



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA URBANA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA



Mariana Moreira Ribeiro

A influência da precipitação nos movimentos de massa no
município de Sabará-MG

Ouro Preto

2025

Mariana Moreira Ribeiro

A influência da precipitação nos movimentos de massa no
município de Sabará-MG

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia Urbana na
Universidade Federal de Ouro Preto.

Orientadora: Dra. Aline de Araújo Nunes

Coorientador: Dr. Thiago Bomjardim Porto

Ouro Preto

2025



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA URBANA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Mariana Moreira Ribeiro

A influência da precipitação nos movimentos de massa no município de Sabará-MG

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Urbana da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenharia Urbana

Aprovada em 02 de abril de 2025

Membros da banca

Doutora Aline de Araújo Nunes - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
Doutor Thiago Bomjardim Porto - Coorientador (Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais)
Doutora Maria Luíza Teófilo Gandini (Universidade Federal de Ouro Preto)
Doutor Denis Furstenu Plec (Universidade Federal de Ouro Preto)

Aline de Araújo Nunes, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 10/04/2025



Documento assinado eletronicamente por **Aline de Araujo Nunes, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/04/2025, às 19:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0894391** e o código CRC **6EA1BE3D**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.004861/2025-11

SEI nº 0894391

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163

Telefone: (31)3559-1471 - www.ufop.br

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, fonte de força e amparo, e à minha família, pelo apoio incondicional em cada etapa desta jornada. Aos amigos que estiveram ao meu lado, compartilhando desafios e conquistas, em especial Allan, Yasmim e Guilherme. À República Koxixo, meu lar, pelo acolhimento e companheirismo. Aos professores e colegas que enriqueceram minha trajetória acadêmica, com destaque para Aline, Tiago Silva e Thiago Porto, pela paciência e contribuição neste trabalho. E a todos que, de alguma forma, fizeram parte desse caminho, minha eterna gratidão.

RESUMO

A ocorrência de movimentos de massa é um dos principais desafios geotécnicos em áreas urbanizadas, sendo influenciada por fatores naturais e antrópicos. Dentre os fatores condicionantes, a precipitação se destaca como um dos principais agentes deflagradores da instabilização de encostas, impactando diretamente a segurança das populações e a infraestrutura urbana. O presente estudo tem como objetivo analisar a relação entre a precipitação e a ocorrência de movimentos de massa no município de Sabará-MG, por meio da análise de dados pluviométricos e registros de deslizamentos obtidos em reportagens jornalísticas, no período de 2009 a 2024, totalizando 39 eventos consistentes. A metodologia empregada incluiu a organização dos dados coletados, a verificação de sua consistência e a utilização de dados de precipitação diária provenientes de estações pluviométricas da ANA e do CEMADEN, com análise de acumulados de 1 a 10 dias antecedentes aos eventos. Foram elaborados gráficos de dispersão para identificar padrões de correlação entre os volumes de precipitação e a deflagração dos eventos, bem como para a definição de limiares mínimo, máximo e de alerta. Os resultados indicaram que as precipitações acumuladas em períodos de 2 a 7 dias apresentaram correlação significativa com os registros de movimentos de massa. Para o intervalo de 2 dias, foi identificado um limiar de alerta de aproximadamente 73,3 mm, com valores variando entre 24,3 mm e 222,9 mm, possibilitando a definição de curvas limiares para monitoramento e alerta. A análise evidenciou que a precipitação é um fator condicionante fundamental, embora não o único, na deflagração dos eventos, atuando em conjunto com características geotécnicas e de uso do solo. Assim, este estudo oferece uma contribuição para o aprimoramento das estratégias de gestão de riscos no município.

Palavras-chave: análise estatística, chuvas, escorregamentos, gestão de riscos, Sabará-MG.

ABSTRACT

The influence of precipitation on mass movements in the municipality of Sabará-MG

The occurrence of mass movements is one of the main geotechnical challenges in urbanized areas, being influenced by natural and anthropogenic factors. Among the conditioning factors, precipitation stands out as one of the main triggering agents of slope instability, directly impacting population safety and urban infrastructure. This study aims to analyze the relationship between precipitation and the occurrence of mass movements in the municipality of Sabará-MG, through the analysis of rainfall data and landslide records obtained from news reports, covering the period from 2009 to 2024, totaling 39 consistent events. The methodology included the organization of the collected data, verification of its consistency, and the use of daily rainfall data from pluviometric stations operated by ANA and CEMADEN, with analysis of accumulated precipitation over 1 to 10 antecedent days. Scatter plots were developed to identify correlation patterns between rainfall volumes and event occurrence, as well as to define minimum, maximum, and alert thresholds. The results indicated that accumulated precipitation over periods of 2 to 7 days showed significant correlation with recorded mass movement events. For the 2-day interval, an alert threshold of approximately 73.3 mm was identified, with values ranging from 24.3 mm to 222.9 mm, enabling the definition of threshold curves for monitoring and warning purposes. The analysis showed that precipitation is a fundamental conditioning factor, although not the only one, in triggering these events, acting together with geotechnical and land-use characteristics. Thus, this study contributes to the improvement of risk management strategies in the municipality.

Keywords: statistical analysis, rainfall, landslides, risk management, Sabará-MG.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Movimento de Rastejo.	15
Figura 2 - Movimento de escorregamentos planares ou translacionais.	16
Figura 3 - Movimento de escorregamentos em cunha.	16
Figura 4 - Movimento de escorregamentos circulares.	17
Figura 5 - Ocorrência de queda de blocos.	18
Figura 6 - Ocorrência de tombamento de blocos.	18
Figura 7 - Ocorrência de rolamento de blocos.	19
Figura 8 - Movimento de deslocamento.	19
Figura 9 - Etapas metodológicas da pesquisa.	26
Figura 10 - Localização do município de Sabará em relação à Minas Gerais e ao Brasil.	27
Figura 11 - Mapa hipsométrico do município de Sabará.	29
Figura 12 - Mapa pedológico de Sabará.	29
Figura 13 - Mapa uso e ocupação do solo de Sabará.	32
Figura 14 - Mapa hidrográfico do município de Sabará.	33
Figura 15 - Mapa de localização dos eventos e áreas de risco.	38
Figura 16 - Mapa da área de abrangência das estações.	39
Figura 17 - Gráfico de dispersão para 2 dias antecedentes.	41
Figura 18 - Gráfico de dispersão para 3 dias antecedentes.	41
Figura 19 - Gráfico de dispersão para 4 dias antecedentes.	42
Figura 20 - Gráfico de dispersão para 5 dias antecedentes.	42

Figura 21 - Gráfico de dispersão para 6 dias antecedentes.....	43
Figura 22 - Gráfico de dispersão para 7 dias antecedentes.....	43
Figura 23 - Gráfico de dispersão para 8 dias antecedentes.....	44
Figura 24 - Gráfico de dispersão para 9 dias antecedentes.....	44
Figura 25 - Gráfico de dispersão para 10 dias antecedentes.....	45
Figura 26 - Envoltória de movimento de massa para 2 dias.....	49
Figura 27 - Envoltória de movimento de massa para 3 dias.....	49
Figura 28 - Envoltória de movimento de massa para 4 dias.....	50
Figura 29 - Envoltória de movimento de massa para 5 dias.....	50
Figura 30 - Envoltória de movimento de massa para 6 dias.....	51
Figura 31 - Envoltória de movimento de massa para 7 dias.....	51
Figura 32 - Simulação de um cenário de ocorrência de movimento de massa em Sabará.	55
Figura 33 - Níveis de alerta para movimento de massa em Sabará.....	56
Figura 34 - Informações gerais do bairro Três Vilas, Rua Porfilio S. Freire, município de Alegre (ES).....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações das estações Sabará e Borba Gato.	39
Tabela 2 – Limiares definidos a partir dos gráficos de dispersão.	46
Tabela 3 - Valor mínimo e de atenção de precipitação para o desencadeamento de escorregamentos.	47
Tabela 4 - Valores significativos para períodos de acumulação de 4 a 6 dias.	47
Tabela 5 - Valores de CPC de 2 a 7 dias acumulados.	52
Tabela 6 - Níveis de operação para monitoramento.....	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	12
2.1. Objetivo Geral	12
2.2. Objetivos específicos.....	12
3. JUSTIFICATIVA.....	13
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
4.1. Movimentos de Massa	14
4.1.1. Rastejos.....	14
4.1.2. Escorregamentos	15
4.1.3. Quedas	17
4.1.4. Corridas ou Fluxos	20
4.2. Precipitação.....	20
4.3. Influência da precipitação nos movimentos de massa	22
4.4. Urbanização e movimentos de massa	24
4.4.1. O processo de ocupação em Sabará e os movimentos de massa	25
5. METODOLOGIA	26
5.1. Caracterização da área de estudo	26
5.1.1. Geologia.....	27
5.1.2. Topografia.....	28
5.1.3. Pedologia	29
5.1.4. Vegetação	30
5.1.5. Clima.....	31
5.1.6. Uso e Cobertura do Solo	31
5.1.7. Hidrografia.....	32

5.2. Coleta de dados.....	34
5.2.1. Dados sobre movimentos de massa.....	34
5.2.2. Dados pluviométricos.....	34
5.3. Análise de consistência dos dados.....	35
5.4. Análise da relação entre precipitação e movimentos de massa.....	35
5.5. Sistema de alerta e monitoramento.....	36
6. RESULTADOS.....	37
6.1. Análise dos registros de movimentos de massa.....	37
6.2. Análise dos dados pluviométricos.....	38
6.3. Correlação entre movimentos de massa e precipitação.....	40
6.4. Sistema de alerta e monitoramento.....	54
7. CONCLUSÃO.....	58
REFERÊNCIAS.....	59
APÊNDICE A – PANORAMA DOS EVENTOS DE MOVIMENTO DE MASSA DO MUNICÍPIO DE SABARÁ.....	62

1. INTRODUÇÃO

Movimentos de massa são processos geodinâmicos que envolvem o deslocamento de solos e rochas em encostas, desencadeados por fatores geológicos, geomorfológicos e hidrológicos. A classificação desses movimentos, conforme proposta por Varnes (1978) e adaptada por Augusto Filho (1992) para o contexto brasileiro, inclui quedas, escorregamentos, rastejos e corridas, cada qual com características e mecanismos específicos.

A urbanização desordenada, característica de muitas cidades brasileiras, agrava a problemática dos movimentos de massa. A expansão de áreas residenciais em encostas e locais inadequados, a ausência de sistemas de drenagem eficientes e a remoção da vegetação natural são alguns dos fatores que aumentam a vulnerabilidade dessas áreas.

Dentre esses fatores, a precipitação também desempenha um papel fundamental, pois influencia diretamente na estabilidade das encostas ao alterar as condições de umidade e a coesão dos materiais. A infiltração da água da chuva no solo reduz sua resistência ao cisalhamento, frequentemente resultando no colapso das encostas.

Sabará, com sua história de crescimento vinculada à mineração e ao turismo, está exposta a riscos consideráveis. Portanto, compreender como a precipitação influencia os movimentos de massa é essencial para o desenvolvimento de estratégias preventivas e mitigatórias.

Assim, almeja-se com este estudo investigar a relação entre a precipitação e os movimentos de massa no município de Sabará. Para isso, serão analisados dados pluviométricos históricos e eventos de deslizamento ocorridos na região, visando identificar padrões que possam auxiliar na previsão de desastres futuros.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é analisar a relação entre a precipitação e a ocorrência de movimentos de massa no município de Sabará - Minas Gerais.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar o inventário dos eventos críticos de movimentos de massa ocorridos em Sabará;
- Determinar estações pluviométricas representativas do regime de precipitações na região;
- Realizar o levantamento da chuva antecedente aos eventos de movimento de massa;
- Produzir as curvas limiares de chuva acumulada para os eventos de movimentos de massa;
- Propor a inserção dos parâmetros analisados neste estudo em um sistema de alerta e monitoramento no município de Sabará.

3. JUSTIFICATIVA

A necessidade de estudos sobre a influência da precipitação nos movimentos de massa é evidente diante da crescente ocorrência desses eventos no Brasil, particularmente em áreas urbanizadas. No caso de Sabará, a vulnerabilidade a deslizamentos e escorregamentos é amplificada pelas características topográficas e pela ocupação desordenada, o que torna necessário a criação de estratégias eficazes para mitigar esses riscos.

Este trabalho justifica-se pela importância de compreender como os eventos de chuva intensa afetam a estabilidade do solo em Sabará, contribuindo assim para o planejamento urbano e a gestão de riscos. A cidade, que abriga um rico patrimônio histórico, necessita de um manejo cuidadoso de suas áreas de encostas, visando preservar tanto a segurança de seus habitantes quanto seus bens culturais.

Além disso, a análise das correlações entre a precipitação e os movimentos de massa possibilita a criação de ferramentas preventivas, como sistemas de alerta baseados em dados meteorológicos, que podem ser implementados por órgãos municipais e estaduais. O conhecimento gerado por este estudo poderá auxiliar na tomada de decisões mais embasadas, melhorando a gestão de áreas vulneráveis e reduzindo o impacto de futuros desastres.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Movimentos de massa são processos geodinâmicos caracterizados pelo deslocamento de solos e rochas, frequentemente intensificados pela precipitação e pela ocupação desordenada do território. A seguir, serão discutidos os diferentes tipos de movimentos de massa, bem como a relação entre esses fenômenos, as precipitações e a urbanização.

4.1. Movimentos de Massa

Movimento de massa é o deslocamento de uma porção de solo ou rocha. De modo geral, na literatura, esses eventos são abordados como fenômenos associados à instabilidade de encostas. Diversas abordagens de classificação foram propostas, sendo a de Varnes (1978) reconhecida internacionalmente. Essa classificação categoriza os movimentos em queda, tombamento, escorregamento, expansão lateral, escoamento e complexo, aplicáveis tanto a solos quanto a rochas (GERSCOVICH, 2016).

A maioria das classificações são adaptadas regionalmente, levando em consideração as condições geológicas e climáticas locais. Augusto Filho (1992) realizou uma revisão da proposta de classificação de Varnes (1978) e adaptou as características dos principais grupos de processos de escorregamento à dinâmica ambiental brasileira (GERSCOVICH, 2016). Na presente pesquisa, optou-se pela proposta de Augusto Filho (1992), que categoriza os movimentos de massa em rastejos ou fluência, escorregamentos, quedas e corridas ou fluxos.

4.1.1. Rastejos

Os movimentos lentos e contínuos, conhecidos como rastejos, ocorrem sem uma superfície de ruptura claramente definida, abrangendo grandes áreas sem uma distinção óbvia entre a massa em movimento e a área estável circundante. Esses movimentos são causados pela ação da gravidade, juntamente com os efeitos das variações de temperatura e umidade (GERSCOVICH, 2016).

De acordo com Augusto Filho (1992), eles ocorrem em vários planos de deslocamento internos, com velocidades muito baixas a baixas (cm/ano) que diminuem com a profundidade. Podem ser movimentos constantes, sazonais ou intermitentes, afetando solos, depósitos, rochas alteradas e/ou fraturadas, apresentando geometria indefinida, como ilustrado na Figura 1.

Quando as tensões aumentam a ponto de superar a resistência ao cisalhamento do material, o deslocamento se transforma em um processo de escorregamento. Nesse caso, há uma superfície de ruptura clara ao longo da qual a massa se move como um bloco, o que pode ser observado por deslocamentos de estradas, blocos, postes, cercas, ou pela inclinação de árvores e postes (GERSCOVICH, 2016).

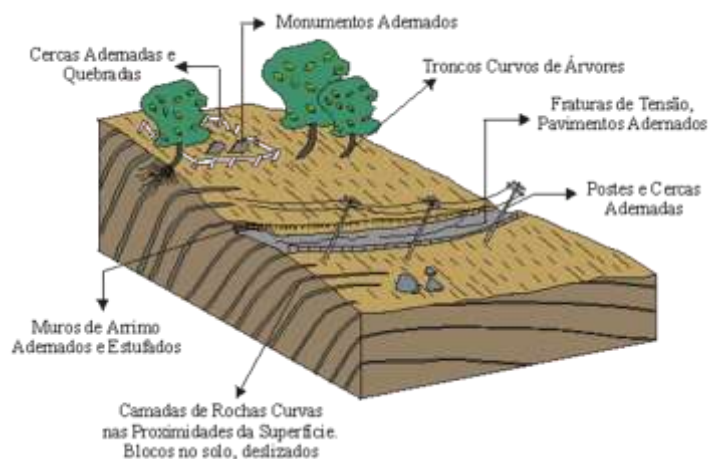


Figura 1 - Movimento de Rastejo.

Fonte: Adaptado de Infantil Jr. e Fornasari Filho (1998).

4.1.2. Escorregamentos

Os escorregamentos são eventos de deslocamento rápido de massas, caracterizados por uma superfície de ruptura bem definida. Esses movimentos são desencadeados quando as forças de cisalhamento presentes na massa de solo ou rocha excedem a resistência ao cisalhamento do material. Tanto em solos quanto em rochas, a ruptura ocorre ao longo da superfície que oferece menor resistência, podendo adotar diferentes formas conforme as características geomorfológicas do terreno, demonstrado nas Figuras 2, 3 e 4 (GERSCOVICH, 2016).

Essas formas incluem superfícies planares em solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza; superfícies circulares em solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas; e superfícies em cunha em solos e rochas com dois planos de fraqueza. Os escorregamentos envolvem velocidades que variam de médias a altas, e podem afetar volumes variados de material, dependendo das condições específicas do local (FILHO, 1992).

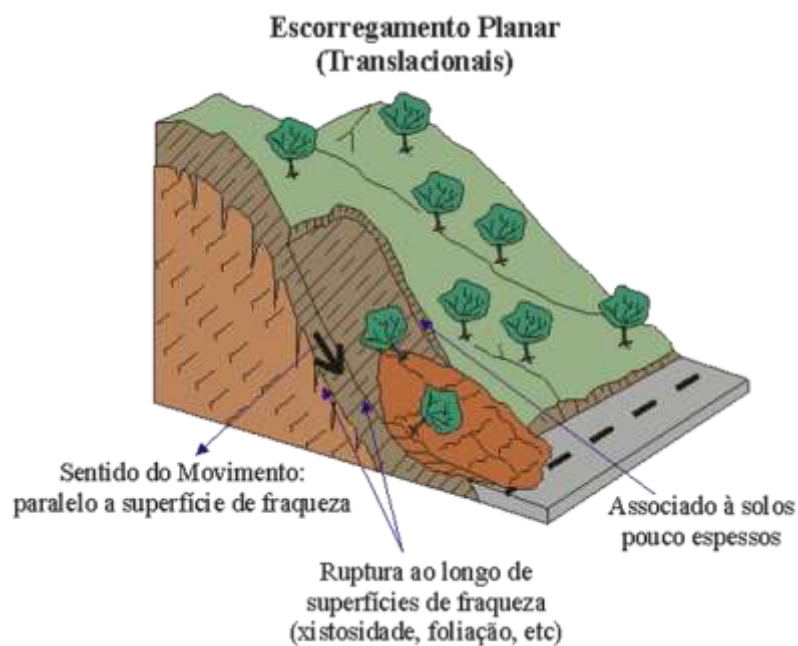


Figura 2 - Movimento de escorregamentos planares ou translacionais.

Fonte: Adaptado de Infantil Jr. e Fornasari Filho (1998).

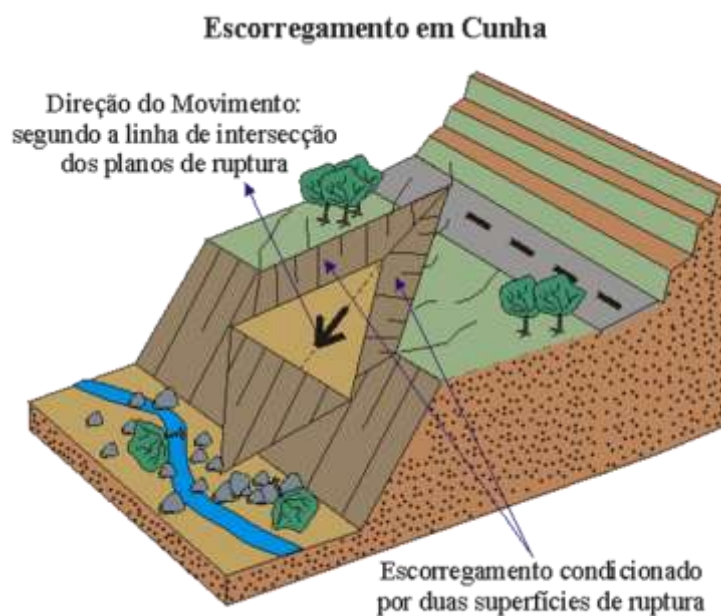


Figura 3 - Movimento de escorregamentos em cunha.

Fonte: Adaptado de Infantil Jr. e Fornasari Filho (1998).

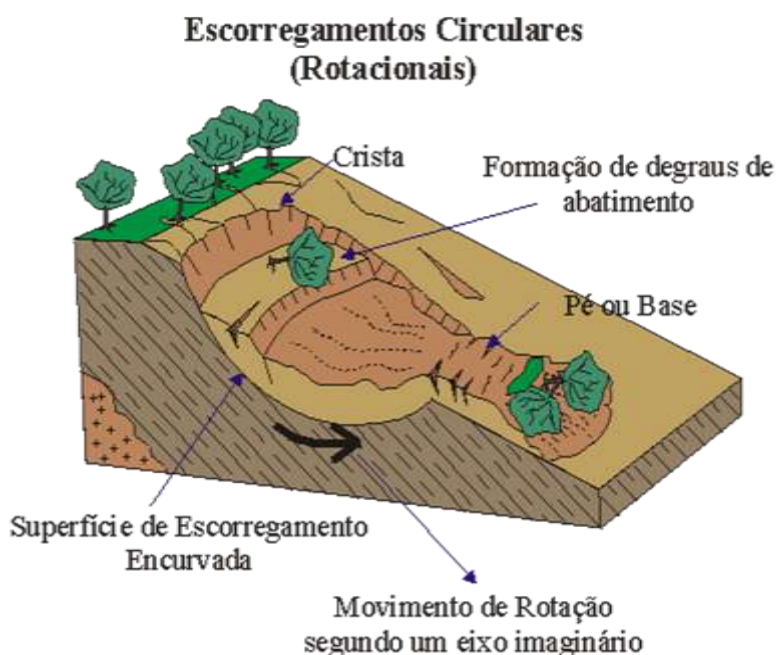


Figura 4 - Movimento de escorregamentos circulares.

Fonte: Adaptado de Infantil Jr. e Fornasari Filho (1998).

4.1.3. Quedas

Os desabamentos ou quedas são eventos repentinos de subsidência que ocorrem em alta velocidade. Nestes casos, blocos rochosos movem-se livremente, seja em queda livre ou ao longo de superfícies inclinadas. A formação desses blocos resulta de diversos fatores, como intemperismo em fraturas, pressões hidrostáticas nessas fraturas, perda de confinamento lateral devido a obras subterrâneas e vibrações (GERSCOVICH, 2016).

Esses movimentos são caracterizados por não possuírem um plano de deslocamento definido, como ilustrado nas Figuras 5, 6, 7 e 8, ocorrendo em velocidades muito altas (vários m/s) e envolvendo material rochoso em volumes pequenos à médios. A geometria dos desabamentos pode variar, incluindo lascas, placas e blocos diversos, podendo ocorrer rolamento de matacão e tombamento (FILHO, 1992).

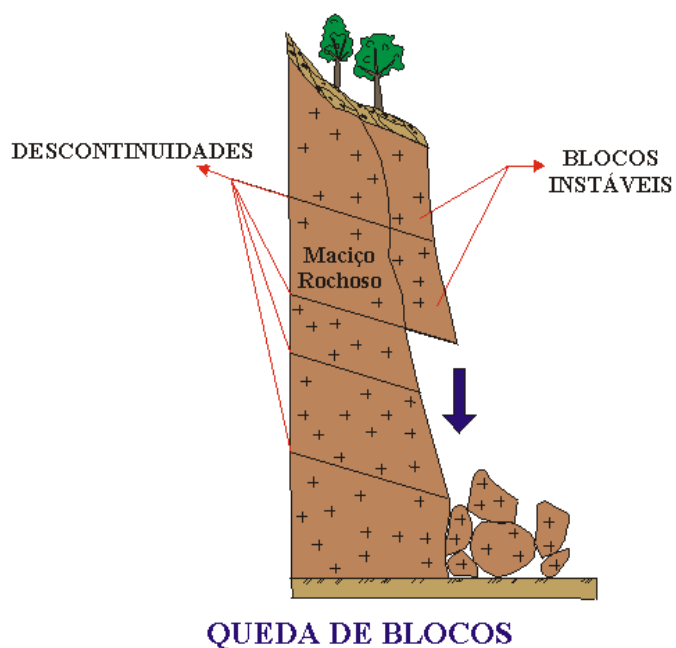


Figura 5 - Ocorrência de queda de blocos.
Fonte: Adaptado de Infantil Jr. e Fornasari Filho (1998).

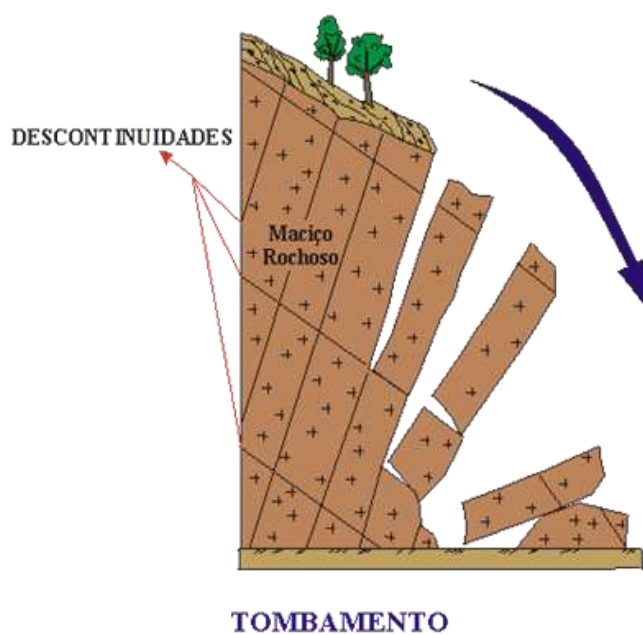
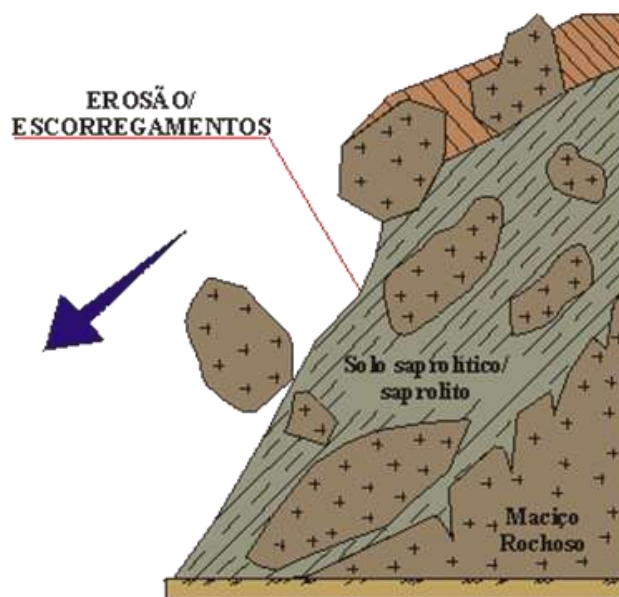


Figura 6 - Ocorrência de tombamento de blocos.
Fonte: Adaptado de Infantil Jr. e Fornasari Filho (1998).



ROLAMENTO DE BLOCOS

Figura 7 - Ocorrência de rolamento de blocos.

Fonte: Adaptado de Infantil Jr. e Fornasari Filho (1998).

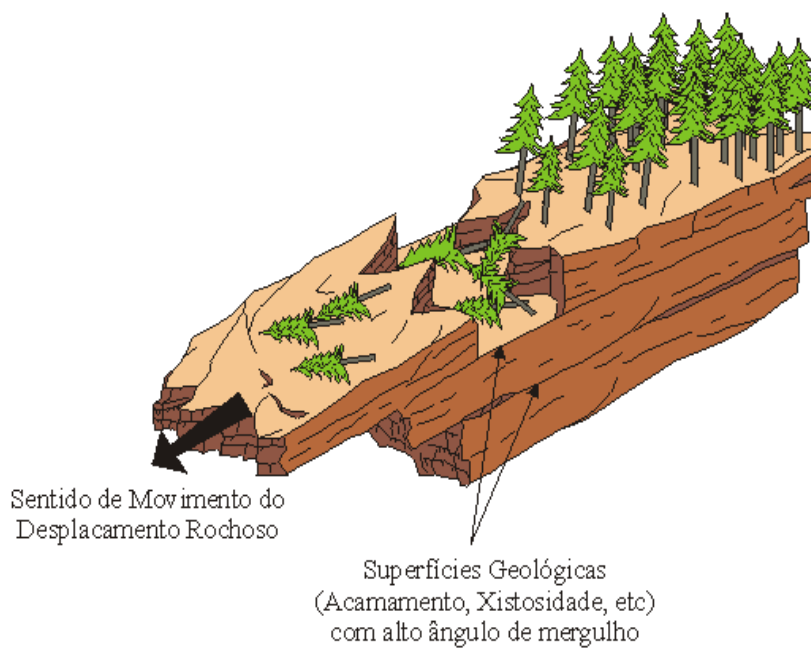


Figura 8 - Movimento de deslocamento.

Fonte: Adaptado de Infantil Jr. e Fornasari Filho (1998).

4.1.4. Corridas ou Fluxos

São movimentos de alta velocidade, abaixo de 10 km/h, caracterizados pela perda completa da resistência do solo, fazendo com que ele se comporte como um fluido e permitindo deslocamentos significativos. Esse processo de fluidificação pode ocorrer devido à saturação de água em solos predominantemente arenosos, forças dinâmicas (como terremotos, cravação de estacas etc.) e compactação em argilas altamente sensíveis, sendo a saturação excessiva durante períodos de chuvas intensas o fator mais comum (GERSCOVICH, 2016).

Esses movimentos envolvem múltiplas superfícies de deslocamento, tanto internas quanto externas à massa em movimento, e apresentam um movimento semelhante ao de um líquido viscoso. Eles se desenvolvem ao longo de drenagens naturais, ocorrem em velocidades que variam de médias a altas, mobilizando solo, rocha, detritos e água, e podem afetar grandes volumes de material, com um alcance extenso, mesmo em áreas planas (FILHO, 1992).

Os movimentos de massa resultam da interação entre fatores geotécnicos, como permeabilidade, coesão do solo e descontinuidades geológicas, e fatores desencadeantes, como precipitação, uso e ocupação do solo e intervenções antrópicas. A precipitação, em especial, exerce um papel determinante na ocorrência de escorregamentos. A seguir, serão discutidas as diferentes características da precipitação e seu impacto nesses fenômenos.

4.2. Precipitação

Essencial para o ciclo hidrológico, a precipitação é predominante no Brasil na forma de chuva, resultante da condensação do vapor d'água quando o ar atinge seu ponto de saturação. Influenciada pela dinâmica das massas de ar na atmosfera, que variam conforme as condições atmosféricas como pressão e temperatura, a chuva é medida em milímetros (mm), indicando a altura ou volume sobre uma área específica (PIMENTEL, 2015).

A intensidade das chuvas é medida em mm por hora, sendo a duração do evento também um fator crucial a ser considerado. A frequência das chuvas indica quantas vezes um evento ocorre ao longo do tempo, enquanto a série histórica de precipitações é classificada de acordo com a duração dos eventos, sendo eventos mais frequentes mais propensos a ocorrer (PIMENTEL, 2015). A determinação precisa da intensidade da precipitação é fundamental para o controle de enchentes e a prevenção da erosão do solo. Devido à sua capacidade de gerar escoamento, a chuva é o tipo de precipitação mais relevante para a hidrologia (TUCCI, 2004).

As chuvas podem ser classificadas em três tipos, de acordo com os diferentes processos atmosféricos que as originam: convectivas, frontais e orográficas. A chuva convectiva é gerada por processos de convecção térmica, nos quais o aquecimento da superfície terrestre provoca a ascensão rápida de massas de ar quente e úmido. Esse fenômeno resulta na formação de nuvens cumulonimbus, caracterizadas por precipitações intensas, embora de curta duração. Esse tipo de chuva é comum em regiões tropicais, especialmente durante os meses de verão, quando altos índices de radiação solar favorecem a convecção atmosférica (STEINKE, 2012; PIMENTEL, 2015).

A chuva frontal, por sua vez, ocorre quando massas de ar com diferentes temperaturas e características se encontram, como quando uma massa de ar quente colide com uma massa de ar fria, provocando o resfriamento da massa de ar quente. Geralmente, as chuvas frontais são prolongadas e podem durar várias horas ou até dias. Elas estão frequentemente associadas à passagem de frentes frias ou quentes e são comuns em regiões temperadas (STEINKE, 2012; PIMENTEL, 2015).

Por fim, a chuva orográfica é um tipo de precipitação que se desenvolve quando o ar úmido é forçado a ascender ao encontrar uma interferência física do relevo. Esse processo de elevação resulta em resfriamento adiabático, levando à condensação do vapor de água e à formação de nuvens. As precipitações ocorrem de forma mais intensa no lado da montanha denominado barlavento, enquanto o lado oposto, conhecido como sotavento, geralmente apresenta condições mais áridas (STEINKE, 2012; PIMENTEL, 2015).

No Brasil, o monitoramento de chuvas é realizado por instituições como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e a Agência Nacional de Águas (ANA). Para coletar dados pluviométricos, um dos equipamentos mais utilizados é o pluviômetro de funil. Este dispositivo possui um funil calibrado que capta a água da chuva e a direciona para um recipiente medidor, permitindo que os técnicos quantifiquem a precipitação em milímetros. Dependendo do local e da situação, as medições podem ser feitas manualmente ou de forma automatizada em estações remotas, garantindo que os dados sejam atualizados com frequência (CEMADEN, 2024).

Os pluviógrafos também desempenham um papel fundamental nesse processo. Esses equipamentos registram a intensidade da chuva ao longo do tempo, utilizando mecanismos rotativos, sejam eles digitais ou analógicos, para criar gráficos contínuos. Esse tipo de registro permite detectar variações temporais da precipitação e identificar eventos extremos, como chuvas intensas de curta duração (CEMADEN, 2024).

A distribuição da precipitação é essencial para analisar desastres urbanos, especialmente os movimentos de massa. Os processos de instabilização do solo são fortemente influenciados pelos valores pluviométricos acumulados nos dias que antecedem a ruptura. De forma geral, os movimentos de massa profundos estão relacionados às chuvas antecedentes acumuladas e os movimentos de massa superficiais são gerados pela intensidade e duração da chuva em períodos mais curtos. Esses aspectos serão discutidos em mais detalhes posteriormente.

4.3. Influência da precipitação nos movimentos de massa

Os movimentos de massa são frequentemente desencadeados ou intensificados por eventos de precipitação intensa, uma vez que a interação entre as características físicas do solo, como sua permeabilidade e estrutura, e as características das chuvas, como intensidade e frequência, desempenham um papel fundamental na predisposição a esses eventos.

A influência da precipitação nesse contexto reside na modificação dos parâmetros de resistência dos materiais, tais como a diminuição da coesão aparente, eliminação das tensões capilares e dissolução da cimentação. Também se observa o aumento do peso específico dos materiais que formam a encosta, o avanço da frente de saturação no maciço e a alteração do perfil da encosta devido à erosão dos materiais (CASTRO, 2006).

Lumb (1975), em estudo pioneiro, analisou deslizamentos ocorridos entre os anos de 1950 e 1973 em Hong Kong. Utilizando gráficos baseados em dados de precipitação acumulada ao longo de 15 dias e no dia do evento, foram determinadas zonas de intensidade, sendo essas classificadas em eventos isolados, de pequeno porte, severos e desastrosos, conforme o número de processos deflagrados. A causa principal dos escorregamentos observados foi a perda da coesão devido à saturação do solo.

Tatizana et al. (1987) analisaram a relação entre precipitação e escorregamentos na Serra do Mar, em Cubatão, considerando a influência da pluviosidade acumulada nos dias anteriores à ocorrência dos eventos. O estudo avaliou 35 deslizamentos, relacionando-os a diferentes períodos de precipitação: superiores a 100 mm em um dia, 150 mm em dois dias e 200 mm em três dias, além de um acompanhamento pluviométrico de sete dias. Foram elaborados gráficos de dispersão para períodos de 2, 3, 4 e 8 dias, permitindo a identificação de padrões entre a intensidade horária e o volume acumulado. Os resultados indicaram que a precipitação acumulada nos quatro dias antecedentes apresentou a melhor correlação com os eventos registrados, levando à definição de uma envoltória de escorregamentos.

Com base nessas análises, Tatizana et al. (1987) desenvolveram o Coeficiente de Precipitação Crítica (CPC), um parâmetro adimensional utilizado para avaliar a suscetibilidade a movimentos de massa considerando a evolução da chuva. O CPC é determinado pela razão entre a intensidade horária da precipitação registrada no instante i (I_i) e a intensidade crítica de precipitação (I_{ci}), que representa o limite mínimo necessário para induzir deslizamentos, conforme demonstrado na Equação 1. Valores de CPC superiores a 1 indicam um aumento significativo na probabilidade de ocorrência de escorregamentos, reforçando a influência da precipitação acumulada na instabilidade dos taludes.

$$CPC = \frac{I_i}{I_{ci}} \quad (1)$$

Quinta Ferreira et al. (2005) investigaram a influência da chuva na ocorrência de deslizamentos em Coimbra, utilizando dados de jornais de 1864 a 2003 e registros diários de precipitação. O estudo analisou a distribuição da chuva, os períodos de recorrência das chuvas que provocaram grandes deslizamentos e a relação entre precipitação anterior e deslizamentos. Os resultados indicaram que a distribuição da precipitação acumulada durante o ano hidrológico se assemelha a uma distribuição normal, e que os deslizamentos estão mais associados a picos de intensidade da chuva do que à precipitação total acumulada ao longo do ano.

No Brasil, Castro (2006) utilizou o geoprocessamento para mapear as principais áreas de risco de escorregamentos em Ouro Preto, classificando-as em quatro níveis: alto, médio, baixo e mínimo. O estudo identificou que a ocorrência desses eventos foi potencializada por práticas construtivas inadequadas e que a chuva acumulada desempenhou um papel determinante na deflagração dos movimentos de massa, promovendo a saturação do solo até a ruptura dos taludes. A análise também estabeleceu que o período crítico para a deflagração dos escorregamentos na região corresponde a cinco dias de precipitação acumulada.

Para analisar a relação entre precipitação e escorregamentos, foram elaborados gráficos de dispersão por ano hidrológico, considerando o volume de chuva acumulada e a ocorrência ou não de eventos. Com base nesses dados, desenvolveu-se uma equação linear, que correlaciona a Precipitação Diária (PD) no dia do evento com a Precipitação Acumulada (PA), excluindo a precipitação do próprio dia. Esse modelo matemático define a envoltória dos deslizamentos no estudo. Além disso, Castro (2006) apresentou um modelo alternativo ao proposto por Tatizana et al. (1987) para determinar o Coeficiente de Precipitação Crítica (CPC),

estabelecido pela razão entre PD e PA, conforme demonstrado na Equação 2. Quando esse valor ultrapassa 1, há uma maior probabilidade de ocorrência de escorregamentos.

$$CPC = \frac{PD}{PA} \cong 1 \rightarrow \text{Ocorrência de escorregamentos} \quad (2)$$

O geoprocessamento é uma ferramenta essencial no diagnóstico de movimentos de massa. Gomes et al. (2007), utilizaram sistemas de informação geográfica para identificar as áreas mais afetadas por acidentes em Ouro Preto, destacando locais que necessitam de intervenções para prevenir escorregamentos. Assim, a precipitação foi identificada como uma das principais causas dos deslizamentos, embora fatores geológicos, geomorfológicos e de ocupação, que serão tratados a seguir, também desempenhem um papel significativo. O geoprocessamento mostrou-se uma ferramenta fundamental para analisar as características do território e implementar um zoneamento de risco digital, facilitando a gestão das áreas urbanas mais vulneráveis.

4.4. Urbanização e movimentos de massa

O aumento na incidência de desastres naturais no Brasil, segundo Tominaga (2009), nas últimas décadas está diretamente ligado à alta taxa de urbanização, que ocorreu sem a implantação de infraestrutura adequada. Isso resultou no crescimento desordenado das cidades em áreas impróprias para ocupação, devido às suas características geológicas e geomorfológicas desfavoráveis.

A urbanização exerce um impacto considerável nos movimentos de massa em áreas vulneráveis. O crescimento das áreas urbanas desequilibra as encostas ao introduzir infraestruturas, remover vegetação e alterar os padrões naturais de drenagem, comprometendo a estabilidade do terreno e elevando significativamente o risco de deslizamentos e eventos semelhantes (NOGUEIRA, 2002; VARNES, 1978).

Os impactos da urbanização não se limitam apenas aos aspectos físicos; eles também influenciam a percepção e a gestão de riscos pelas comunidades urbanas. O crescimento urbano muitas vezes resulta na subestimação dos perigos naturais, levando a respostas inadequadas e falta de preparação para eventos como esses (NOGUEIRA, 2002).

4.4.1. O processo de ocupação em Sabará e os movimentos de massa

De acordo com Da Silva (2010), a história de Sabará pode ser dividida em três períodos distintos, cada um impactando a cidade de maneiras diferentes: o período do ouro, o período da mineração e o período do turismo e da “cidade dormitório”. Durante o ciclo do ouro, Sabará se desenvolveu rapidamente com a construção de edifícios para abrigar a população atraída pela mineração, além de grandes edificações.

Com a instalação da Companhia Siderúrgica Mineira, Sabará continuou a crescer economicamente, resultando em mudanças no modo de vida da população e na configuração urbana, com novas edificações sendo construídas e outras demolidas. No terceiro período, o turismo exerce um papel central na economia de Sabará, impulsionando o reconhecimento e a preservação de seu patrimônio histórico e arquitetônico. Ao mesmo tempo, devido à sua infraestrutura e à proximidade com Belo Horizonte, o município tem se consolidado como uma "cidade-dormitório", abrigando moradores que trabalham na capital, mas buscam em Sabará um ambiente mais tranquilo e acessível para viver. (DA SILVA, 2010).

Esse processo de integração metropolitana resultou na expansão urbana ao longo dos vales que ligam Sabará à capital mineira, como as regiões de Carvalho de Brito e da Sede do município. No entanto, a topografia acidentada da cidade, com áreas de relevo suave e outras mais íngremes, impôs desafios significativos ao crescimento urbano, que muitas vezes ocorreu de maneira desordenada e sem o devido planejamento, colocando áreas de encostas em risco (CARVALHO, 2010).

Com a expansão urbana de Sabará, principalmente após sua inclusão na Região Metropolitana de Belo Horizonte, surgiram novas necessidades de regulamentação para o uso do solo e a preservação do patrimônio cultural da cidade. A Lei Complementar nº 005/2004, por exemplo, criou zonas de proteção para garantir que as construções e reformas respeitassem as áreas de interesse histórico e cultural. Essas regras foram criadas justamente para reduzir os impactos do crescimento urbano nas áreas mais vulneráveis e preservar os bens tombados (CARVALHO, 2010).

Apesar dessas iniciativas, Sabará ainda enfrenta grandes desafios quando se trata de controlar a ocupação de áreas de risco, como as encostas. Entre 2000 e 2003, foram realizados mapeamentos desses terrenos, e o município adotou diretrizes para limitar a expansão nessas regiões. No entanto, o crescimento acelerado da cidade, muito impulsionado pela proximidade com Belo Horizonte, continua a pressionar a infraestrutura local, tornando o planejamento urbano uma prioridade crucial para o futuro (CARVALHO, 2010).

5. METODOLOGIA

Na Figura 9 são descritas as etapas metodológicas que foram desenvolvidas nesta pesquisa, de modo a atingir os objetivos propostos.



Figura 9 - Etapas metodológicas da pesquisa.

Fonte: Autora (2024).

5.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo deste trabalho corresponde à zona urbana de Sabará, município localizado na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Com grande parte de seu território inserido no Complexo do Quadrilátero Ferrífero, Sabará faz fronteira com os municípios de Nova Lima, Raposos, Caeté, Taquaraçu de Minas, Santa Luzia e Belo Horizonte, conforme ilustrado na Figura 10 (CARVALHO, 2010).

O município ocupa uma área total de 302,453 km². Segundo dados do IBGE de 2022, Sabará possui aproximadamente 129.380 habitantes, resultando em uma densidade demográfica de 427,77 habitantes por km² (IBGE, 2024).

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE SABARÁ

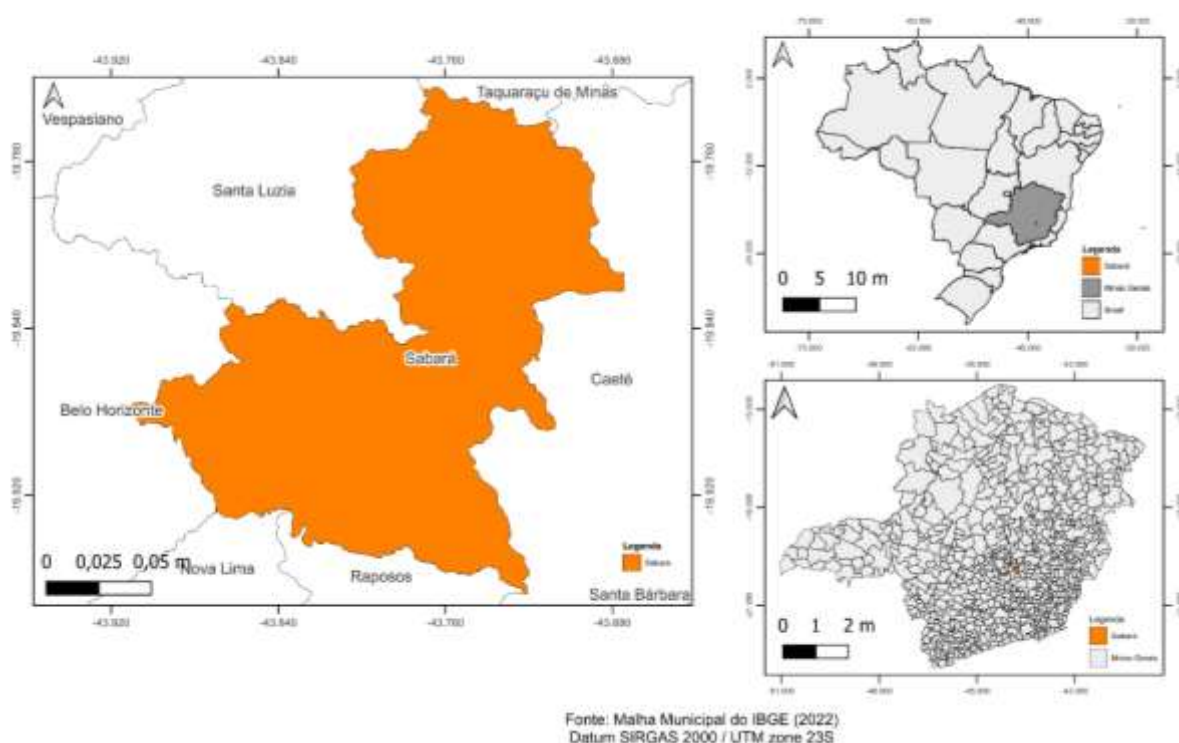


Figura 10 - Localização do município de Sabará em relação à Minas Gerais e ao Brasil.

Fonte: Autora (2024).

5.1.1. Geologia

O território de Sabará é marcado pela presença de rochas dos Complexos Metamórficos, como o Complexo Belo Horizonte, e das formações dos Supergrupos Rio das Velhas e Minas. O Complexo Belo Horizonte, devido à sua alta suscetibilidade à erosão, exige especial cuidado no uso urbano, pois a combinação de ocupação desordenada e erosividade pode provocar assoreamento de cursos d'água, ampliando os riscos de enchentes, inundações e deslizamentos (CARVALHO, 2010).

O Grupo Sabará, dentro do Supergrupo Minas, apresenta alta predisposição a movimentos de massa, como deslizamentos, devido à xistosidade, declividades acentuadas e fraturas. O Grupo Piracicaba, composto por filitos e quartzitos, tem no quartzito uma rocha mais resistente, porém bastante fraturada. O Grupo Itabira, localizado no topo da Serra da Piedade, é rico em minério de ferro e funciona como um importante aquífero (CARVALHO, 2010).

Os Grupos Nova Lima e Maquiné, do Supergrupo Rio das Velhas, também enfrentam desafios geológicos. O Grupo Nova Lima apresenta alta taxa de intemperismo, favorecendo escorregamentos, enquanto o Grupo Maquiné, com rochas resistentes, mas fraturadas, pode ocasionar quedas de blocos. Essa diversidade geológica garante a Sabará uma significativa concentração de recursos minerais (CARVALHO, 2010).

A combinação entre a resistência variável das rochas e os processos tectônicos resultou em um relevo dinâmico, composto por serras, colinas e vales profundos, gerando um ambiente geológico complexo e desafiador para o desenvolvimento urbano (CARVALHO, 2010).

5.1.2. Topografia

A menor altitude de Sabará, entre 685 e 783 metros, abrange 21,5% do território e corresponde às planícies de inundação dos principais rios e córregos, incluindo o Rio das Velhas, como representado na Figura 11. A faixa entre 783 e 864 metros, que cobre 27,8% do município, inclui áreas de planícies e encostas de cursos d'água em seu médio curso. Entre 864 e 945 metros, ocupando 22,5% da área, estão os altos cursos das planícies fluviais. Altitudes entre 945 e 1034 metros estão relacionadas a encostas e divisores hidrográficos, enquanto altitudes entre 1034 e 1720 metros são caracterizadas por cristas, escarpas e serras, que atuam como áreas de recarga de aquíferos e nascentes (COBRAPE, 2014).

Os relevos planos e suavemente ondulados, incluindo planícies fluviais, depressões e encostas suavizadas, representam 18,3% da área municipal. Declividades de 8% a 20% cobrem aproximadamente 25% do território. No entanto, o relevo predominante é Fortemente Ondulado, com declividades entre 20% e 45%, abrangendo 47,5% da área e formando morros alinhados na direção sudoeste-nordeste, moldados pela geologia e drenagem. Declividades acima de 45% ocorrem nas maiores elevações, como a Serra da Piedade e a Serra do Curral (COBRAPE, 2014).

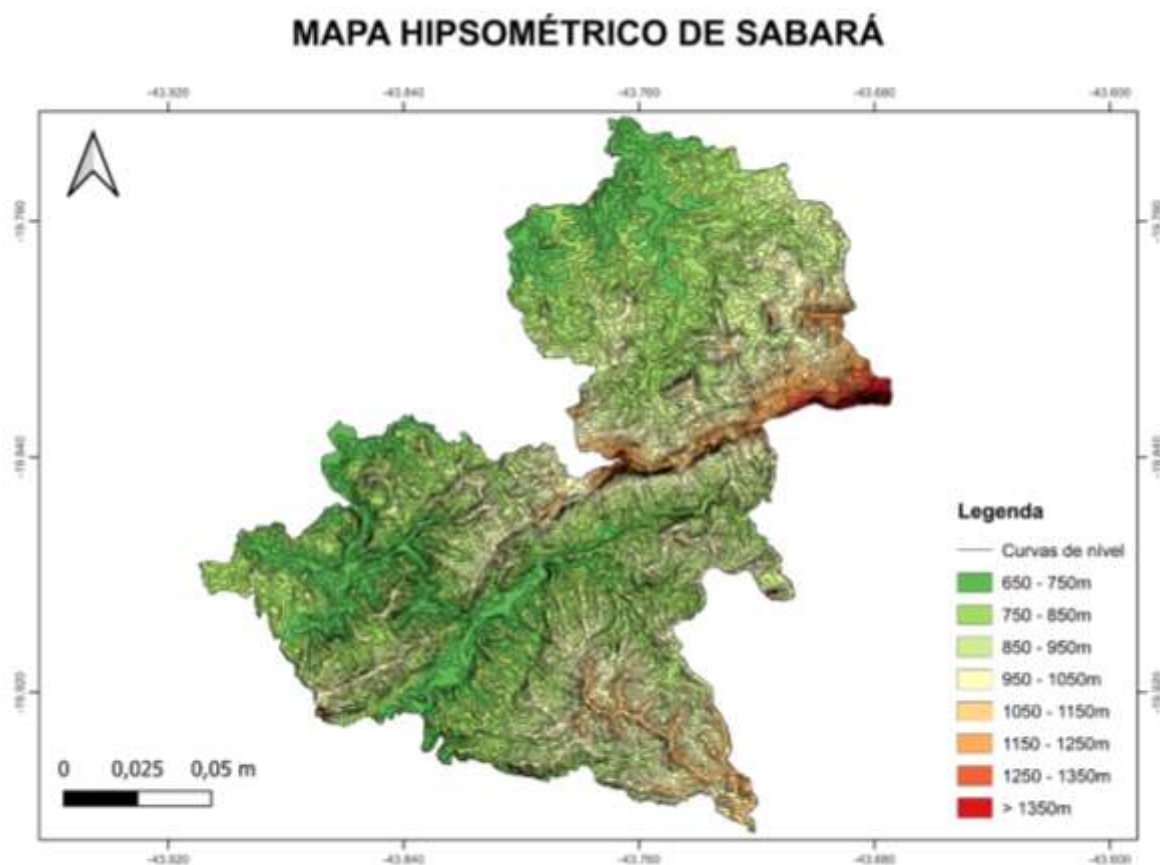


Figura 11 - Mapa hipsométrico do município de Sabará.

Fonte: Autora (2024).

5.1.3. Pedologia

O município de Sabará apresenta cinco principais tipos de solos: Cambissolos, Cambissolos Ferríferos, Latossolos Ferríferos, Podzólicos Vermelho-Amarelo e Litossolos. Os Cambissolos, de textura argilosa, estão localizados principalmente no Sudeste, em áreas como as sub-bacias dos ribeirões Gaia e Galinha, resultantes do intemperismo das rochas do Grupo Nova Lima. Os Cambissolos Ferríferos, ricos em óxido de ferro, ocupam a porção oriental, principalmente na bacia do Ribeirão Sabará. Já os Latossolos Ferríferos, altamente argilosos e com teores elevados de ferro, aparecem ao longo das encostas entre a Serra do Curral e a Serra da Piedade (COBRAPE, 2014).

Os solos Podzólicos Vermelho-Amarelo, amplamente distribuídos nas regiões norte, leste e sul, variam em textura e profundidade, e estão associados às rochas do Complexo Belo Horizonte. Os Litossolos, por sua vez, são solos rasos e pouco desenvolvidos, presentes em áreas montanhosas e escarpadas, principalmente entre a Serra do Curral e a Serra da Piedade,

associados ao intemperismo das rochas do Supergrupo Minas. Essas diferentes tipologias de solo refletem a diversidade geológica do município (COBRAPE, 2014).

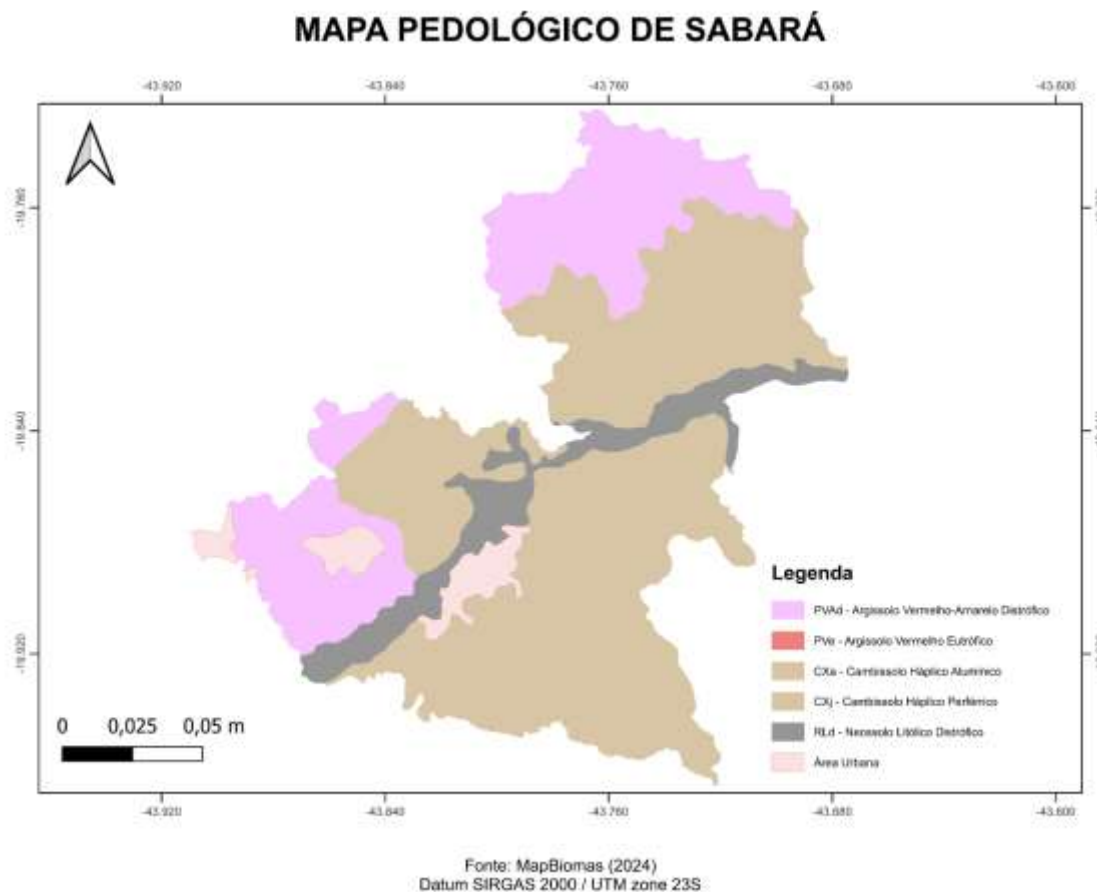


Figura 12 - Mapa pedológico de Sabará.

Fonte: Autora (2024).

5.1.4. Vegetação

O território de Sabará possui cinco principais formações vegetais: Campo, Campo Rupestre, Cerrado, Eucalipto e Floresta Estacional Semidecidual. Os Campos, compostos por gramíneas e pequenos arbustos, estão localizados principalmente nas cristas da faixa de relevo próxima à Serra da Piedade. Os Campos Rupestres, formados por vegetação herbácea e arbustiva, associada a solos litólicos, também se concentram nessa área elevada. O Cerrado, caracterizado por árvores baixas e tortuosas, cobre aproximadamente 40,33% do município, distribuindo-se de maneira ampla e dispersa, abrangendo quase toda a área de Sabará, exceto uma grande porção na região central ao sul (COBRAPE, 2014).

Eucaliptos, árvores exóticas usadas para produção de carvão, ocupam apenas 0,24% da área total, com maior concentração no centro e norte de Sabará. A Floresta Estacional Semidecidual, com árvores de até 40 metros de altura e sub-bosque denso, é a formação mais extensa, cobrindo cerca de 50% do município, especialmente nas proximidades de Mestre Caetano e nas localidades de Cuiabá e Pompéu (COBRAPE, 2014).

5.1.5. Clima

O clima de Sabará é tropical de altitude, com verões quentes e temperatura média anual de 21°C. As temperaturas máximas médias anuais chegam a 27°C, enquanto as mínimas ficam em torno de 16°C. A umidade relativa do ar é de 72,2% (COBRAPE, 2014).

No inverno, o clima é influenciado pela Frente Polar Atlântica e pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), resultando em céu claro, ventos fracos, baixa umidade à tarde e grande amplitude térmica. No verão, há maior frequência de instabilidade atmosférica e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) aumenta as precipitações, com pelo menos quatro dias consecutivos de chuva (COBRAPE, 2014).

5.1.6. Uso e Cobertura do Solo

O uso do solo em Sabará se divide em várias categorias. A vegetação natural, que inclui Campo, Campo Rupestre, Cerrado e Floresta Semidecidual, ocupa 71,11% do território, totalizando 217,08 km². As áreas de afloramento rochoso e corpos d'água cobrem cerca de 1% da área total. Pastagens representam o principal uso antrópico, com 62,57 km², ou 20,50% do território (COBRAPE, 2014).

A silvicultura de eucalipto é pouco expressiva, ocupando apenas 0,05 km². A zona urbana abrange 6,18% do município (18,86 km²), com maior concentração na sede municipal e parte dispersa entre os distritos de Carvalho de Brito, Ravena e áreas próximas a Belo Horizonte. As áreas de mineração somam cerca de 3,7 km² (COBRAPE, 2014).

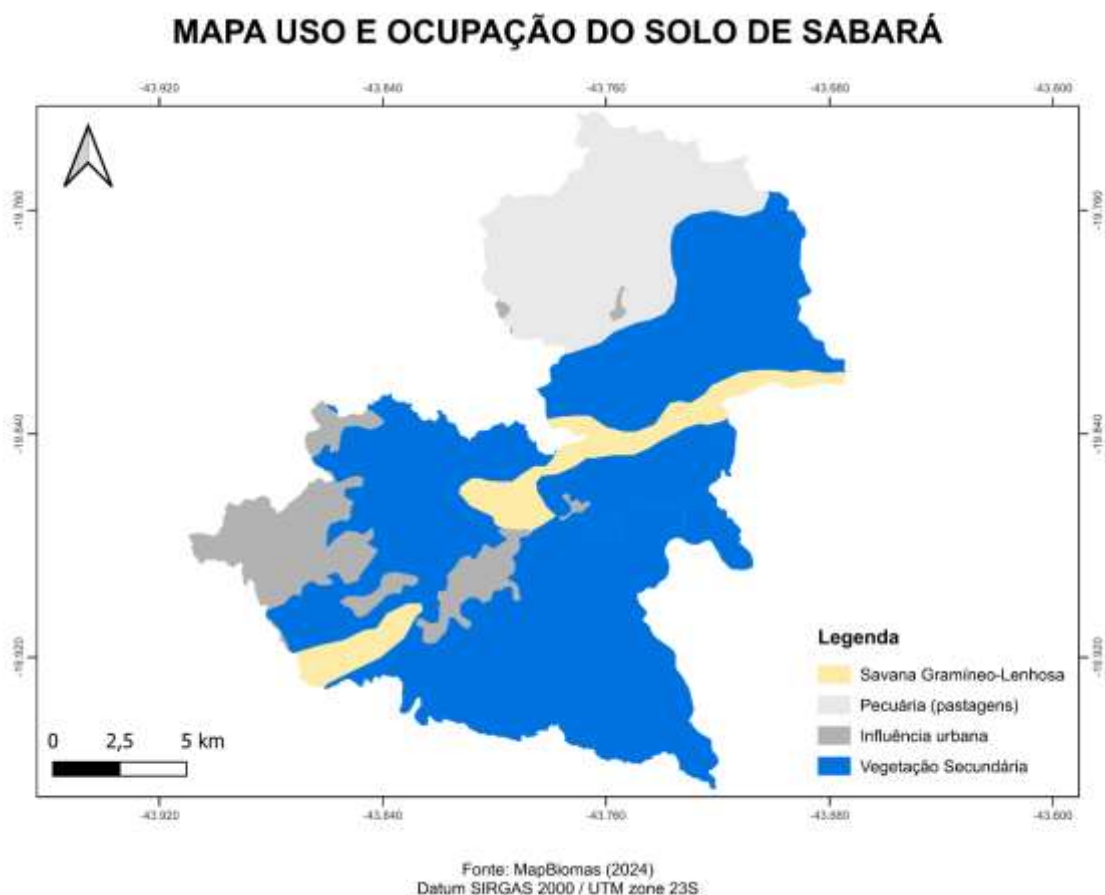


Figura 13 - Mapa de uso e ocupação do solo de Sabará.

Fonte: Autora (2024).

5.1.7. Hidrografia

O Rio das Velhas é o principal afluente do Rio São Francisco, com uma vasta malha de drenagem. Sua nascente principal está localizada na Cachoeira das Andorinhas, ao norte de Ouro Preto, em uma região de confluência entre as serras de Antônio Pereira e Ouro Preto. O rio segue um curso em direção ao norte, desaguando no Rio São Francisco, na Barra do Guaicuí, distrito de Várzea da Palma. Seu percurso é dividido em três partes: Alto, Médio e Baixo Rio das Velhas. Entre os principais afluentes do Rio das Velhas, destacam-se o Ribeirão Curimataí, o Rio Paraúna (seu maior afluente), o Rio Cipó e o Ribeirão Jaboticatubas, localizados à direita do rio, e o Ribeirão do Cotovelo, o Ribeirão Bicudo e o Ribeirão do Picão, à esquerda. A rede de drenagem é mais densa na margem direita, associada à formação geológica da região, onde também se observa a presença de muitos meandros (COBRAPE, 2014).

5.2. Coleta de dados

A metodologia deste trabalho baseou-se na análise quantitativa da relação entre pluviosidade e movimentos de massa, utilizando dados históricos de precipitação e informações sobre deslizamentos obtidas por meio de notícias publicadas. A abordagem seguiu, em linhas gerais, a estrutura proposta por Castro (2006), mas adaptada à obtenção de dados a partir de fontes jornalísticas, conforme Quinta (2005).

5.2.1. Dados sobre movimentos de massa

A coleta de dados sobre os eventos de movimentos de massa foi feita por meio do levantamento de notícias publicadas em veículos de comunicação, como portais de notícias e reportagens televisivas. As notícias serviram como uma fonte de informações, indicando a data e local, para elaboração do inventário. As informações obtidas foram organizadas cronologicamente, permitindo a correlação com os dados de precipitação.

Para assegurar que apenas eventos desencadeados pela chuva fossem considerados, a seleção incluiu exclusivamente registros do período chuvoso dos anos hidrológicos (outubro a março) e com precipitação diária superior a 3 mm na data da ocorrência, seguindo a abordagem de Castro (2006).

5.2.2. Dados pluviométricos

Os dados de precipitação diária e acumulada foram obtidos por meio das estações pluviométricas da região.

As séries históricas de precipitação analisadas abrangeram um período mínimo correspondente aos eventos de movimento de massa registrados, garantindo uma base de dados que permitisse a observação de tendências e padrões de correlação com esses eventos. Para esse levantamento, foram utilizadas as plataformas Hidroweb e dados do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN).

Os seguintes dados foram coletados:

- Precipitação diária (em milímetros);
- Precipitação acumulada em 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 dias anteriores aos eventos de movimento de massa registrados.

Esses diferentes intervalos de precipitação acumulada foram necessários para identificar a relação entre eventos de chuva prolongada e o desencadeamento de movimentos de massa.

5.3. Análise de consistência dos dados

Os dados de precipitação e as informações sobre movimentos de massa obtidas em notícias de jornais foram organizados e tratados para remover inconsistências. Os dados ausentes na estação pluviométrica selecionada foram complementados por informações de estações meteorológicas próximas.

Os registros de deslizamentos que não incluíam informações precisas sobre data ou local foram excluídos do estudo, garantindo a precisão das análises.

5.4. Análise da relação entre precipitação e movimentos de massa

Após a consistência dos dados, iniciou-se a quarta etapa: a análise do comportamento das precipitações antecedentes nos dias de ocorrência dos eventos de movimento de massa identificados, segundo o método proposto por Tatizana et al. (1987), com as adaptações de Castro (2006). Para isso, foram consideradas as estações pluviométricas mais representativas para cada localidade afetada.

Foram elaborados gráficos de dispersão para a definição de limiares, estabelecendo zonas de maior e menor probabilidade de ocorrência de movimentos de massa. Essa análise baseou-se na correlação entre as datas dos eventos e os acumulados de precipitação registrados nas séries históricas para períodos de 2 a 10 dias, no intervalo de 2009 a 2024. A partir desses gráficos, foram identificados os valores mais representativos para os períodos analisados, sendo eles:

- Valor de alerta: volume de precipitação em determinado intervalo de dias associado à ocorrência de um movimento de massa, delimitando a faixa com maior concentração de eventos.
- Valor mínimo: menor valor de precipitação registrado em um intervalo de dias vinculado a um evento de movimento de massa.
- Valor máximo: maior valor de precipitação registrado em um período específico relacionado a um movimento de massa (CASTRO, 2006).

Em seguida, foram definidas as curvas envoltórias para os movimentos de massa, considerando os dias mais representativos. Essas curvas foram construídas a partir de gráficos de dispersão que relacionam a Precipitação Diária (PD) e a Precipitação Acumulada (PA),

excluindo a precipitação do dia do evento, conforme a metodologia proposta por Castro (2006). Esses gráficos segmentam os dias com e sem ocorrência de movimentos de massa, sendo as envoltórias traçadas para delimitar a separação entre essas categorias de registros.

Por fim, determinou-se o Coeficiente de Precipitação Crítico (CPC), definido por Tatziana et al. (1987) e adaptado por Castro (2006), como a razão entre a precipitação diária e a precipitação acumulada, conforme apresentado na Equação 1 deste trabalho. Dado que valores de CPC iguais a 1 indicam maior probabilidade de ocorrência de escorregamentos, esse parâmetro foi adotado como critério para a estimativa da precipitação acumulada (PA).

5.5. Sistema de alerta e monitoramento

Na última etapa, buscou-se, com base nos resultados obtidos, definir valores limites de precipitação acumulada que pudessem auxiliar de forma mais eficaz o município no monitoramento e na gestão de riscos relacionados a movimentos de massa. Para alcançar esse objetivo, foi utilizado o Plano de Contingência do Município de Sabará, o qual já possuía uma classificação estabelecida para diferentes níveis de alerta (SABARÁ, 2023).

O intuito foi interligar os valores de precipitação acumulada obtidos com a classificação já existente, de modo a complementar e aprimorar os indicadores utilizados no monitoramento.

6. RESULTADOS

Na sequência, são apresentados os resultados obtidos ao longo da pesquisa, acompanhados de sua respectiva discussão.

6.1. Análise dos registros de movimentos de massa

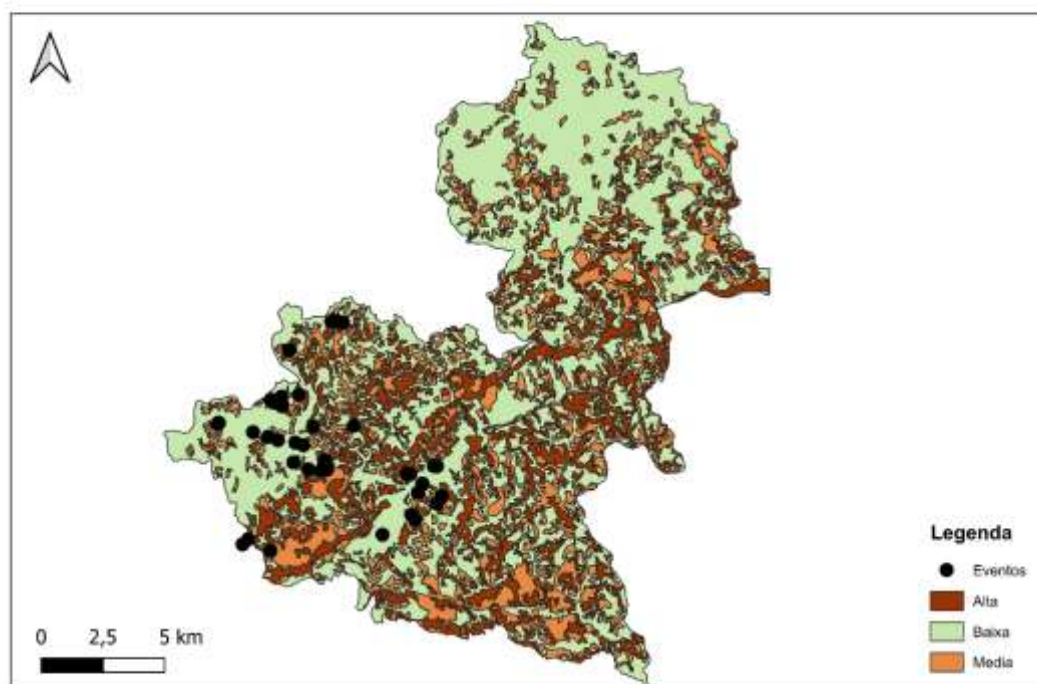
O inventário de movimentos de massa foi realizado com base no levantamento de notícias, conforme mencionado, devido à indisponibilidade de dados oficiais por parte dos órgãos municipais. Diversas notícias foram removidas da base por apresentarem informações insuficientes para o estudo ou por não confirmarem explicitamente, no corpo do texto, a ocorrência do evento. O inventário foi apresentado no Apêndice A deste trabalho.

Ao todo, foram identificadas 39 notícias consistentes, abrangendo o período de 2009 a 2024. O mapa da Figura 15 ilustra a distribuição dos eventos e sua correlação com a base de dados de susceptibilidade a movimentos de massa do município.

A distribuição espacial dos eventos de movimentos de massa confirma a correspondência entre as ocorrências registradas e as áreas previamente classificadas como de média a alta suscetibilidade pelo Serviço Geológico do Brasil (2015). Essa classificação considera a integração de condicionantes como declividade, características geológico-geotécnicas, cobertura vegetal e drenagem, permitindo identificar áreas naturalmente mais propensas à instabilidade. No caso de Sabará, observa-se que parte dessas áreas coincide com regiões urbanizadas, indicando que a ocupação do solo em encostas contribui para a intensificação do risco. Nesse sentido, a análise conjunta entre o mapeamento de suscetibilidade e a distribuição da ocupação urbana permite uma melhor compreensão da ocorrência dos eventos, evidenciando a interação entre fatores naturais e antrópicos.

Além disso, a sobreposição dos eventos reais às zonas de maior suscetibilidade demonstra que a precipitação atua como fator deflagrador sobre condições pré-existentes de instabilidade. Áreas que já apresentam fragilidade geotécnica, ao receberem volumes elevados de precipitação, atingem um ponto crítico de saturação, o que reduz a resistência ao cisalhamento do solo, favorecendo deslizamentos. Esse padrão evidencia a importância da integração entre estudos climatológicos e geotécnicos para aprimoramento do monitoramento e da gestão de risco.

MAPA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA



Fonte: SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (2015)
Autora (2024)
Datum SIRGAS 2000 / UTM zone 23S

Figura 15 - Mapa de localização dos eventos e áreas de risco.

Fonte: Autora (2025)

6.2. Análise dos dados pluviométricos

Os dados pluviométricos inicialmente previstos para a pesquisa eram os da estação Sabará (1943006), operada pela Agência Nacional de Águas (ANA), pois apresentavam séries históricas contínuas e sem falhas, abrangiam a área de estudo e contemplavam o período dos eventos de movimentos de massa analisados. No entanto, até o momento das análises, os dados de precipitação referentes ao segundo semestre de 2024 ainda não haviam sido disponibilizados.

Diante dessa limitação, tornou-se necessária a complementação dos dados com informações de uma segunda estação. Para essa escolha, analisou-se a consistência dos registros de outras estações da região, pré-selecionando as estações Borba Gato (315670001A), N. S. de Fátima (315670002A), Ravena (315670005A) e Santa Inês (315670001A), todas operadas pelo Cemaden.

A seleção da estação complementar foi baseada na comparação da precipitação anual registrada nos últimos anos, priorizando aquela cujo comportamento pluviométrico apresentasse a menor discrepância em relação à estação Sabará. Como resultado, a estação Borba Gato foi identificada como a mais representativa para a complementação dos dados ausentes. O raio de abrangência de ambas foi representado na Figura 16, sendo de 25 km, conforme indicado por Barbosa Júnior (2022). A Tabela 1 apresenta um resumo das informações relevantes das estações selecionadas.



Figura 16 – Mapa da área de abrangência das estações.

Fonte: Autora (2025).

Tabela 1 - Informações das estações Sabará e Borba Gato.

ESTAÇÃO	Sabará	Borba Gato
Código	1943006	315670001A
Operadora	ANA	CEMADEN
Latitude	-19,8931	-19,8331
Longitude	-43,8150	-43,8439
Período de dados	jan/2009 - jun/2024	jul/2024 - dez/2024

Fonte: Autora (2025)

Após a definição das estações, os dados horários do Cemaden foram convertidos em valores diários, seguindo o padrão da ANA, considerando a soma dos valores entre 07:00 da manhã de um dia e 07:00 da manhã do dia seguinte.

6.3. Correlação entre movimentos de massa e precipitação

As Figuras 17 a 25 apresentam os gráficos de dispersão correspondentes aos dias de chuva antecedentes, abrangendo intervalos de 2 a 10 dias. Os gráficos destacam também a ocorrência ou ausência de eventos de movimento de massa, bem como os limiares máximo, mínimo e de alerta de precipitação. É importante ressaltar que a análise abrangeu todo o período chuvoso, incluindo dias sem registros de eventos.

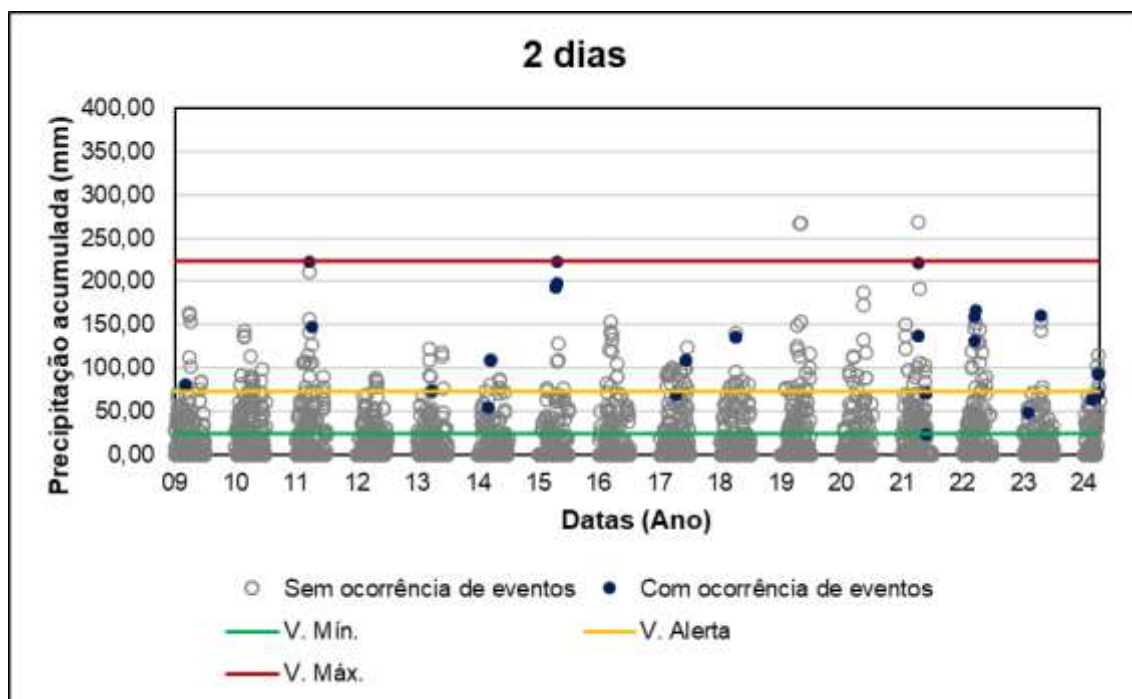


Figura 17 - Gráfico de dispersão para 2 dias antecedentes.

Fonte: Autora (2025).

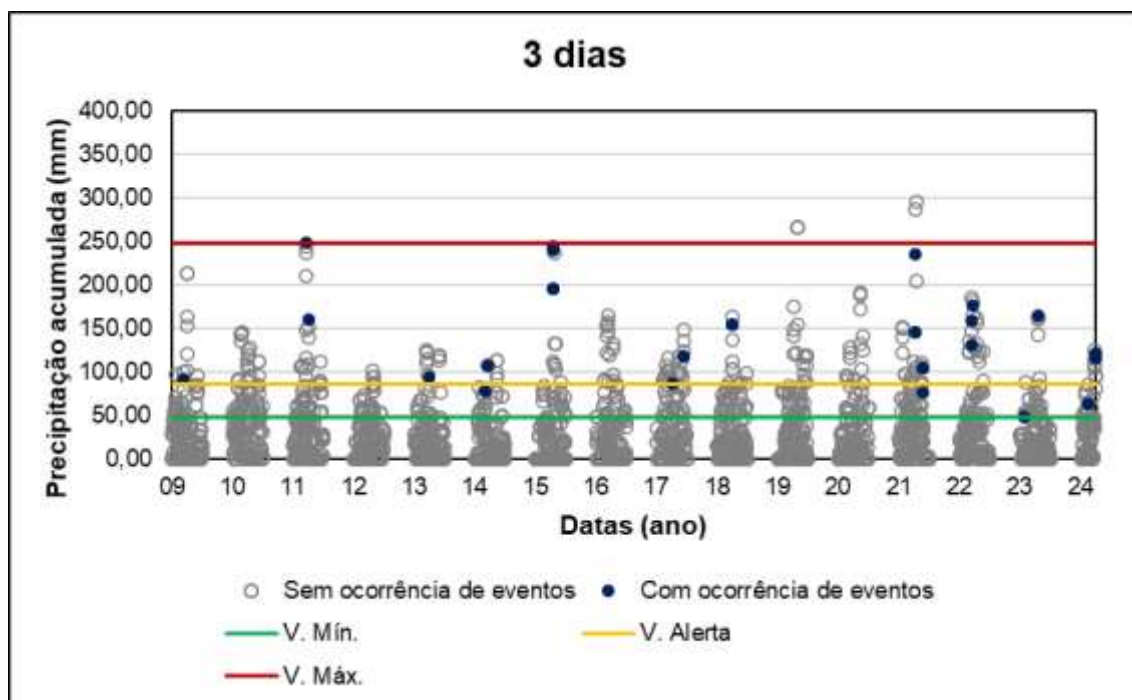


Figura 18 - Gráfico de dispersão para 3 dias antecedentes.

Fonte: Autora (2025).

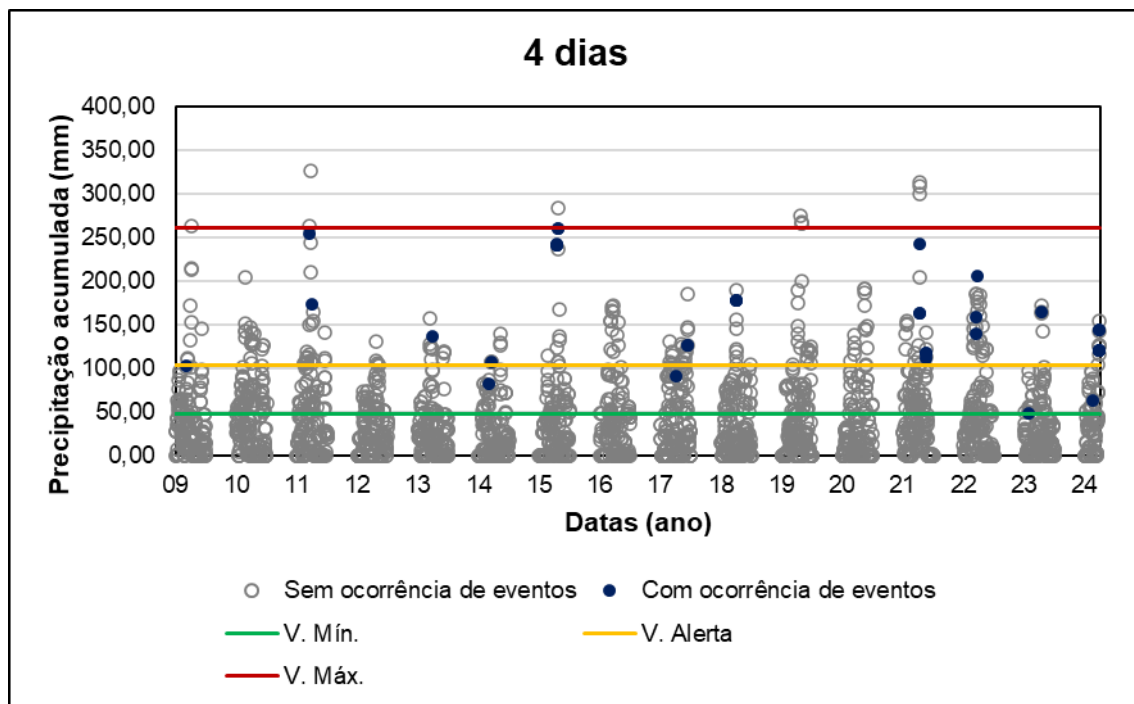


Figura 19 - Gráfico de dispersão para 4 dias antecedentes.

Fonte: Autora (2025).

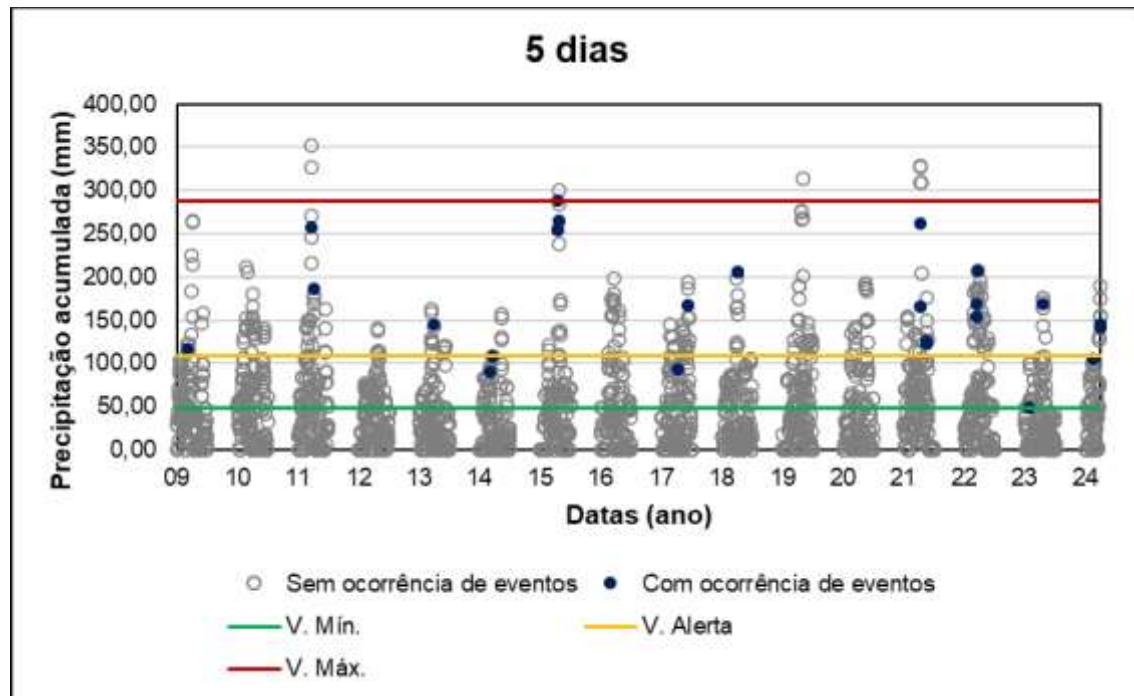


Figura 20 - Gráfico de dispersão para 5 dias antecedentes.

Fonte: Autora (2025).

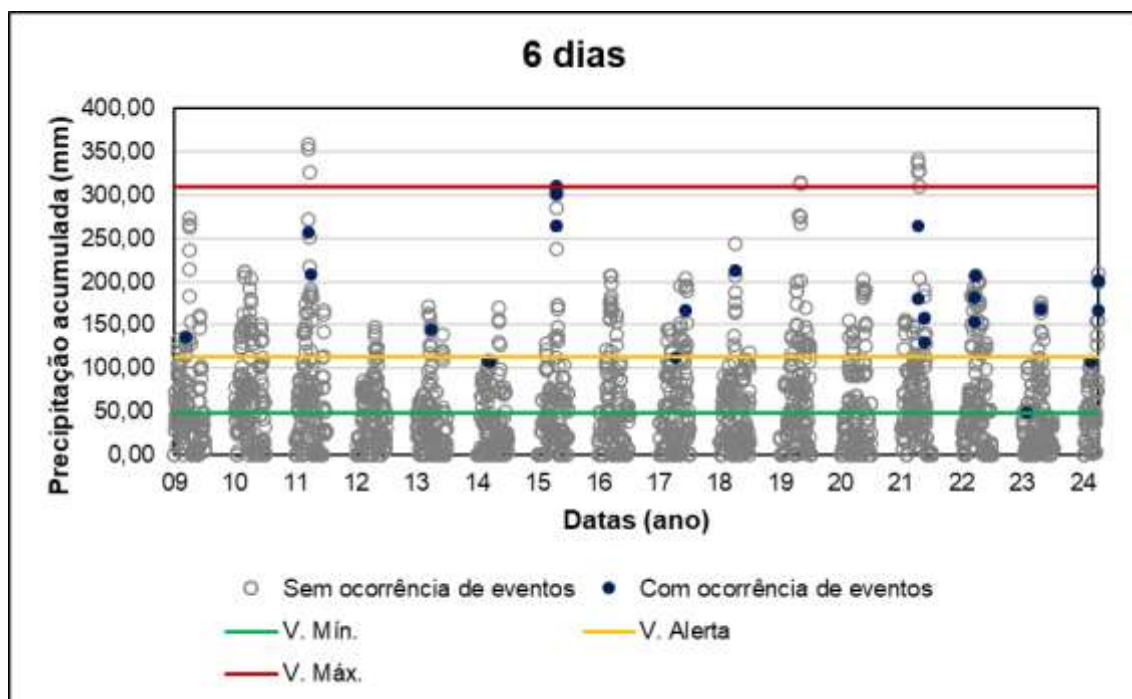


Figura 21 - Gráfico de dispersão para 6 dias antecedentes.

Fonte: Autora (2025).

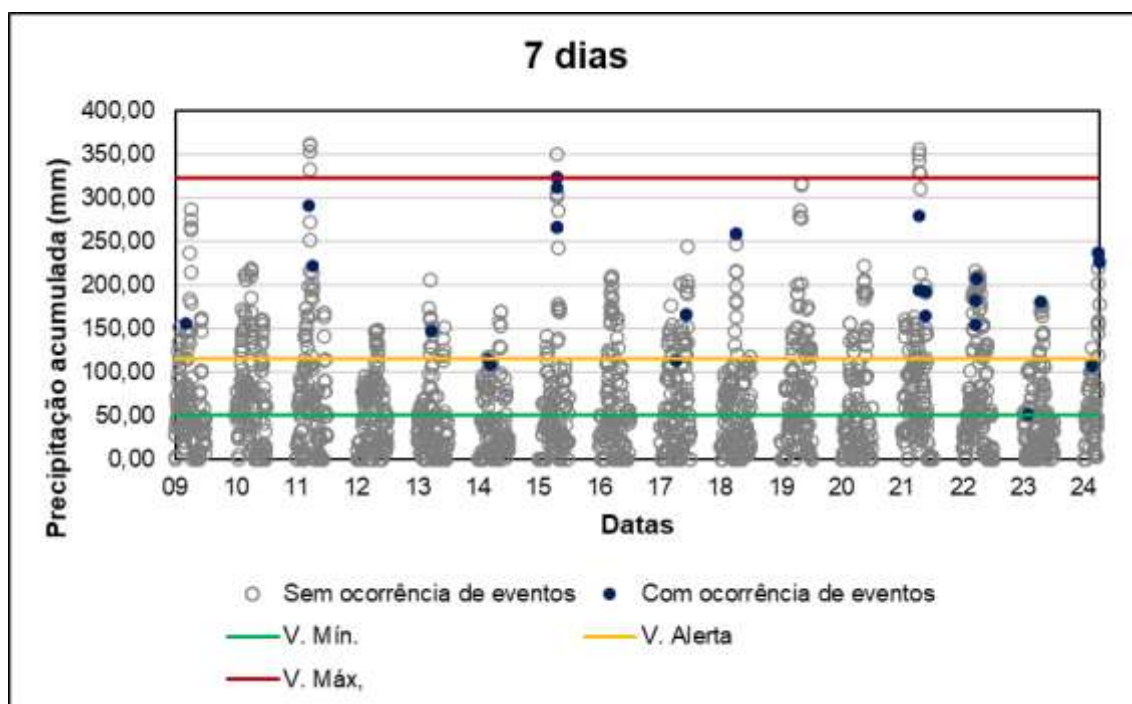


Figura 22 - Gráfico de dispersão para 7 dias antecedentes.

Fonte: Autora (2025).

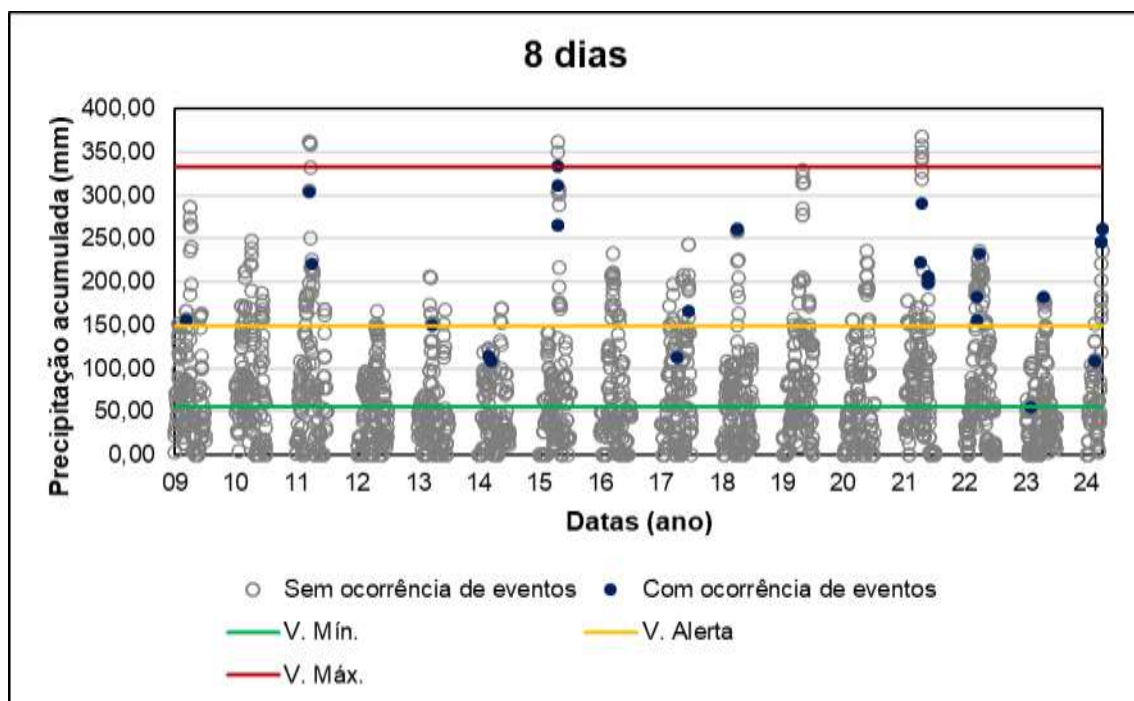


Figura 23 - Gráfico de dispersão para 8 dias antecedente.

Fonte: Autora (2025).

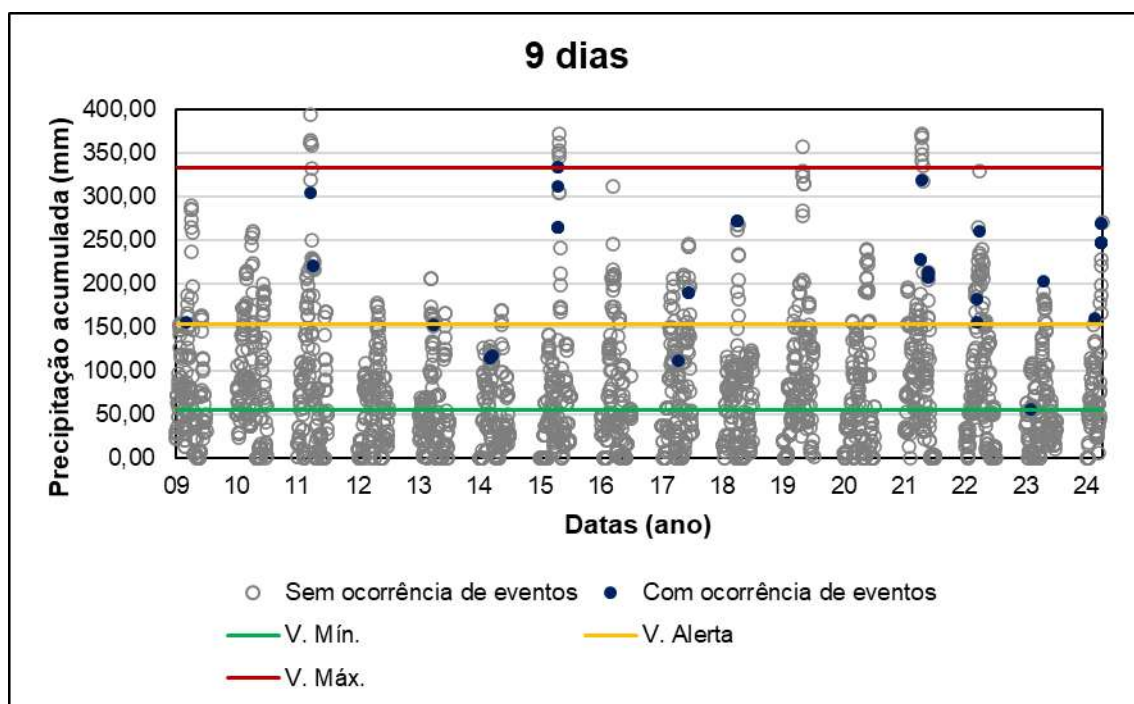


Figura 24 - Gráfico de dispersão para 9 dias antecedente.

Fonte: Autora (2025).

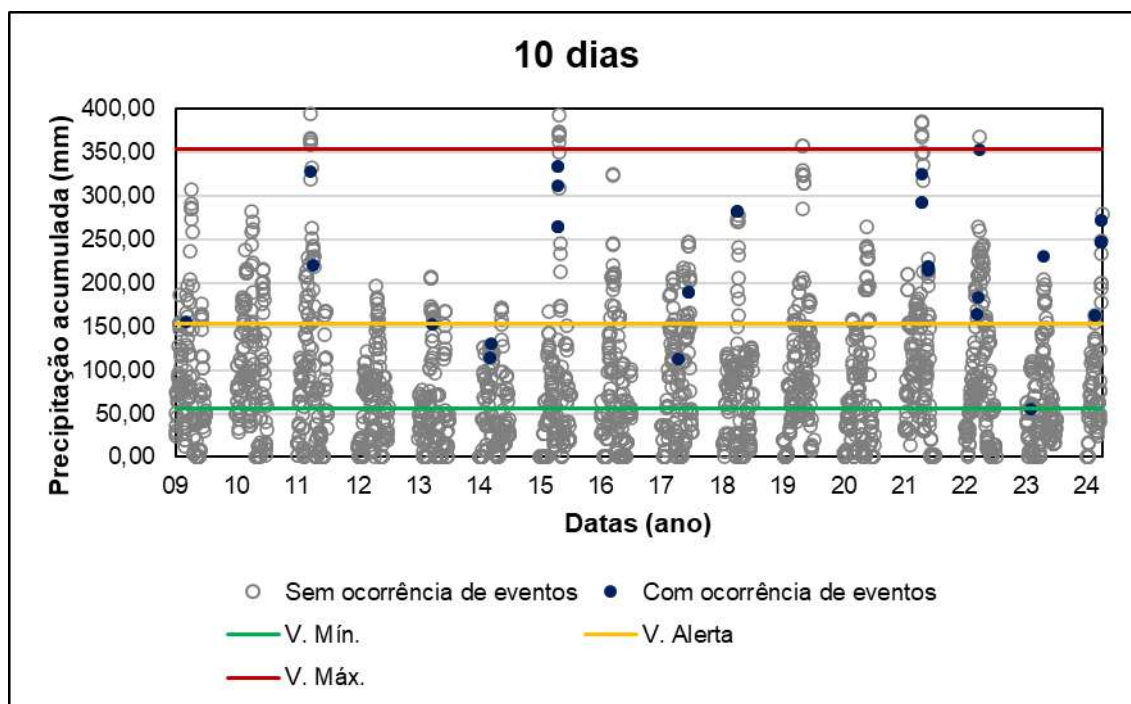


Figura 25 - Gráfico de dispersão para 10 dias antecedente.

Fonte: Autora (2025).

Observa-se um aumento no número de registros de movimentos de massa nos anos hidrológicos mais recentes em comparação aos períodos mais antigos. Esse crescimento pode estar associado a fatores como intensificação de eventos extremos e alterações no uso e ocupação do solo (IPCC, 2021). Além disso, como a base de dados foi construída majoritariamente a partir de notícias disponibilizadas na internet, a expansão do acesso à informação, a digitalização de acervos jornalísticos e o avanço das plataformas de comunicação podem ter contribuído para um maior volume de registros ao longo do tempo (OLIVEIRA, 2010).

Os limiares mínimo, máximo e de alerta, determinados a partir dos gráficos de dispersão segundo a metodologia de Castro (2006), foram analisados tanto para o período completo quanto para cada ano hidrológico, com ênfase nos anos de maior ocorrência de eventos. No entanto, devido ao número reduzido de registros, os resultados da análise anual não se mostraram suficientemente representativos. Diante disso, optou-se por manter a análise considerando todo o período.

A Tabela 2 apresenta os limiares de precipitação para o período de 2009 a 2024, obtidos a partir da análise dos gráficos de dispersão que relacionam a precipitação acumulada com as datas de ocorrência ou não de movimentos de massa. A definição desses limiares mostrou-se clara, favorecida pelo número reduzido de eventos registrados. Esse fator resultou em uma

distribuição mais espaçada dos pontos nos gráficos, permitindo a identificação precisa dos intervalos e, conseqüentemente, a delimitação mais acurada dos limiares.

Tabela 2 - Limiares definidos a partir dos gráficos de dispersão.

Dias acumulados	V. Mínimo (mm)	V. Alerta (mm)	V. Máximo (mm)
2	24,30	73,30	222,90
3	48,50	86,00	248,70
4	48,50	103,70	261,20
5	48,50	108,80	288,40
6	48,50	112,50	310,20
7	50,60	114,50	322,50
8	55,30	149,70	333,40
9	55,30	153,20	333,40
10	55,30	153,20	353,50
Mínimo	24,30	73,30	222,90
Médio	48,31	117,21	297,13
Máximo	55,30	153,20	353,50

Fonte: Autora (2025).

Quando comparado, o valor de alerta para 2 dias de precipitação acumulada em Sabará demonstra similaridade com os valores encontrados por Castro (2006) para Ouro Preto nos anos de 1991, 1992 e 2002/2003, conforme apresentado na Tabela 3, mantendo-se na faixa de 72,7 a 76,3 mm.

A análise de Castro (2006) para Ouro Preto também identificou valores de alerta semelhantes para as chuvas acumuladas em períodos de 3 e 4 dias (ano de 1992) e 4 e 5 dias (ano de 1995). Essa comparação com os resultados obtidos para Ouro Preto oferece um contexto relevante para a avaliação dos limiares de alerta estabelecidos para Sabará, considerando a proximidade geográfica e as características climáticas compartilhadas entre as duas localidades.

Tabela 3 - Valor mínimo e de atenção de precipitação para o desencadeamento de escorregamentos.

	2 Dias		3 Dias		4 Dias		5 Dias		6 Dias		7 Dias	
	Min.	Aler.	Min.	Aler.	Min.	Aler.	Min.	Aler.	Min.	Aler.	Min.	Aler.
1989	18,5	44,6	18,5	59,4	18,5	59,4	28,0	76,5	29,5	77,8	29,5	88,8
1991	36,2	76,3	86,6	126,0	97,2	142,2	102,9	169,2	103,6	176,9	125,6	180,7
1992	8,7	72,7	15,5	87,6	16,8	101,2	30,5	131,7	79,7	139,8	114,3	192,7
1995	11,6	41,0	19,1	74,6	32,5	105,4	35,3	108,9	35,3	138,4	35,3	151,2
1996/1997	3,3	75,2	6,4	111,2	14,8	127,0	22,7	147,0	29,1	172,9	29,1	176,7
2001/2002	33,3	62,1	46,7	-	52,7	-	52,7	-	76,4	-	76,4	-
2002/2003	22,1	56,8	25,9	71,9	42,1	105,6	47,8	111,2	95,4	150,1	100,0	182,9
Todos anos	3,3	80,6	6,4	107,4	14,8	134,2	22,7	169,2	29,1	176,9	29,1	185,0
Média	19,1	61,2	31,2	88,5	39,2	106,8	45,7	124,1	64,1	142,7	72,9	162,2
Mínimo	3,3	41,0	6,4	59,4	14,8	59,4	22,7	76,5	29,1	77,8	29,1	88,8
Máximo	36,2	80,6	86,6	126,0	97,2	142,2	102,9	169,2	103,6	176,9	125,6	192,7

Fonte: Castro (2006).

Pereira (2024), em estudo análogo ao de Castro (2006) para o município de Ouro Preto, porém abrangendo uma série histórica mais recente (1989 a 2014), obteve valores de alerta que se mostram bastante próximos aos encontrados no presente estudo para 4 e 5 dias de chuva acumulada, sendo, respectivamente, 103,1 mm e 114,7 mm, conforme a Tabela 4. Por sua vez, a pesquisa em questão identificou valores de 103,7 mm e 108,8 mm para o município de Sabará. Ressalta-se que tanto o estudo de Castro (2006) quanto o de Pereira se apoiaram em um inventário de movimentos de massa mais robusto, o que conferiu maior precisão aos resultados.

Tabela 4 - Valores significativos para períodos de acumulação de 4 a 6 dias.

	4 dias	5 dias	6 dias
$V_{\text{mínimo}}$	35,4 mm	41,9 mm	51,6 mm
$V_{\text{máximo}}$	154,2 mm	174,4 mm	190,6 mm
V_{alerta}	103,1 mm	114,7 mm	133,0 mm

Fonte: Pereira (2024)

Na sequência, foram determinadas as envoltórias para o período selecionado, considerando janelas de 2 a 7 dias de chuva acumulada entre os anos de 2009 e 2024, por se tratarem dos mais representativos após a elaboração dos gráficos de dispersão, conforme mencionado anteriormente. Os resultados estão apresentados nas Figuras 26 a 31. Os gráficos da envoltória representam a relação entre a precipitação diária e a precipitação acumulada ao longo desses períodos, incorporando tanto eventos associados a movimentos de massa quanto registros sem ocorrência.

Nos gráficos, os pontos cinzas indicam os casos em que não houve registro de instabilidade, enquanto os pontos azuis representam eventos em que ocorreram movimentos de massa. O traçado da envoltória foi estabelecido de forma a garantir que a maioria dos pontos cinzas permanecesse abaixo da curva, enquanto os pontos azuis ficassem majoritariamente acima, caracterizando um limite crítico para a ocorrência dos eventos.

A análise dos gráficos evidencia que a maior parte dos registros sem ocorrência (pontos cinzas) está associada a baixos valores de precipitação, indicando que, nessas condições, o volume de chuva acumulado não foi suficiente para deflagrar movimentos de massa. Entretanto, observa-se que alguns pontos azuis se encontram abaixo da envoltória, sugerindo que a precipitação, embora um fator fundamental, não é isoladamente responsável pela ocorrência dos movimentos de massa. Esse comportamento reforça a necessidade de considerar variáveis adicionais, como as características geotécnicas do solo, a declividade do terreno e o uso e ocupação do solo, na avaliação da suscetibilidade a deslizamentos.

Esse resultado é compatível com a abordagem adotada por Tatizana et al. (1987) e por Castro (2006), na medida em que a precipitação acumulada antecedente se mostra relevante para a definição de condições críticas de instabilidade, sem, contudo, explicar isoladamente a totalidade das ocorrências. No caso de Sabará, a distribuição dos pontos nas envoltórias indica que os eventos tendem a se concentrar em faixas de maior precipitação acumulada, ao passo que os registros sem ocorrência permanecem majoritariamente associados a valores inferiores. Tal comportamento sugere que a chuva atua como fator deflagrador sobre encostas previamente suscetíveis, cuja resposta também depende de condicionantes locais, como declividade, características dos materiais e intervenções antrópicas.

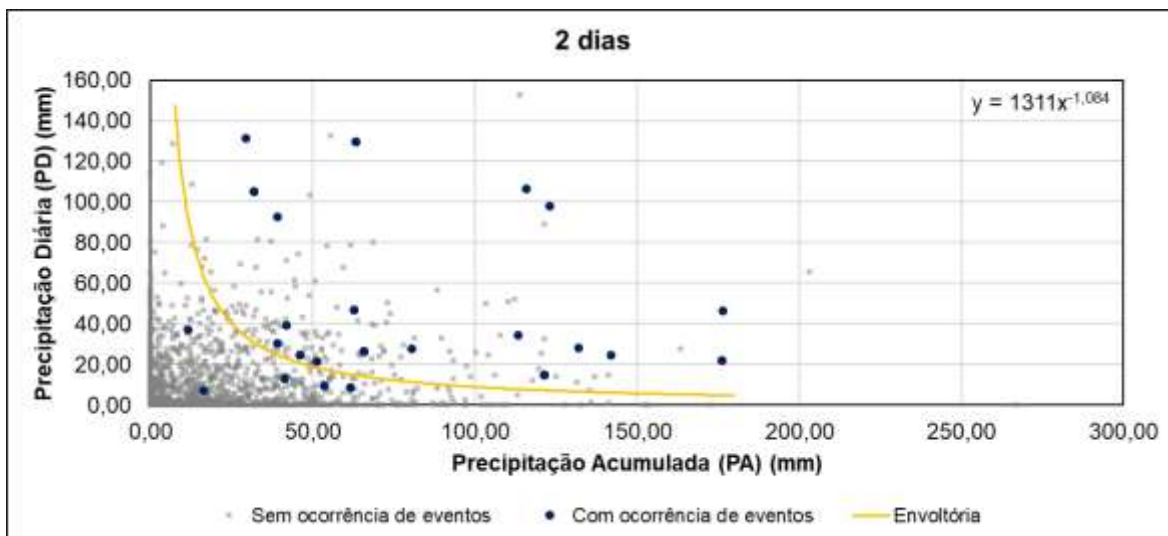


Figura 26 - Envolvória de movimento de massa para 2 dias.

Fonte: Autora (2025).

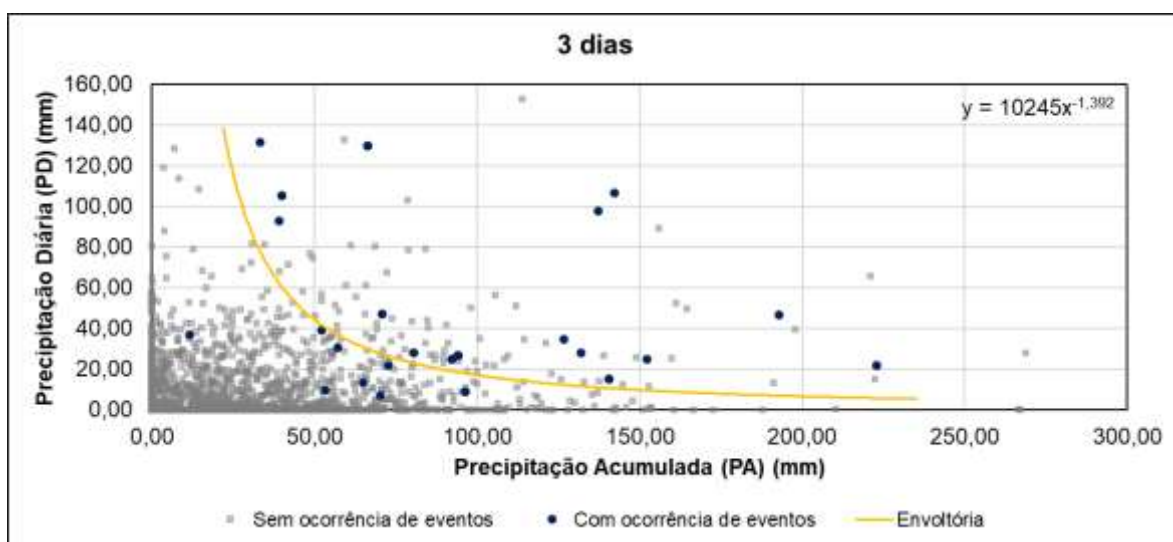


Figura 27 - Envolvória de movimento de massa para 3 dias.

Fonte: Autora (2025).

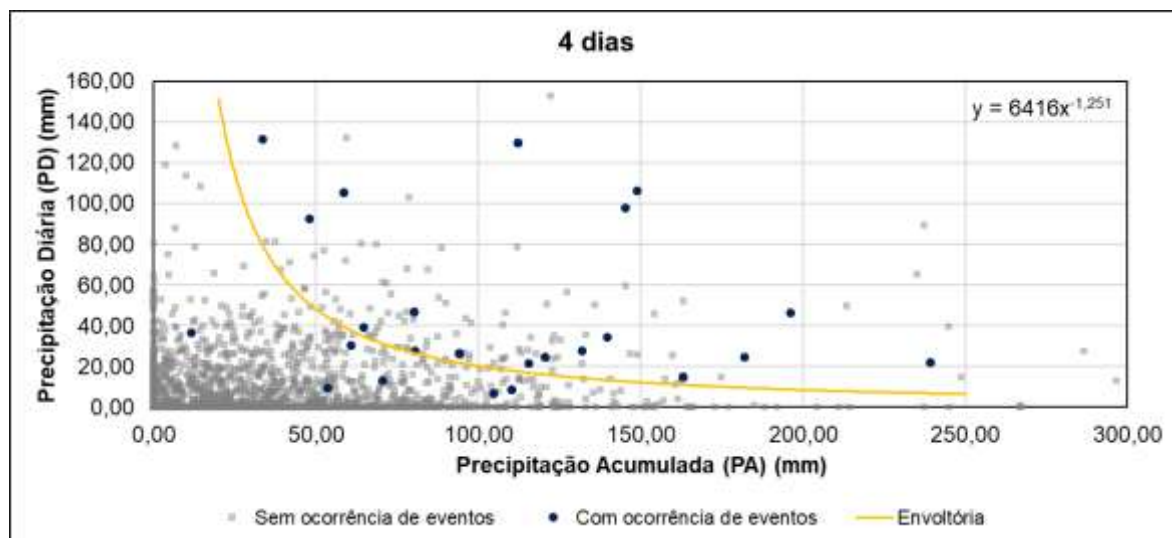


Figura 28 - Envoltória de movimento de massa para 4 dias.

Fonte: Autora (2025).

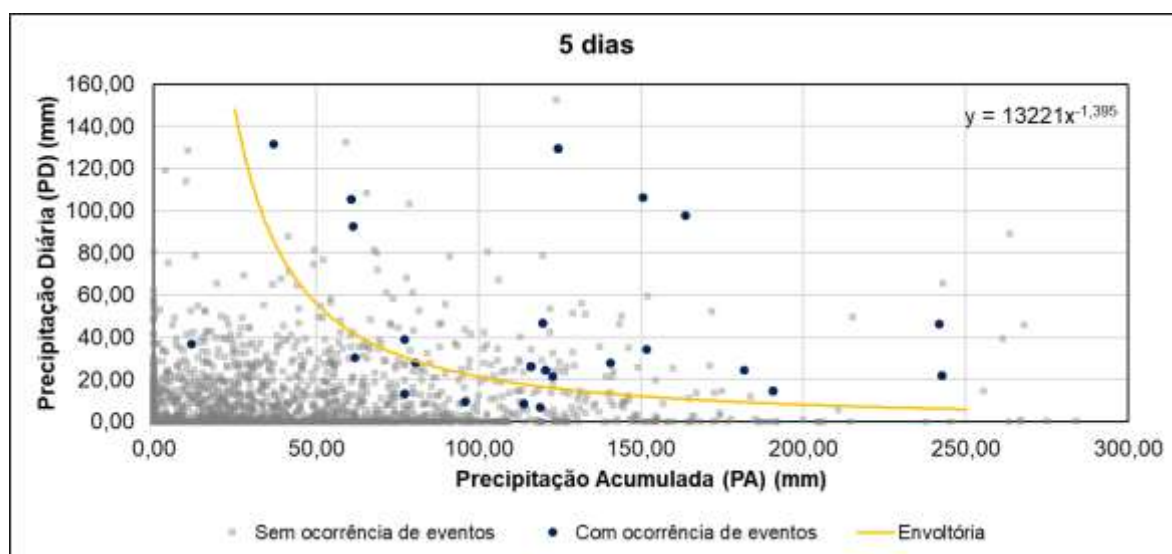


Figura 29 - Envoltória de movimento de massa para 5 dias.

Fonte: Autora (2025).

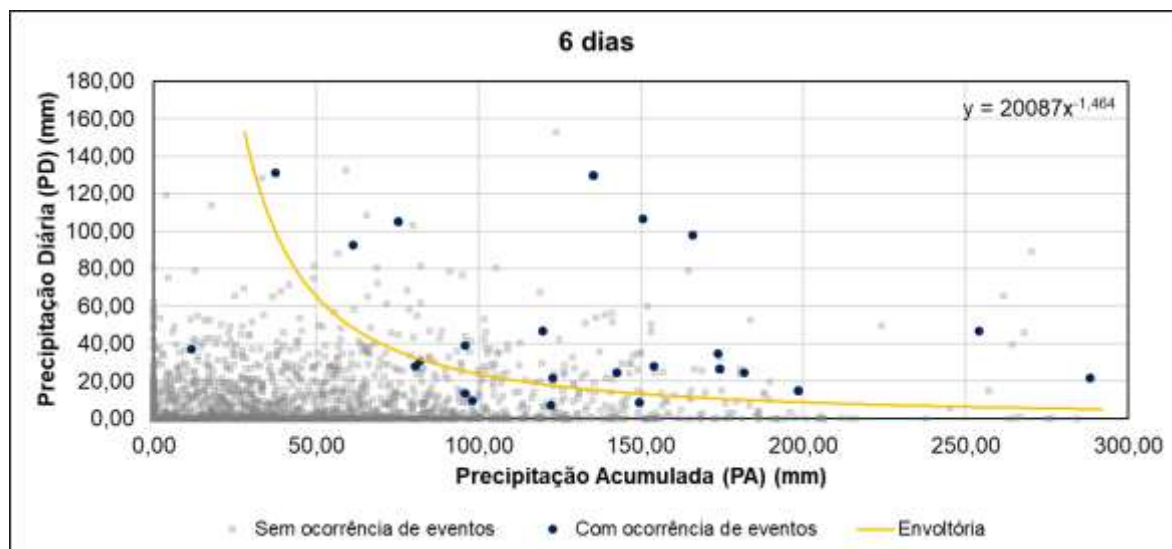


Figura 30 - Envoltória de movimento de massa para 6 dias.

Fonte: Autora (2025).

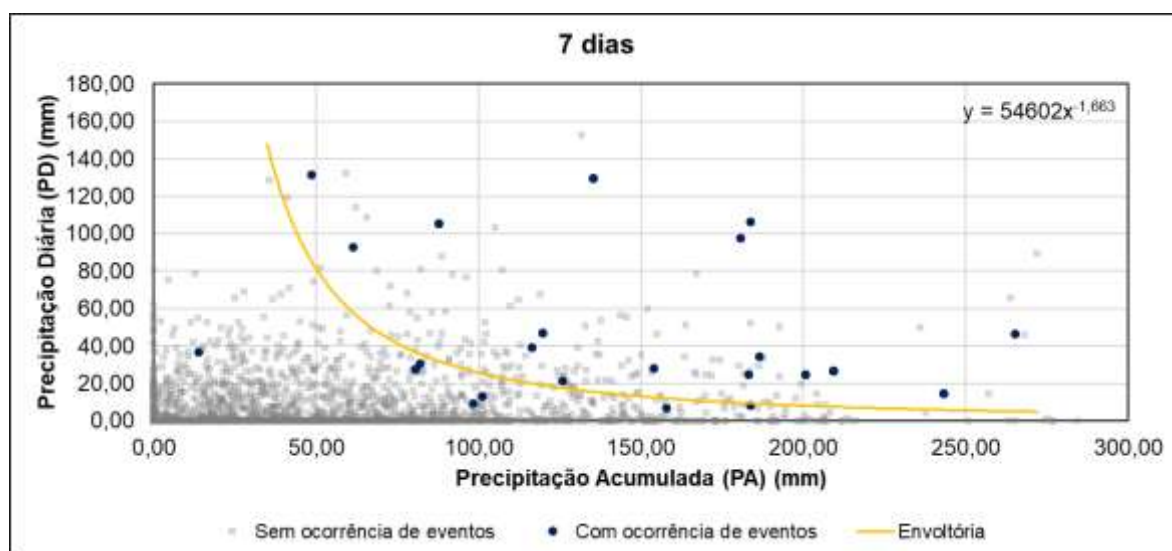


Figura 31 - Envoltória de movimento de massa para 7 dias.

Fonte: Autora (2025).

Com base nas envoltórias determinadas, foi calculada a Precipitação Acumulada (PA) para períodos de 2, 3, 4, 5, 6 e 7 dias. A PA foi obtida a partir da relação mencionada anteriormente na Equação 2, na qual o Coeficiente de Precipitação Crítica (CPC) foi igualado a 1. Para esses cálculos, foram utilizadas as equações resultantes dos gráficos de envoltória, conforme ilustrado nas Equações 3, 4, 5, 6, 7 e 8.

Os valores obtidos, apresentados na Tabela 5, demonstram que o CPC apresentou um comportamento esperado, aumentando diariamente em função das precipitações acumuladas. No entanto, é importante destacar que o número reduzido de ocorrências registradas no inventário pode limitar a precisão dos dados, uma vez que o campo amostral não foi tão robusto quanto o dos estudos e autores citados na metodologia.

Ainda assim, os resultados mantêm correspondência com o padrão identificado na literatura empregada neste trabalho. Tatizana et al. (1987) demonstraram que a relação entre precipitação diária e precipitação acumulada antecedente constitui um parâmetro útil para a definição de limiares de escorregamento. De modo análogo, Castro (2006) observou, para Ouro Preto, a adequação desse procedimento na delimitação de condições críticas associadas à ocorrência de movimentos de massa. No presente estudo, a aplicação desse critério para Sabará indica que os períodos de 2 a 7 dias constituem as janelas temporais mais representativas, o que também se mostra coerente com a síntese apresentada no resumo do trabalho.

$$CPC_{2dias} = \frac{PD}{PA_{2dias}} \rightarrow CPC_{2dias} = \frac{1311 * (PA_{2dias})^{-1,084}}{PA_{2dias}} \quad (3)$$

$$CPC_{3dias} = \frac{PD}{PA_{3dias}} \rightarrow CPC_{3dias} = \frac{14428 * (PA_{3dias})^{-1,466}}{PA_{3dias}} \quad (4)$$

$$CPC_{4dias} = \frac{PD}{PA_{4dias}} \rightarrow CPC_{4dias} = \frac{6416 * (PA_{4dias})^{-1,251}}{PA_{4dias}} \quad (5)$$

$$CPC_{5dias} = \frac{PD}{PA_{5dias}} \rightarrow CPC_{5dias} = \frac{13221 * (PA_{5dias})^{-1,395}}{PA_{5dias}} \quad (6)$$

$$CPC_{6dias} = \frac{PD}{PA_{6dias}} \rightarrow CPC_{6dias} = \frac{20087 * (PA_{6dias})^{-1,464}}{PA_{6dias}} \quad (7)$$

$$CPC_{7dias} = \frac{PD}{PA_{7dias}} \rightarrow CPC_{7dias} = \frac{54602 * (PA_{7dias})^{-1,663}}{PA_{7dias}} \quad (8)$$

Tabela 5 - Valores de CPC de 2 a 7 dias acumulados.

PERÍODO CHUVOSO	DIAS ACUMULADOS	a	b	PA	CPC
	2	1311,00	1,084	31,33	1,00
	3	14428,00	1,466	48,60	1,00
	4	6416,00	1,251	49,12	1,00
	5	13221,00	1,395	52,56	1,00
	6	20087,00	1,464	55,75	1,00
	7	54602,00	1,663	60,09	1,00

Fonte: Autora (2025).

Em conjunto, os resultados dos gráficos de dispersão, das envoltórias e do CPC indicam que a precipitação acumulada antecedente apresenta associação consistente com a ocorrência de movimentos de massa em Sabará, especialmente nos intervalos de 2 a 7 dias. A proximidade entre os valores obtidos neste estudo e aqueles registrados por Castro (2006) e Pereira (2024) para Ouro Preto, em especial nos acumulados de 4 e 5 dias, sugere comportamento regional semelhante, ainda que os limiares devam ser interpretados à luz das especificidades locais. Desse modo, os parâmetros aqui definidos, correspondentes a limiares obtidos a partir de dados observados, podem ser utilizados no monitoramento do município de Sabará, com potencial aplicação, mas condicionados à continuidade do aperfeiçoamento do inventário de ocorrências e à incorporação de variáveis geotécnicas e de uso do solo.

A partir dos valores de precipitação acumulada (PA) obtidos para os períodos de 2 a 7 dias, é possível estabelecer uma comparação com os limiares de alerta definidos anteriormente a partir dos gráficos de dispersão. Observa-se que, para todos os intervalos analisados, os valores de PA são inferiores aos respectivos valores de alerta, indicando que a condição associada ao CPC igual a 1 ocorre antes da faixa de maior concentração de eventos delimitada pelos limiares.

Essa diferença pode estar relacionada às distintas formas de obtenção dos parâmetros, uma vez que os limiares de alerta foram definidos com base na distribuição dos eventos observados, enquanto a PA foi estimada a partir das envoltórias, representando uma condição de transição entre estabilidade e instabilidade. Nesse sentido, a PA pode ser interpretada como um indicativo inicial de condições favoráveis à ocorrência de movimentos de massa, enquanto os valores de alerta correspondem a situações em que esses eventos se tornam mais frequentes no conjunto de dados analisado.

Dessa forma, a análise conjunta desses parâmetros contribui para a definição de diferentes níveis de atenção no monitoramento, possibilitando sua articulação com sistemas de alerta adotados pelo município.

6.4. Sistema de alerta e monitoramento

O Plano de Contingência (PLANCON) do Município de Sabará estabelece diretrizes específicas para a gestão de riscos, definindo-as a partir de cenários, sendo:

- Cenário de Risco 1 - Movimentos de massa;
- Cenário de Risco 2 - Inundações, enxurradas e alagamentos;
- Cenário de Risco 3 - Rompimento e/ou colapso de barragens;
- Cenário de Risco 4 - Transporte ferroviário (SABARÁ, 2023).

Dentre esses, o Cenário de Risco 1 – Movimentos de massa é o mais relevante para este estudo. O PLANCON mapeou os bairros com maior suscetibilidade à ocorrência desses eventos, levando em consideração fatores como características geotécnicas do solo, declividade do terreno, padrões de ocupação e histórico de deslizamentos. Além disso, foram quantificados o número de habitantes expostos e o grau de risco associado a cada setor, permitindo a simulação de diferentes cenários para a previsão de impactos diretos e indiretos (SABARÁ, 2023).

A Figura 30 ilustra um dos modelos de previsão de movimento de massa utilizado pelo PLANCON, que abrange desde a identificação das ameaças, a avaliação do risco e das hipóteses de ocorrência, até a delimitação das áreas de risco e a estimativa dos desdobramentos e prejuízos.

2. CENÁRIO 1	
Ameaça	Geológico (Movimentação de Massa).
Risco	As condições naturais favorecem ocorrências de deslizamentos com excesso de chuvas.
Hipótese Acidental	Deslizamento de terra em diversos bairros do município.
Áreas de risco	Bairros: Adelmolândia (72 famílias), Borba Gato (40 famílias), Caieiras (62 famílias), Campo Santo Antônio (60 famílias), Catita (28 famílias), Córrego da Ilha (195 famílias), Esplanada (51 famílias), Francisco de Moura (25 famílias), General Carneiro (1119 famílias), Mangabeiras (90 famílias), Mangueiras (90 famílias), Morro da Cruz (72 famílias), Nossa Senhora de Fátima (2997 famílias), Ravena (46 famílias), Roça Grande (157 famílias), Rosário (52 famílias), Vila dos Coqueiros (116 famílias), Vila Esperança (32 famílias) e Villa Real (20 famílias) – Conforme estudo da CPRM.
Estimativa de afetados	27.705 pessoas – Conforme estudo da CPRM.
2.1 DESDOBRAMENTOS EM FUNÇÃO DO CENÁRIO	
<ul style="list-style-type: none"> Ocorrência de fatos pontuais podendo acontecer isoladas ou ao mesmo tempo. A retirada emergencial das pessoas que estiverem nas áreas de risco ou afetada, nas classificações de risco Muito Alto. As vias urbanas e vicinais do município que poderão ser comprometidas pelos deslizamentos. Os locais escolhidos como abrigo, escola municipais, terão as aulas paralisadas para acomodação da população que terá que ser retirada de suas residências. 	
2.2 Indicação dos danos e prejuízos estimados	
Prejuízo econômico privado:	R\$1.200.000,00
Prejuízo econômico público:	R\$ 600.000,00
Dano material:	R\$ 450.000,00
Dano humano:	2.500 pessoas afetadas indiretamente e 750 diretamente.

Figura 32 - Simulação de um cenário de ocorrência de movimento de massa em Sabará.

Fonte: Sabará (2023).

A simulação desses cenários é fundamental para a gestão de riscos, pois permite ao município estimar o tempo de resposta necessário, antecipar a mobilização de equipes e alocar recursos estratégicos, como materiais para contenção e rotas de evacuação.

Para garantir uma atuação coordenada, o plano inclui também um caderno de ações setoriais, estabelecendo as responsabilidades das secretarias municipais. Dentre as medidas preventivas, destacam-se a realização de inspeções periódicas em áreas vulneráveis e o treinamento de equipes técnicas (SABARÁ, 2023).

Além disso, o PLANCON estabelece um protocolo de acionamento dos níveis de alerta para movimentos de massa, apresentado na Figura 31. Esse protocolo define os estágios de observação, atenção, alerta e emergência, com base em dados meteorológicos e em vistorias técnicas, orientando a tomada de decisão conforme a evolução do risco (SABARÁ, 2023).

Risco	Monitoramento	Nível de alerta	Acionamento dos alertas	Nível de emergência a ser acionado
Movimentos de massa	Informações dos órgãos do Sistema de Proteção e Defesa Civil – Nacional ou Estadual. Chuva acumulada. Previsão de chuva. Vistorias nas áreas de risco.	Verde	Verde: neste nível é feito o monitoramento meteorológico, com especial cuidado quando da previsão de ocorrência de precipitações.	Observação
		Amarelo	Amarelo: quando a chuva acumulada e a previsão de chuva indicarem; ou quando as vistorias nas áreas de risco constatarem indicativos de risco de movimentos de massa; ou quando houver indicações dos órgãos oficiais de monitoramento; ou quando de decisão da Defesa Civil.	Atenção
		Laranja	Laranja: quando a chuva acumulada e a previsão de chuva indicarem; ou quando as vistorias nas áreas de risco indicarem ocorrências de movimentos de massa em vários locais; ou quando houver indicações dos órgãos oficiais de monitoramento; ou quando de decisão da Defesa Civil.	Alerta
		Vermelho	Vermelho: quando as vistorias nas áreas de risco indicarem ocorrências generalizadas de movimentos de massa; ou quando de decisão da Defesa Civil.	Emergência

Figura 33 - Níveis de alerta para movimento de massa em Sabará.

Fonte: Sabará (2023).

Para garantir maior precisão na aplicação dos níveis de alerta do PLANCON, os limiares obtidos foram correlacionados a eles. Os valores utilizados na definição desses níveis foram os limiares extraídos dos gráficos de dispersão ($V_{\text{mínimo}}$ e V_{alerta}) e a precipitação acumulada.

A Tabela 6 apresenta os níveis de alerta definidos para o sistema de monitoramento e alarme, baseados na precipitação acumulada em períodos de 2 a 7 dias. A classificação dos valores seguiu o padrão estabelecido no Plano de Contingência do Município, visando complementar as diretrizes existentes (Figura 30).

Dessa forma, as precipitações foram classificadas conforme sua magnitude: valores inferiores a $V_{\text{mínimo}}$ foram categorizados como "Verde" (observação); aqueles entre $V_{\text{mínimo}}$ e a precipitação acumulada, como "Amarelo" (atenção); entre a precipitação acumulada e V_{alerta} , como "Laranja" (alerta); e superiores a V_{alerta} , como "Vermelho" (emergência), conforme indicado na Tabela 6.

Tabela 6 - Níveis de operação para monitoramento.

ACUMULADO CHUVA	NÍVEIS DE OPERAÇÃO			
	VERDE	AMARELO	LARANJA	VERMELHO
2 dias (mm)	< 24,30	24,30 < P < 31,33	31,33 < P < 73,30	> 73,30
3 dias (mm)	< 48,50	48,50 < P < 48,60	48,60 < P < 86,00	> 86,00
4 dias (mm)	< 48,50	48,50 < P < 49,12	49,12 < P < 103,70	> 103,70
5 dias (mm)	< 48,50	48,50 < P < 52,56	52,56 < P < 108,80	> 108,80
6 dias (mm)	< 48,50	48,50 < P < 55,75	55,75 < P < 112,50	> 112,50
7 dias (mm)	< 50,60	50,60 < P < 60,09	60,09 < P < 114,50	> 114,50

Fonte: Autora (2025).

A integração dos níveis de alerta ao planejamento urbano otimiza as ações emergenciais e preventivas, mitigando seus impactos. Essa incorporação nos Planos de Contingência das cidades possibilita uma resposta mais ágil e direcionada em crises, com protocolos específicos para cada nível de alerta.

O município de Alegre, no Espírito Santo, exemplifica essa abordagem ao definir limiares de precipitação acumulada em seu plano de contingência, conforme ilustrado na Figura 32. Esses indicadores acionam diferentes níveis de alerta, preparando o município para eventos e otimizando suas ações preventivas e emergenciais, protegendo a população e a infraestrutura local.

Informações gerais	
Descrição	Inclinação/ declividade: de (0 a 35°) com altura superiores a 8,0m, tendo a média de 26 casas.
Resumo	Indicativos de Movimentação: feições erosivas, cicatrizes de deslizamento e histórico de movimentos de massa.
Componentes críticos	Agentes potencializadores: cortes verticais nos taludes sem estruturas de contenção, afastamento dos domicílios em relação aos taludes inferiores a 3,0m, diferença de permeabilidade entre o solo residual e o substrato rochoso, remoção da cobertura vegetal a montate.
Monitoramento	Quando ocorre chuvas acima de 30mm por mais de três dias consecutivos
Limiares	Precipitação acumulada 03 dias (Chuva): 180.0 mm

Figura 34 - Informações gerais do bairro Três Vilas, Rua Porfílio S. Freire, município de Alegre (ES).

Fonte: Prefeitura Municipal de Alegre (2026)

7. CONCLUSÃO

Este estudo investigou a influência da precipitação na ocorrência de movimentos de massa no município de Sabará-MG, analisando dados pluviométricos históricos e registros de eventos de deslizamentos no período de 2009 a 2024. A pesquisa demonstrou uma correlação significativa entre a precipitação acumulada em períodos de 2 a 7 dias e a deflagração de movimentos de massa, permitindo a definição de limiares críticos de precipitação para fins de monitoramento e alerta.

A metodologia empregada, baseada na elaboração de gráficos de dispersão e curvas envoltórias, mostrou-se eficaz na identificação de limiares de precipitação associados ao desencadeamento dos eventos. Os valores de alerta obtidos apresentaram consistência com resultados de estudos prévios realizados em municípios da mesma região.

No entanto, a análise também evidenciou que, embora a precipitação desempenhe um papel crucial, a ocorrência de movimentos de massa é um fenômeno complexo e multifatorial. Fatores geotécnicos, como as características litológicas locais e a declividade acentuada, e fatores antrópicos, como a ausência de cobertura vegetal adequada, deficiências no sistema de drenagem urbana e a ocupação irregular de áreas de risco, também desempenham um papel importante na instabilidade das encostas.

Os resultados deste estudo têm implicações importantes para a gestão de riscos geotécnicos em Sabará. A definição de limiares de precipitação pode contribuir para o aprimoramento dos sistemas de alerta e monitoramento, permitindo uma resposta mais eficaz e oportuna a eventos de deslizamentos. Recomenda-se a adoção dos valores de precipitação definidos neste trabalho como parâmetro adicional no sistema municipal de alerta, complementando os instrumentos já previstos no Plano de Contingência (PLANCON).

A limitação observada na disponibilidade de registros oficiais sistematizados de movimentos de massa destaca a importância da criação e manutenção de um banco de dados institucional específico, que permita o acompanhamento contínuo e aprimore a precisão de análises futuras.

Em suma, este estudo contribuiu para o conhecimento sobre a relação entre precipitação e movimentos de massa em Sabará-MG, fornecendo subsídios para aprimorar as estratégias de gestão de riscos e promover um desenvolvimento urbano mais seguro e sustentável.

REFERÊNCIAS

AUGUSTO FILHO, Oswaldo. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas-COBRAE. Anais. 1992. p. 721-733.

CARVALHO, Grazielle Anjos. Análise espacial urbano-sócio-ambiental como subsídio ao planejamento territorial do município de Sabará. 2010.

CASTRO, Jeanne Michelle Garcia. Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto. 2006.

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Estações Hidrológicas. Disponível em: <<http://www2.cemaden.gov.br/estacoes-hidrologicas/>>. Acesso em: 19 set. 2024.

COBRAPE. PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO SABARÁ DIAGNÓSTICO, 2014. Disponível em: < <https://cbhvelhas.org.br/plano-municipal-de-saneamento-em-sabara/>>. Acesso em: 20 set. 2024.

DA SILVA, Jaqueline Pugnall. Crescimento urbano de Sabará [MG]: modificação e conservação da cidade segundo seus instrumentos legais de planejamento. Labor e Engenho, v. 4, n. 2, p. 1-16, 2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA . Censo Brasileiro de 2022. Sabará: IBGE, 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sabará – Minas Gerais. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/sabara.html>. Acesso em: 19 set. 2024.

INFANTI JUNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de dinâmica superficial. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (orgs.). Geologia de engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. Cap. 9, p. 131-152.

IPCC. Mudanças Climáticas 2021: A Base da Ciência Física. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Ocupação de encostas. Coord. JÚNIOR, Antenor Rodrigues Barbosa. Elementos de Hidrologia aplicada. Editora Blucher, 2022.

GERSCOVICH, D. M. S. Estabilidade de taludes. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 02 jun. 2024.

GOMES, Guilherme José Cunha; SOBREIRA, Frederico Garcia; CASTRO, Jeanne Michelle Garcia. Uso de técnicas de geoprocessamento no zoneamento de áreas de risco de escorregamento em Ouro Preto–MG. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, p. 21-26, 2007.

LUMB, P. (1975). Slope failures in Hong Kong. Quarterly Journal of Engineering Geology, London, vol. 8, pp. 31-35.

NOGUEIRA, Fernando Rocha. Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal. 2002.

OLIVEIRA, Caroline Farinazzo; GLANZMANN, José Honório. Jornalismo na era da Web 2.0. CES Revista, v. 24, n. 1, p. 97-114, 2010.

PEIXOTO, Isabella. Movimentos de massa: tombamento de blocos, rastejos.... IGEOLÓGICO, 09 jan. 2022. Disponível em: <https://igeologico.com.br/processos-de-dinamica-superficial-movimentos-de-massa/>. Acesso em: 14 jun. 2024.

PEREIRA, G. L. S. Estudo de correlação entre movimentos de massa e precipitação acumulada no município de Ouro Preto (MG). 2024.

PIMENTEL, Luciene. Hidrologia - Engenharia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2015. E-book. ISBN 9788595155510. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595155510/>. Acesso em: 02 jun. 2024.

PORTO, Thiago Bomjardim et al. Correlação entre Pluviosidade e Movimentos Gravitacionais de Massa para o Município de Contagem-MG.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ALEGRE. Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil – PLANCON. Alegre, 2026.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SABARÁ. Diagnóstico geotécnico do município de Sabará-MG. 2021. Disponível em: <DIAGNOSTICO_SABARA (1).pdf>. Acesso em: 24 set. 2024.

QUINTA-FERREIRA, Mário; LEMOS, Luís JL; PEREIRA, Luís. Influência da precipitação na ocorrência de deslizamentos em Coimbra, nos últimos 139 anos. Geotecnia, v. 104, p. 17-30, 2005.

SABARÁ. Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil. Plano de Contingência Municipal (PLANCON) de Sabará. Sabará: COMPDEC, 2023. 149 p. (Lei Municipal n.º 2.086/2015; Decreto n.º 1.579/2015). Revisão 1.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Sabará – MG. Belo Horizonte: CPRM, 2015. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/14975>. Acesso em: 10 dez. 2024.

STEINKE, Ercília Torres. Climatologia fácil. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 10 jul. 2024.

TATIZANA, CELSO et al. Modelamento numérico da análise de correlação entre chuvas e escorregamentos aplicado às encostas da Serra do Mar no município de Cubatão. In: En Anais do Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. 1987. p. 237-248.

TOMINAGA, Lídia Keiko. Desastres naturais: por que ocorrem. Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, p. 197, 2009.

TUCCI, Carlos EM et al. Hidrologia: Ciência e Aplicação, 3ª edição. Porto Alegre, Editora da UFRGS/ABRH, 2004.

VARNES, D. J. (1978). Landslides Types and Processes. In Landslides and Engineering Practice. E.B. Eckel (ed). Special Report n° 29, Highway Research Board, p.20-47.

APÊNDICE A – PANORAMA DOS EVENTOS DE MOVIMENTO DE MASSA DO MUNICÍPIO DE SABARÁ

ITEM	DATA	BAIRRO	RUA	FONTE
1	05/12/2009	Morro da Cruz	-	Extra
2	17/12/2011	Morro da Cruz / São Francisco / General Carneiro / Fátima	Vera Cruz / Zilda Caldeira / Divinópolis e Coqueiros / Pintangui e Santa Luzia	O TEMPO
3	02/01/2012	Passarela na entrada de Sabará	-	G1
4	25/12/2013	Adelmolândia	Colibri	Estado de Minas
5	29/11/2014	Adelmolândia	-	G1
6	14/12/2014	Borba Gato	Inácio Dias	Estado de Minas
7	16/01/2016	Castanheiras	-	G1
8	16/01/2016	Castanheiras	Catarina de Freitas	Estado de Minas
9	16/01/2016	Castanheiras / Nossa Senhora de Fátima	-	Folha de Sabará
10	17/01/2016	Nossa Senhora de Fátima	Carlos Chagas	G1
11	18/01/2016	Castanheiras	-	Estado de Minas
12	18/01/2016	Nossa Senhora de Fátima	Carlos Chagas	G1
13	05/01/2018	Cabral	Embaúba	Prefeitura de Sabará
14	09/03/2018	Morro São Francisco	-	Estado de Minas
15	09/03/2018	Morro São Francisco	Costa Rodrigues	Hoje em Dia
16	31/12/2018	Sobradinho (MGC-262) / Itacolomi	-	G1
17	31/12/2018	Itacolomi	-	Prefeitura de Sabará
18	31/12/2018	MGC-262	-	Estado de Minas
19	07/01/2022	General Carneiro	-	R7
20	07/01/2022	Rosário I	Salvador Correia de Sá	G1
21	08/01/2022	General Carneiro / Vila Rica	-	Estado de Minas
22	17/02/2022	Centro Histórico	Pereira Vieira	Folha de Sabará

ITEM	DATA	BAIRRO	RUA	FONTE
23	17/02/2022	Paciência	Avenida Nova	Prefeitura de Sabará
24	18/02/2022	Centro	-	GloboPlay
25	11/12/2022	Centro	Avenida Nova	Estado de Minas
26	12/12/2022	Centro	Pereira Vieira / Avenida Nova	G1
27	21/12/2022	Nossa Senhora de Fátima / Vila Eugênio Rossi	-	Estado de Minas
28	26/10/2023	Nações Unidas	-	G1
29	13/01/2024	Nossa Senhora de Fátima	Estrela do Sul	R7
30	26/03/2024	Nossa Senhora de Fátima	Coqueiros	R7
31	13/11/2024	Itacolomi	-	O Tempo
32	27/12/2024	Vila São José	-	Itatiaia
33	27/12/2024	Vila São José	-	Folha de Sabará
34	27/12/2024	General Carneiro	Ipatinga	Folha de Sabará
35	27/12/2024	Vila São José	-	Estado de Minas
36	27/12/2024	Vila São José	-	G1
37	28/12/2024	Alvorada (MGC-262)	-	Estado de Minas
38	28/12/2024	Alvorada (MGC-262)	-	Correio Braziliense
39	30/12/2024	Alvorada (MGC-262)	-	O Tempo