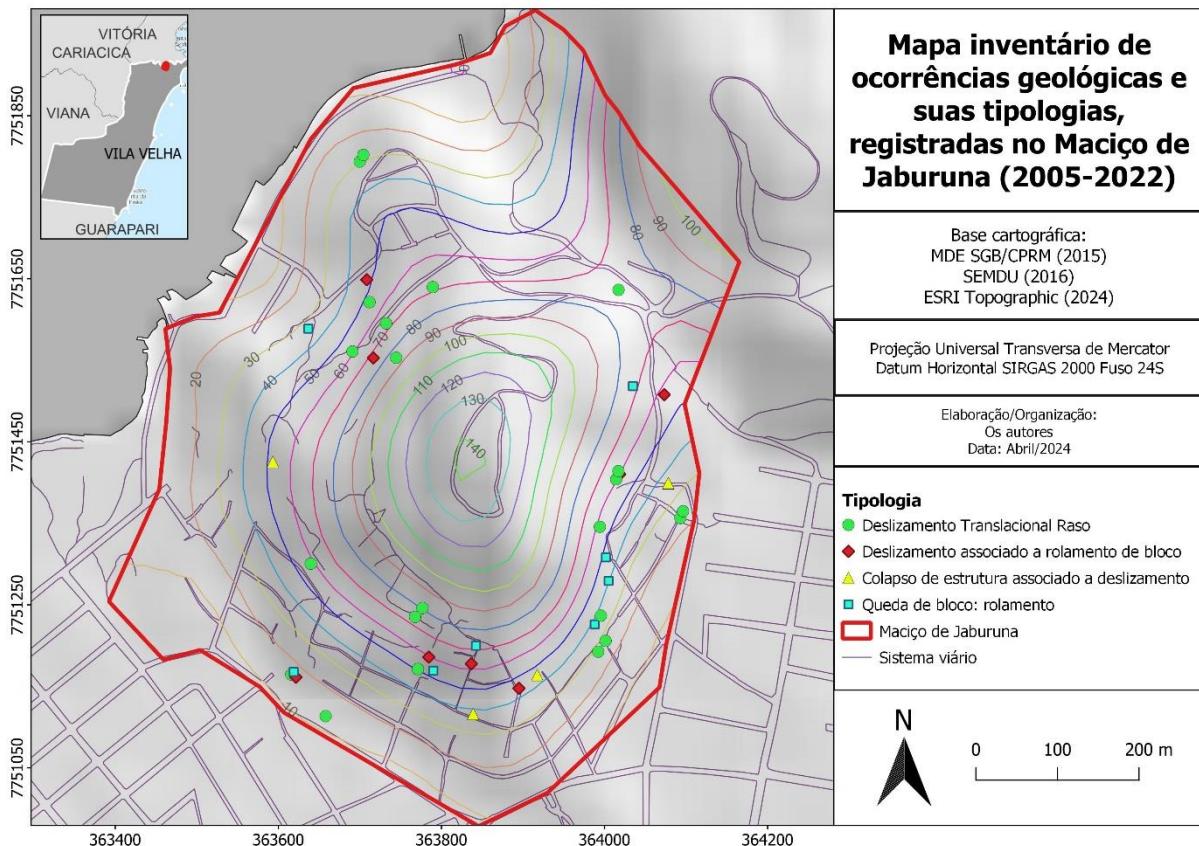


Figura 9. Mapa com a localização das ocorrências geológicas inventariadas registradas e suas tipologias no Maciço de Jaburuna (2005-2022). **Fonte:** Elaborado pelos autores (2024).

Índices pluviométricos

Foram utilizadas inicialmente nessa fase do estudo as estações pluviométricas mais próximas à área em análise, a saber, as estações da INMET Vitória, Mapenco SEMOB e as estações do Cemaden Jaburuna, Centro, Coqueiral de Itaparica, Jesus de Nazareth e Romão (Figura 10) como fonte de informações pluviométricas.

A fim de se analisar a homogeneidade dos dados de chuva das diferentes estações pluviométricas, realizou-se a comparação entre os valores acumulados médios mensais a no período entre 2016 e 2022, intervalo de tempo a partir do qual há disponível informações pluviométricas para todos esses equipamentos. A Tabela 1 apresenta os valores mensais médios acumulados de chuva obtidos para cada uma das estações pluviométricas utilizadas para realização da análise de consistência.

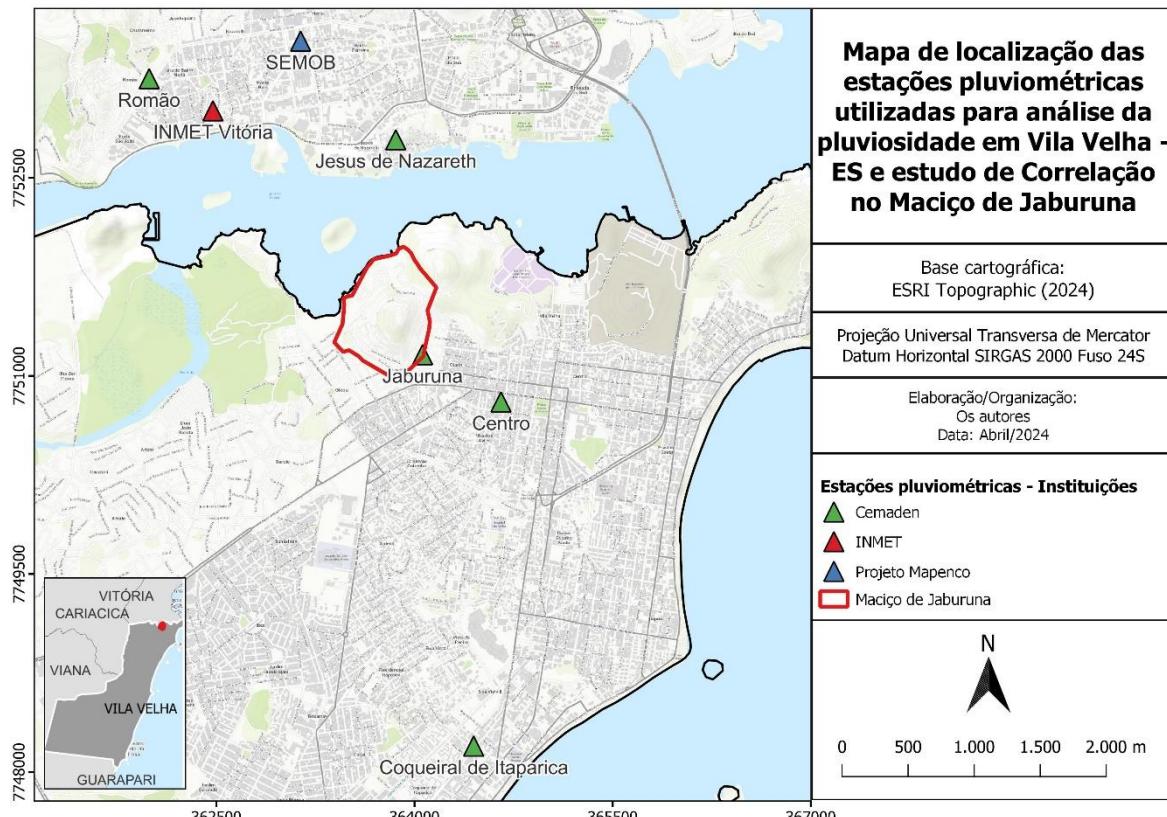


Figura 10. Disposição dos pluviômetros utilizados para análise de pluviosidade em Vila Velha – ES e estudo de correlação no Maciço de Jaburuna. **Fonte:** Elaborado pelos autores (2024).

Tabela 1. Médias mensais de valores de chuva das estações pluviométricas do INMET, Mapenco e do Cemaden (2016-2022).

MÊS	INMET Vitória	Mapenco SEMOB	Cemaden Jaburuna	Cemaden Centro	Cemaden Coqueiral	Cemaden Romão	Cemaden Jesus de Nazareth
Jan	80,79	94,20	106,19	103,53	102,12	49,01	72,13
Fev	132,96	119,25	118,85	111,63	68,26	103,56	96,49
Mar	127,46	151,05	140,59	124,51	96,51	95,05	109,00
Abr	113,49	86,18	83,69	79,78	81,15	100,00	70,37
Mai	126,50	120,64	62,23	93,51	89,37	106,35	92,09
Jun	78,99	73,00	73,04	87,12	82,41	47,13	57,67
Jul	69,10	68,92	44,18	71,44	61,27	32,72	72,45
Ago	55,26	52,96	48,24	47,39	40,37	3,44	39,12
Set	79,07	68,75	60,89	61,38	46,54	24,05	43,48
Out	160,27	164,29	100,93	133,33	97,01	133,01	137,31
Nov	274,64	283,21	209,89	214,35	159,51	197,43	137,33
Dez	179,67	169,05	168,90	170,01	150,89	86,81	107,66

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

As médias mensais pluviométricas apresentam certo grau de satisfação na correlação de seus acumulados. Contudo, não é possível afirmar que os dados são homogêneos, ao compará-los em seus valores de chuva diária, provavelmente em decorrência de falhas e descontinuidades em registros da série histórica, falta de manutenção, problemas na calibração dos equipamentos automáticos e *delays* na leitura e transmissão de precipitações medidas, entre outros.

Para a fase seguinte deste estudo, selecionaram-se as estações pluviométricas que possibilitem a maior quantidade de informações. Considerando os limites operacionais que a localização das estações pluviométricas impõe aos estudos de correlação, deve-se observar limites máximos de raios de influência de até 3 quilômetros do equipamento de medição às áreas suscetíveis a movimentos de massa, sob o risco de distâncias maiores prejudicarem a relevância dos resultados de correlação (METODIEV *et al.*, 2018; MARCHEZINI *et al.*, 2020; BRASIL, 2018). Outro fator limitante é a de que o uso de dados de chuva acumulada diária unicamente pode reduzir a fidelidade da descrição de um comportamento de um evento de chuva, como sua duração e sua magnitude. Duas precipitações podem apresentar o mesmo volume acumulado de chuva em um período de 24 horas, mas esse volume de chuva pode produzir efeitos e impactos diversos caso se concentre em poucas horas ou se distribua ao longo de um dia inteiro – considerando o objeto do presente estudo – o que torna necessário, como um dado sensível, incorporar a duração e a intensidade de cada evento de precipitação nesta análise.

Considerando esses dois aspectos relevantes para o presente estudo, optou-se por selecionar o banco de dados horários produzidos pelas estações pluviométricas automáticas do Cemaden, disponíveis a partir de agosto de 2015, em detrimento dos dados de chuva diária fornecidas pelo pluviômetro convencional do INMET. Compreende-se que os dados de chuva medidos pelo Projeto Mapenco não possuem aderência satisfatória com os dados das estações do Cemaden para poderem ser integrados a esta etapa.

Com o auxílio da ferramenta “linha” do software de geoprocessamento QG/S, foi possível medir as distâncias existentes entre o ponto central do Maciço de Jaburuna e as estações automáticas do Cemaden Jaburuna (369,39 m), Centro (1.043,35 m), Coqueiral de Itaparica (2.940 m), Jesus de Nazareth (1.352,94 m) e Romão (2.577,96 m), o que as possibilitam de serem integradas ao estudo de correlação proposto.

Ressalta-se que foram consultados portais de notícias e boletins da Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil (CEPDEC) como modo de confirmação e validação da ocorrência de eventos chuvosos e registros de movimento de massa apurados no inventário elaborado por este estudo.

Correlação entre Movimentos de Massa e Pluviosidade no Maciço de Jaburuna

Tendo em vista a priorização de uma maior precisão dos dados horários para descrição dos eventos de pluviosidade, impôs-se a esta pesquisa a necessidade de se limitar a amplitude desta parte da análise ao período de 2015 a 2022, considerando



que a disponibilidade de dados pluviométricos produzidos e armazenados pelo CEMADEN constarem em seu banco de dados a partir de meados de 2015. Em um segundo momento, foram identificados os episódios de chuva ocorridos nesse período, levantando-se a duração (horária) e o volume acumulado.

Puderam ser enumerados 176 eventos pluviométricos no período citado, os quais, em posse das informações de início e fim de cada chuva, foram calculados os volumes acumulados imediatamente anteriores ao final de cada evento, nos intervalos de 6h, 24h, 48h, 72h e 96h.

Concomitante a isso, os dados de registros de ocorrências geodinâmicas no Maciço de Jaburuna compreendidos no período dos dados pluviométricos, a partir dos registros de data e horário do movimento de massa previamente levantados nos Relatórios de Vistoria de Risco e validados e complementados com informações de portais de notícias, puderam ser posicionados de modo a permitir observar os volumes acumulados de chuva imediatamente anteriores ao evento geológico-geotécnico nos referidos intervalos (Tabela 2).

A incorporação dos dados de chuva horária permitiu ilustrar o papel das chuvas com maior intensidade inicial, nos intervalos de 6h e 24h, e seu visível papel de influência na deflagração de eventos geodinâmicos. Pode-se estimar também, por meio da análise dos volumes acumulados para o intervalo de 96h, um limiar mínimo (53,63 mm) ao qual a partir dele há a possibilidade de ocorrência de um deslizamento de solo ou rocha. Os outros intervalos não demonstraram tendências de comportamento visíveis em seus respectivos gráficos de dispersão, impossibilitando a compreensão de possíveis influências dos acumulados na deflagração de movimentos de massa.

Considerando a observância da ocorrência de registros de eventos geodinâmico tanto para episódios de chuva com curta duração e grande intensidade quanto para precipitações intermitentes de grande volume acumulado; estabeleceu-se uma correlação entre o volume de acumulada nos intervalos de 24h e 96h (intervalos em que se pode observar com melhor visibilidade uma possível tendência de comportamento nos dados de precipitação) em relação ao volume acumulado de chuva nas 6h imediatamente anteriores aos registros de movimentos de massa – em representação a um índice de intensidade de chuva. Nos episódios de chuva sem registros de ocorrência, considerou-se para esse intervalo as últimas seis horas de cada evento chuvoso. Para a construção dos gráficos de dispersão, foram utilizados os pares de acumulados pluviométricos dos episódios de chuva sem registros e os que registraram um, dois e três processos geodinâmicos.

Tabela 2. Inventário de ocorrência de movimentos de massa no Maciço de Jaburuna (2017-2022), e seus respectivos volumes de chuva acumulada.

Data-hora de registro do evento SEMDEC UTM	Referência Relatório SEMPDEC	Processo geodinâmico	# Episódio de Chuva	Acum. 6h (mm)	Acum. 24h (mm)	Acum. 48h (mm)	Acum. 72h (mm)	Acum. 96h (mm)
27/06/2017 17:00	0297/2017	Rb	41	12,41	15,40	25,00	60,87	68,24



02/12/2017 12:00	0535/2017	Des	53	35,21	86,06	139,15	141,32	165,56
16/04/2018 12:00	0177/2018	Des						
16/04/2018 12:00	0188/2018	Des	69	93,91	129,43	129,43	129,43	144,78
09/11/2018 12:00	0596/2018	Des						
09/11/2018 12:00	0597/2018	Des	87	20,47	80,87	84,81	96,42	120,85
09/11/2018 12:00	0606/2018	Rb						
25/03/2020 02:00	0858/2020	Des	114	39,22	39,22	42,39	46,94	53,63
17/02/2021 21:00	0010/2021	Des	132	22,99	24,37	51,97	58,08	58,08
07/03/2021 23:00	0024/2021	Des						
07/03/2021 23:00	0027/2021	Des	135	100,35	132,05	132,05	132,05	132,05
07/03/2021 23:00	0028/2021	Des						
11/10/2021 16:00	0198/2021	Des	149	27,54	111,23	119,34	119,34	121,93
16/11/2022 10:00	0095/2022	Des	171	46,78	55,44	55,44	55,64	55,64

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Embora a dispersão dos dados nos gráficos não tenha permitido a elaboração de uma expressão matemática que indicasse um comportamento determinístico dos registros pluviométricos e dos eventos geodinâmicos, as observações realizadas em análise visual puderam subsidiar o traçado de linhas e curvas nos gráficos que indicassem tendências de limiares a partir dos dados levantados (Figura 11 e 12).



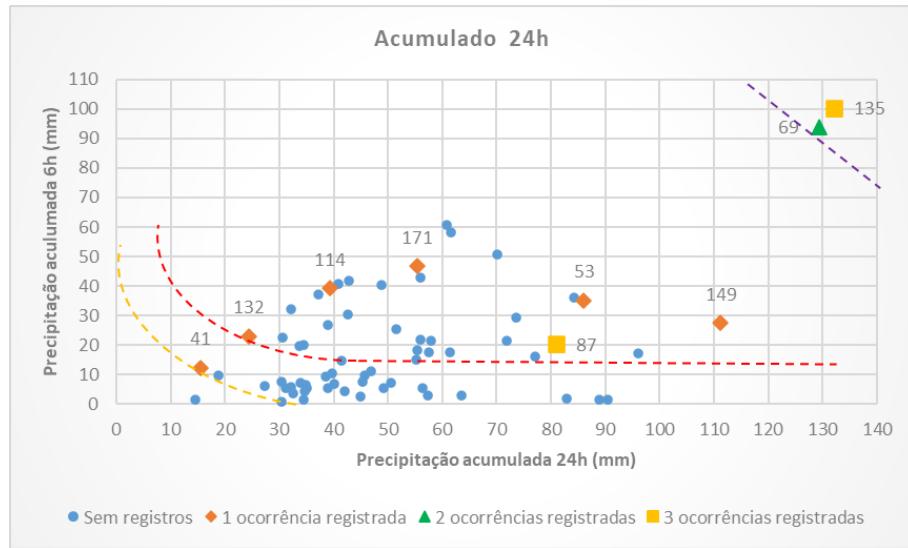


Figura 11. Indicativos visuais de correlação entre Movimentos de Massa e Pluviosidade nos intervalos de acumulado 6h x 24h para o Maciço de Jaburuna. **Fonte:** Elaborado pelos autores (2024).

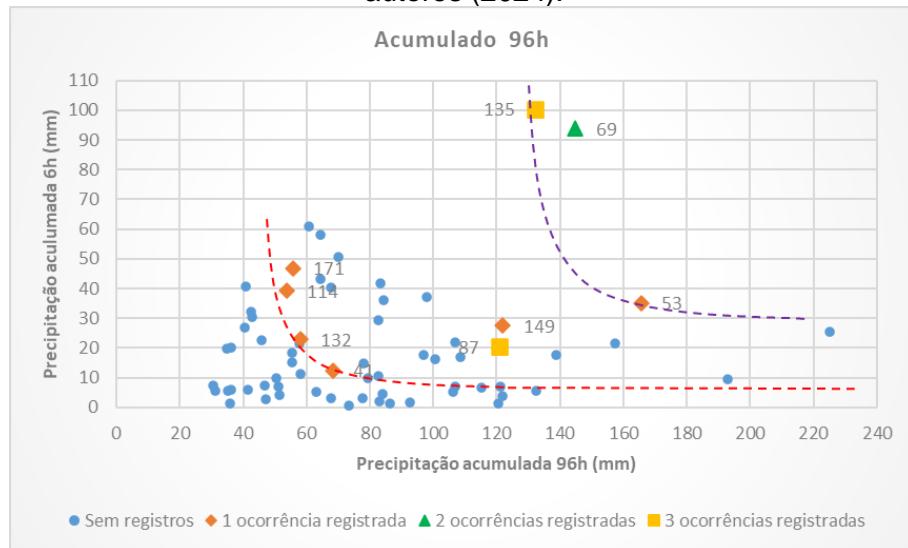


Figura 12. Indicativos visuais de correlação entre Movimentos de Massa e Pluviosidade nos intervalos de acumulado 6h x 96h para o Maciço de Jaburuna. **Fonte:** Elaborado pelos autores (2024).

A curva em amarelo da Figura 11 indica o limite inferior do Limiar de Correlação #1 definido para o intervalo de acumulado em 24h. As curvas tracejadas em vermelho nas duas figuras representam os limites superiores e inferiores, respectivamente, dos Limiares de Correlação #1 e #2 estabelecidos. O tracejado em lilás corresponde aos limites inferiores do Limiar de Correlação #3 determinados para os intervalos de 24h e 96h (Ver Tabela 3).

Por meio da análise dos gráficos, foi possível fazer as seguintes inferências, sintetizadas na Tabela 3:

- Limiares considerando os acumulados no intervalo de 6h:** os gráficos sugerem que há uma possibilidade de ocorrência de eventos geológicos entre os valores de 22,99 e 39,22 mm/6h, arredondados para 20,0 e 40,0 mm/6h. Acima de volumes de acumulado de 39,22 mm/6h (40,0 mm/6h), os registros de movimentos de massa passam a ser observados mais consistentemente, as chuvas nessa intensidade passam a apresentar uma maior probabilidade de risco. A partir de acumulados de 93,91 mm/6h, arredondado para 90mm/6h, observa-se episódios de chuva com múltiplos registros de ocorrência, sendo este valor um limite crítico ao qual há grande risco de deslizamentos.
- Limiares considerando os acumulados no intervalo de 24h:** o gráfico da Figura 50 indica que a partir de valores de acumulado de 39,22 mm/24h, índice arredondado para 40,0 mm/24h, acidentes geotécnicos passam a figurar entre episódios de chuva nessa faixa de intensidade. Para índices a partir de 111,23 mm acumulados ao longo de 24h, arredondado para 110,00 mm/24h, as precipitações tendem a apresentar grande risco de ocorrência de movimentos de massa.
- Limiares considerando os acumulados no intervalo de 96h:** o gráfico da Figura 51 sugere que entre valores de acumulado de 53,63 e 58,08 mm/96h, índices aproximados para 50,0 e 60,0 mm/96h, existe uma possibilidade espaçada de haver registros de processos geodinâmicos entre episódios de chuva nessa faixa de intensidade, desde que associadas a intensidades de chuva em intervalo curto (6h) de 20,0 a 40,0 mm, o que significa que eventos registrados nesses limiares podem ser governados tanto pelas chuvas mais imediatas quanto pelo regime de precipitação acumulada no intervalo mais longo (96h). Acima de acumulados de 130,0 mm/96h, índice aproximado para o valor real observado de 132,05 mm/96h, e precipitação em curto prazo com intensidade acima de 20,0 mm/6h, episódios de chuva nessas condições tendem a apresentar grande potencial de deflagração de movimentos de massa. Essa última inferência sugestiona que quanto maior for o acumulado no intervalo de 96h, menor será a o volume de chuva necessário a ocorrer no intervalo de 6h para provocar um processo geodinâmico.

Tabela 3. Proposição de limiares críticos de deflagração de movimentos massa, associados a conceitos de severidade e níveis de alerta, para o Maciço de Jaburuna.

Limiar 1 (mm/6h)	Limiar 2 (mm/24h)	Limiar 3 (mm/96h)	Grau de Severidade	Nível de alerta
> 20,0 e < 40,0	< 40,0	> 50,0 e < 60,0	Observação	Moderado
> 40,0 e < 90,0	> 40,0 e < 110,0	> 60,0 e < 130,0	Atenção	Alto
> 90,0	> 110,0	> 130,0 e > 20,0 mm/6h	Alerta	Muito Alto

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Critério de Monitoramento e Alerta

O Cemaden é responsável pela emissão de alertas de riscos de movimentos de massa em território nacional. O monitoramento combina, como ferramenta de previsão de riscos geodinâmicos, as informações a respeito de mapeamento de áreas de risco, dados pluviométricos e dados instantâneos e acumulados de chuva estimados por radares, entre outros, de modo a verificar o atingimento de limiares críticos pré-definidos para cada região por parte da chuva acumulada e da chuva prevista por meio de prognóstico meteorológico, que são os dois fatores determinantes para que um alerta seja emitido (MARCHEZINI *et al.*, 2020; BRASIL, 2022).

De acordo com manifestação do próprio órgão federal, utiliza-se como limiares críticos de risco de movimento de massa para o município de Vila Velha os mesmos fixados para Vitória, capital do estado (CEMADEN, 2022). Esses valores são adaptação dos limiares propostos em estudo de correlação para o município de Vitória por Salaroli (2003) (Quadro 1).

Quadro 1. Limiares críticos de risco para emissão de alertas de Movimento de Massa (Vitória e Vila Velha).

Limiares críticos (mm/24h)	Grau de Severidade
<36,0	Observação
36 – 87	Atenção
>87	Alerta

Fonte: Elaborado pelos autores, com informações do CEMADEN (2022).

Considerando todos os alertas de movimento de massa emitidos para Vila Velha emitidos desde que o Cemaden iniciou essa prática (CEMADEN, 2023), a análise dos dados de ocorrência relacionados neste estudo, em comparação com esse histórico de emissão, foi sintetizada na Tabela 4.

Tabela 4. Quadro comparativo do inventário de ocorrências registradas pela Defesa Civil de Vila Velha no Maciço de Jaburuna em relação aos alertas emitidos pelo Cemaden (2017-2022).

Data-hora registro do evento SEMPDEC UTM	Data-hora registro (horário de Brasília)	Qtde eventos Geo. registrados	# Episódio de Chuva	Acum. 6h (mm)	Acum. 24h (mm)	Acum. 96h (mm)	Alerta Ativo ?	Código ALERTA	Data-hora Criação da Alerta
2017-06-27 17:00	2017-06-27 14:00	1	41	12,41	15,40	68,24	NÃO	-	
2017-12-02 12:00	2017-12-02 09:00	1	53	35,21	86,06	165,56	SIM	1776/2017	2017-12-01 11:49:00
2018-04-16 12:00	2018-04-16 09:00	2	69	93,91	129,43	144,78	SIM	1153/2018	2018-04-16 07:55:00
2018-11-09 12:00	2018-11-09 09:00	3	87	20,47	80,87	120,85	SIM	1586/2018	2018-11-08 18:32:00



Data-hora registro do evento SEMPDEC UTM	Data-hora registro (horário de Brasília)	Qtde eventos Geo. registrados	# Episódio de Chuva	Acum. 6h (mm)	Acum. 24h (mm)	Acum. 96h (mm)	Alerta Ativo ?	Código ALERTA	Data-hora Criação da Alerta
2020-03-25 02:00	2020-03-24 23:00	1	114	39,22	39,22	53,63	NÃO	-	
2021-02-17 21:00	2021-02-17 18:00	1	132	22,99	24,37	58,08	SIM	921/2021	2021-02-16 18:38:00
2021-03-07 23:00	2021-03-07 20:00	3	135	100,35	132,05	132,05	SIM	1244/2021	2021-03-07 20:52:00
2021-10-11 16:00	2021-10-11 13:00	1	149	27,54	111,23	121,93	SIM	1810/2021	2021-10-11 05:43:00
2022-11-16 10:00	2022-11-16 07:00	1	171	46,78	55,44	55,64	NÃO	-	

Fonte: Elaborado pelos autores, com informações do CEMADEN (2023).

Observa-se que 11 das 14 ocorrências de deslizamentos registradas no Maciço de Jaburuna aconteceram durante a vigência de alertas ativados pelo Cemaden. Contudo, dessas ocorrências, seis processos geodinâmicos foram deflagrados em intervalos próximos ao horário de criação do alerta, considerando a precisão em horas dos registros geológicos por parte da Defesa Civil municipal.

Conforme visto no item anterior, acumulados de chuva no intervalo de 6h foram determinantes para a deflagração de deslizamentos em parte considerável dos eventos geológicos relacionados neste estudo, o que demonstra que a incorporação desse índice (limiares críticos de acumulados de 6h) de monitoramento de eventos pluviométricos na previsão meteorológica a curtíssimo prazo (*nowcasting*) tende a produzir alertas com maior tempo de antecedência e, consequentemente, maior tempo de preparação para realização de ações de resposta a desastres.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos indicam que a incorporação dos dados de chuva horária neste estudo se mostrou de grande importância para identificar a influência das precipitações pluviométricas de alta intensidade em curto espaço de tempo na deflagração de processos geodinâmicos. Enquanto trabalhos desenvolvidos por Tatizana *et al.* (1987), Salaroli (2003), Castro (2006), Silva (2014), entre outros, ressaltam os volumes de chuva acumulados nos dias anteriores ao movimento de massa como determinantes para a sua deflagração, o presente estudo identificou que as precipitações de curta duração obtiveram maior relevância na maior parte das ocorrências de deslizamentos de solo e rocha no Maciço de Jaburuna, evidenciando que as características físicas do relevo e as intervenções antrópicas em vistas de



ocupação fragilizam e tornam a área suscetível a esses processos, vulnerabilizando as populações que habitam a localidade.

Com a análise dos gráficos de correlação entre pluviosidade e movimentos de massa para o Maciço de Jaburuna construídos neste estudo, foi possível inferir que os intervalos de 6h, 24h e 96h de chuvas anteriores ao acidente geológico possuem grande influência na deflagração de processos geodinâmicos. De fato, na maior parte dos eventos observados, a precipitação acumulada no intervalo de 6h foi fator determinante para ocorrência dos eventos, tendo em vista a baixa variabilidade observada nos intervalos maiores.

Compreendeu-se, considerando a atual metodologia de monitoramento e envio de alertas de risco operacionalizada pelo Cemaden, pelo que pode ser concluído neste estudo a respeito da influência das precipitações de curta duração e alta intensidade, que os limiares críticos adotados pelo órgão federal não foram satisfatórios para emissão de alertas em face das ocorrências registradas no Maciço de Jaburuna, evidenciando uma limitação existente nos protocolos de envio de alertas.

Pela própria natureza da dinâmica dos eventos, a consideração dos volumes de chuva acumulada para emissão de alerta é pouco efetiva em face às chuvas de curta duração e alta intensidade, de modo que se torna ainda mais importante as previsões de curtíssimo prazo (*nowcasting*) na produção de alerta e na preparação da população e dos órgãos de resposta frente à possibilidade de desastres, o que depende dos avanços tecnológicos na instrumentação e operação de ferramentas de previsão meteorológica que permitam a modelagem de cenários críticos com maior antecipação e maior precisão.

Os resultados desta pesquisa podem auxiliar nas atividades preventivas de Defesa Civil e na Gestão de Redução de Risco de Desastres em geral, caso sejam incorporados em planos de contingência específicos para a região do Maciço de Jaburuna, considerando todas as particularidades das populações habitantes do local; subsidiando a elaboração de etapas de preparação para eventos de anormalidade, como a criação de protocolos para realização de monitoramentos preventivos nas áreas de risco; em atividades de instrução e treinamento de voluntários e moradores; e auxiliando na tomada de decisões quanto a evacuações e aberturas de abrigos temporários.

Contudo, em virtude da limitação de dados pluviométricos com medições horárias disponíveis, que reduziu a quantidade de ocorrências registradas a serem consideradas na modelagem elaborada neste trabalho, o que configura a correlação desenvolvida como uma referência preliminar de limiares críticos de chuva para deflagração de movimentos de massa para o Maciço de Jaburuna, que devem ser validados com a atualização do inventário de movimentos de massa e do banco de dados pluviométricos, permitindo a incorporação de novos registros de eventos, a fim de que se possa calibrar os limiares críticos e aprimorar o nível de qualidade dos alertas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Secretaria Municipal de Proteção e Defesa Civil do município de Vila Velha pela disponibilização dos relatórios de vistoria de risco, utilizados como fonte para elaboração do inventário de movimentos de massa, e aos Servidores do Cemaden pelo fornecimento dos dados de monitoramento e envio de alertas utilizados neste estudo.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012.** Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC [...]. Brasília, DF: Presidência da República, 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm>. Acesso em: 28 ago. 2023.
- BRASIL.** Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN. Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Desastres Naturais. **Projeto GIDES: Manual técnico de monitoramento e alertas de movimentos de massa.** 1. ed. São José dos Campos: MCTI/CEMADEN, 2018.
- BRASIL.** Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional – MIDR. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil – SEDEC. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil – CEPED. **Atlas Digital de Desastres no Brasil.** Brasília: MIDR, 2023. Disponível em: <<https://atlasdigital.mdr.gov.br/paginas/mapa-interativo.xhtml>>. Acesso em: 11 out. 2023.
- BRASIL.** Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL: Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória - geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra.** 1. ed. Rio de Janeiro: RADAMBRASIL, 1983. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=281417>>. Acesso em: 24 set. 2023.
- CALVELLO, Michele; D'ORSI, Ricardo Neiva; PICIULLO, Luca; et al. The Rio de Janeiro early warning system for rainfall-induced landslides: Analysis of performance for the years 2010–2013. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, n. 12, p. 3–15, 2015.
- CASTRO, Jeanne Michelle Garcia. **Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Ouro Preto, 2006. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2737>>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- CUNHA, Alexson de Mello; FEITOZA, Hideko Nagatani; FEITOZA, Leandro Roberto; OLIVEIRA, Fernando Soares de; LANI, João Luiz; CARDOSO, John Kennedy Ferreira; TRINDADE, Filipe Silveira. Atualização da legenda do mapa de reconhecimento de solos do Espírito Santo e implementação de interface no Geobases para uso dos dados em SIG. **Geografafares**, v. 2, n. 22, p. 1–47, 2021.



Disponível em: <<https://periodicos.ufes.br/geografares/article/view/30205>>. Acesso em: 7 out. 2023.

D'ORSI, Ricardo Neiva. **Correlação entre pluviometria e escorregamentos no trecho da Serra dos Órgãos da Rodovia Federal BR-116 RJ (Rio-Teresópolis).** Tese de Doutorado, COPPE/Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.coc.ufrj.br/pt/teses-de-doutorado/155-2011/1255-ricardo-neiva-dorsi>>. Acesso em: 12 nov. 2023.

DAMASCENO, Aloa Dandara Oliveira; CARDOSO, Andrea De Oliveira; PAIVA, Cláudia Francisca Escobar de. Investigação da relação chuva-deslizamentos no município de Mauá – SP para obtenção de limiares críticos deflagradores de deslizamentos. **Ciência e Natura**, v. 43, n. 50, p. e50, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/43119>>. Acesso em: 16 nov. 2023.

EFFGEN, Julia Frederica; MARCHIORO, Eberval. Mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa no município de Vila Velha - ES, com o uso de análise de processos hierarquizados (AHP). **Geociências**, v. 36, n. 4, p. 731-742, 2017.

ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA. **IEMA - Mapeamento ES – 2012-2015 – articulação mosaicos 10X10 km.** Arquivo raster. Geobases. 2015. Disponível em: <<https://geobases.es.gov.br/links-para-mapes1215>>. Acesso em: 02 out. 2023.

GERSCOVICH, Denise Maria Soares. **Estabilidade de Taludes.** 2a. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

GUDICINI, Guido; IWASA, Oswaldo. Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT/SP. Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamento em meio tropical úmido. **Publicação IPT/São Paulo**, n. 1080, p. 48, 1976.

GUERRA, Antônio José Teixeira; MENDONÇA, Marcos Barreto de; LOPES, Patrícia Batista Melo; LIMA, Fabio da Silva; JORGE, Maria do Carmo Oliveira; MENDES, Bruno da Rocha. Criação de um Sistema de Previsão e Alerta de Riscos a deslizamentos e enchentes, visando minimizar os impactos sócio-ambientais no bairro Quitandinha, bacia do rio Piabanga (afluente do Paraíba do Sul), município de Petrópolis-RJ. In: **II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul.** Taubaté: Anais, 2009, p. 785–824. Disponível em:

<<http://www.ipabhi.org/serhidro/anais/anais2009/doc/pdfs/p000.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2023.

GUZZETTI, Fausto; PERUCCACCI, Silvia; ROSSI, Mauro; STARK, Colin P. *Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe.*

Meteorology and Atmospheric Physics, v. 98, n. 3-4, p. 239–267, 2007.

HASSAN, Vitor Vaz; BARCELLOS, Priscila da Cunha Luz; SILVA, Júlio Cesar da. Método Preditivo para Acionamento das Sirenes nas Comunidades Vulneráveis a Escorregamentos no Município de Duque de Caxias, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 40, n. 1/2017, p. 127–134, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Vila Velha: Panorama.** Ibge.gov.br. 2023 Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/vila-velha/panorama>>. Acesso em: 20 set. 2023.

- INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL - INCAPER. **Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural 2020-2023 – Proater: VILA VELHA.** 1. ed. Vitória: INCAPER, 2020. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municípios/Vila_Velha.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2023.
- INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION (ISDR). **Developing early warning systems, a checklist: third international conference on early warning (EWC III).** 1. ed. Bonn, Germany: UN/ISDR, 2006. Disponível em: <<https://www.undrr.org/publication/developing-early-warning-systems-checklist-third-international-conference-early-warning>>. Acesso em: 13 out. 2023.
- LUMB, Peter. *Slope failures in Hong Kong. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, v. 8, n. 1, p. 31–65, 1975.
- MACEDO, Eduardo Soares de; SANDRE, Lucas Henrique. Mortes por Deslizamentos no Brasil: 1988 a 2022. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 110–117, 2022. Disponível em: <<https://ipt.br/2023/03/29/mortes-por-deslizamentos-no-brasil-1988-a-2022/>>. Acesso em: 12 out. 2023.
- MARCHEZINI, Victor; LONDE, Luciana de Resende; BERNARDES, Tiago; et al. Sistema de alerta de risco de desastres no Brasil: desafios à redução da vulnerabilidade institucional. In: **Reduction of vulnerability to disasters: from knowledge to action**. São Carlos: RiMa Editora, 2017, p. 287–310. Disponível em: <https://ppgprd.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/editais/PROCESSO%20SELETIVO%202018/E_Book_Reduction_of_Vulnerability_Reducaodevulnerabilidade.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2024.
- MARCHEZINI, Victor; MOURÃO, Caroline; SCOFIELD, Graziela; METODIEV, Daniel; FLORES, Selma Silva Leite. Sistemas comunitários de alerta de risco de desastres associados a inundações e deslizamentos: aspectos teóricos e metodológicos. **Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres – REDER**, v. 4, n. 2, p. 36–56, 2020. Disponível em: <<https://www.revistareder.com/ojs/index.php/reder/article/view/49>>. Acesso em: 16 set. 2023.
- MARCHIORO, Eberval; SILVA, Graziani Mondoni; Correa, Wesley de Souza Campos. **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.
- MARQUES, Yasmin Depes. **Políticas Urbanas, Zoneamento Territorial e áreas de risco: O caso do morro de Jaburuna (Vila Velha/ES, Brasil)**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Vila Velha (UVV), 2021. Disponível em: <<https://repositorio.uvv.br/handle/123456789/822>>. Acesso em: 24 set. 2023.
- MENDES, Rodolfo Moreda; VALÉRIO FILHO, Mário; BERTOLDO, Mathilde Aparecida; SILVA, Marlon Ferreira da. Estudo de limiares críticos de chuva deflagradores de deslizamentos no município de São José dos Campos/SP (Brasil). **Territorium**, n. 22, p. 119–129, 2015. Disponível em: <https://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/1647-7723_22_8>. Acesso em: 11 nov. 2023.
- METODIEV, Daniel; MAGALHÃES, Marcio Roberto; MENDES, Rodolfo Moreda; MORAES, Marcio Augusto Ernesto de; KONIG, Tehrrie; BORTOLOZO, Cassiano

Antonio; BERNARDES, Tiago; LUIZ, Rafael Alexandre Ferreira; COELHO, Juliano Oliveira Martins. *Correlation between Rainfall and Mass Movements in North Coast Region of São Paulo State, Brazil for 2014-2018*. **International Journal of Geosciences**, v. 09, n. 12, p. 669–679, 2018. Disponível em: <<https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=89462>>. Acesso em: 16 nov. 2023.

MIRISOLA, Ricardo. MMF Projetos. **Relatório Técnico: Jardim Morro Petrópolis**. 1. ed. Vila Velha: PMVV/MMF, 2018.

MOLINA, Ellen; CARDOSO, Andréa; NOGUEIRA, Fernando. Relação Precipitação-Deslizamento no Município de São Bernardo do Campo - SP. **Ciência e Natura**, v. 37, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/index.php/cienciaenatura/article/view/16214>>. Acesso em: 16 nov. 2023.

NILSEN, Tor H.; TURNER, Barbara L. *Influence of rainfall and ancient landslide deposits on recent landslides (1950-71) in urban areas of Contra Costa County, California*. **U.S. Geological Survey Bulletin**, n. 1388, 1975. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Influence-of-rainfall-and-ancient-landslide-on-in-Nilsen-Turner/990caebf82217aeeaf04e49e6a99a4493532e1bd>>. Acesso em: 9 nov. 2023.

OLIVEIRA, Nathalia Silva de; ROTUNNO FILHO, Otto Correia; MARTON, Edilson; SILVA, Corbiniano. *Correlation between rainfall and landslides in Nova Friburgo, Rio de Janeiro—Brazil: a case study*. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 20, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/309170010_Correlation_between_rainfall_and_landslides_in_Nova_Friburgo_Rio_de_Janeiro-Brazil_a_case_study#fullTextFileContent>. Acesso em: 19 nov. 2023.

Online CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS – CEMADEN. **[Fala.BR] Manifestação Respondida no Sistema [mensagem pessoal]**. Mensagem recebida por <fernandofelix.eng@gmail.com> em 16 set. 2022.

Online CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS – CEMADEN. **[Fala.BR] Manifestação Respondida no Sistema [mensagem pessoal]**. Mensagem recebida por <fernandofelix.eng@gmail.com> em 05 dez. 2023.

ORIGGE, Johnathan Tesch; TONETO, Chaiany; ROSA, Teresa da Silva; COSTA, Mirian Cristina Oliveira da; SIMPLICIO, Maria Araguacy. Mapeamento de risco em áreas urbanas densamente habitadas: o morro do Jaburuna (Vila Velha, ES, Brasil). **Territorium**, v. 1, n. 27, 2020. Disponível em: <https://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/1647-7723_27-1_5> Acesso em: 24 set. 2023.

PARIZZI, Maria Giovana; SEBASTIÃO, Cristiane Silva; VIANA, Cláudia de Sanctis; PFLUEGER, Marcelo de Carvalho; CAMPOS, Luciane de Castro; CAJAZEIRO, Joana Maria Drumond; TOMICH, Rodolfo Sena; GUIMARÃES, Roberta Nunes; ABREU, Magda Luzimar de; SOBREIRA, Frederico Garcia; REIS, Ruibran dos. Correlações entre chuvas e movimentos de massa no município de Belo Horizonte, MG. **Revista Geografias**, v. 6, n. 2, p. 49–68, 2010. Disponível em:

<<https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13296/10528>>. Acesso em: 14 out. 2023.

PEDROSA, Maria das Gracas Alcantara. Análise de correlações entre pluviometria e escorregamento de taludes. Tese de Doutorado, Programa de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1994. Disponível em: <https://minerva.ufrj.br/F/?func=direct&doc_number=000177118&local_base=UFR01>. Acesso em: 11 nov. 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VILA VELHA. Lei Complementar No 65/2018.

Institui a revisão decenal da Lei Municipal No 4575/2007 que trata do Plano Diretor Municipal no âmbito do Município de Vila Velha e dá outras providências. 2018b. Disponível em:

<<https://processos.vilavelha.es.gov.br/legislacao/norma.aspx?id=11917&tipo=4&numero=65&ano=2018>>. Acesso em: 21 set. 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VILA VELHA. Secretaria Municipal de Proteção e Defesa Civil – SEMPDEC. Plano Municipal de Proteção e Defesa Civil. 3. ed. Vila Velha: PMVV/SEMPDEC, 2022. Disponível em:

<https://www.vilavelha.es.gov.br/midia/paginas/PMPDEC%20VV_2022%20Publicar_compressed.pdf>. Acesso em: 20 set. 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VILA VELHA. Vila Velha em Número: diagnóstico municipal 2018. 1. ed. Vila Velha: PMVV, 2018a. Disponível em:

<<https://www.vilavelha.es.gov.br/paginas/planejamento-vila-velha-em-numeros>>.

Acesso em: 21 set. 2023.

SALAROLI, Iramaya Sepulcri. Movimentos de Massa no Município de Vitória-ES: Inventário, Caracterização e Indicativos de um Modelo Comportamental.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, 2003.

SANTORO, Jair; MENDES, Rodolfo Moreira; PRESSINOTTI, Márcia Maria Nogueira; MANOEL, Gisele dos Reis. Correlação entre chuvas e deslizamentos ocorridos durante a operação do Plano Preventivo de Defesa Civil em São, SP Paulo. In: **Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Ambiental.** Maringá: Anais eletrônicos, 2010, v. 7.

SILVA, Aline Pimentel da; BARROSO, Emílio Velloso; POLIVANOV, Helena. Índices pluviométricos críticos para prevenção de desastres por deslizamentos na cidade de Niterói, RJ. **Geologia USP. Série Científica**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 47–60, 2022.

SILVA, Graziani Mondoni. A Zona de Convergência do Atlântico Sul e a precipitação pluvial do município de Vila Velha (ES): repercussões sobre as inundações. Monografia, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Vitória, 2013.

SILVA, Naiara de Lima. Correlação entre pluviosidade e movimentos gravitacionais de massa no Alto Ribeirão do Carmo/MG. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Núcleo de Geotecnia - NUGEO, 2014.

TATIZANA, Celso; OGURA, Agostinho Tadashi; CERRI, Leandro Eugênio da Silva; ROCHA, Mirian Cassia Médici da Rocha. Análise de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos – Serra do Mar, Município de Cubatão. In: **Anais**. São Paulo: ABGE, 1987, v. 2, p. 225–236.

TOMINAGA, Lídia Keiko. Escorregamentos. *In: Desastres naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 2015, p. 196. Disponível em:

<https://www.infraestruturaeambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/233/2017/05/Conhecer_para_Prevrir_3ed_2016.pdf>. Acesso em: 11 set. 2023.

UNITED NATIONS (UN). **Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction**, 2016. Disponível em: <<https://www.unrr.org/terminology/early-warning-system>>. Acesso em: 23 fev. 2025.

VARNES, David. Slope Movement Types and Processes. *In: Landslides: Analysis and Control. Transportation Research Board Special Report 176*. Washington DC: National Academy of Sciences, 1978, p. 11–33.

VIEIRA, Valter Salino; MENEZES, Ricardo Gallart de. Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM. **Geologia e recursos minerais do estado do Espírito Santo: nota explicativa**. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Espírito Santo: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais. Belo Horizonte: CPRM, 2015. Disponível em: <<https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15564.1>>. Acesso em: 24 set. 2023.



Revista Geonorte, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus-Brasil. Obra licenciada sob Creative Commons Atribuição 3.0