

Geociências

Investigação da relação chuva-deslizamentos no município de Mauá - SP para obtenção de limiares críticos deflagradores de deslizamentos

Investigation of the relationship between rain and landslide in the municipality of Mauá - SP to obtain critical thresholds that trigger landslides

Aloa Dandara Oliveira Damasceno¹, Andrea de Oliveira Cardoso¹,
Cláudia Francisca Escobar de Paiva¹

¹ Universidade Federal do ABC, Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Santo André, SP, Brasil

RESUMO

O município de Mauá, Região do Grande ABC Paulista, está entre os cinco municípios do estado de São Paulo com situação mais crítica em relação ao número de registros de acidentes geológicos, o que o torna vulnerável às ocorrências de precipitação intensas e persistentes. Este estudo investiga a relação entre eventos de precipitação e ocorrências de deslizamentos neste município a partir da caracterização geológico-geotécnica de amostras representativas dos horizontes mais suscetíveis aos processos geodinâmicos da região, dos padrões de precipitação e da frequência de deslizamentos. Verificou-se que chuvas de diferentes intensidades e durações podem acarretar o aumento do número de ocorrências de deslizamentos. Além disso, as características geológico-geotécnicas dos horizontes pedológicos da região (micaxisto e granito) e as intervenções antrópicas contribuem para a magnitude da suscetibilidade aos processos geodinâmicos e correlatos. As envoltórias de escorregamentos obtidas, para diferentes critérios de precipitação diária e acumulada anterior à ocorrência, mostraram que quanto maior o valor acumulado de precipitação, menor será a intensidade da precipitação diária necessária para deflagrar os deslizamentos. Os critérios indicaram o total diário de 35 mm como o mais restritivo, independentemente do valor acumulado em dias anteriores às ocorrências, sendo este validado com os casos de deslizamentos recentes ocorridos na região, não considerados na calibração da equação de ajuste. Além disso, em períodos sem chuva nos dias anteriores, os deslizamentos tenderão a ocorrer com precipitações superiores a 70 mm no dia do evento, podendo ser observada uma elevação deste valor com o aumento do número de dias secos anteriores.

Palavras-chave: Precipitação; Movimento de massa; Envoltórias; Comportamento geomecânico; Região do Grande ABC Paulista

ABSTRACT

The Mauá city, Region of Grande ABC Paulista, is among the five municipalities of the São Paulo state with the most critical situation in relation to the number of records of geological accidents, which makes it vulnerable to intense and persistent rainfall. This study investigates the relationship between precipitation events and landslide occurrence in this municipality from the geological-geotechnical characterization of samples representative of the horizons most susceptible to the region's geodynamic processes, precipitation patterns and the frequency of landslides. It was found that rains of different intensities and durations can increase the number of landslides. In addition, the geological and geotechnical characteristics of the region's pedological horizons (residual soil from mica schist and granite) and anthropic interventions contribute to the magnitude of susceptibility to geodynamic and related processes. The curves of landslides obtained, for different criteria of daily and accumulated precipitation before the occurrence, showed that the greater the accumulated value of precipitation, the lower the intensity of daily precipitation necessary to trigger the landslides. The criteria indicated the daily total of 35 mm as the most restrictive, regardless of the value accumulated in days prior to the occurrences, which was validated with the cases of recent landslides occurred in the region, not considered in the calibration of the adjustment equation. In addition, in periods without rain in the previous days, the landslides will tend to occur with rainfall greater than 70 mm on the day of the event, an increase of this value may be observed with the increase in the number of previous dry days.

Keywords: Precipitation; Mass movement; Adjustment curve; Geomechanical behavior; Region of Grande ABC Paulista

1 INTRODUÇÃO

Os processos geodinâmicos, dentre eles os deslizamentos, são condicionados por processos naturais que podem ser desencadeados e intensificados por agentes deflagradores, como os eventos extremos de chuva e a ação antrópica. O crescimento urbano observado no Brasil a partir da década de 1950 e a falta de moradias para a população mais pobre levaram à ocupação de áreas ambientalmente frágeis. As regiões Sudeste e Sul possuem, de acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED - UFSC, 2013), a maior porcentagem de registros de movimentos de massa no período de 1990 a 2012, devido as suas características naturais (geomorfológicas, geológicas e clima) e interferências antrópicas no meio físico. A maior frequência destes ocorre nos meses mais chuvosos (novembro a março), com destaque para janeiro e fevereiro.

A influência da intensidade e frequência da precipitação no desencadeamento dos deslizamentos por meio do processo de infiltração e saturação do solo é destacada por diversos autores, através da comparação do

comportamento geomecânico do solo nos seus estados natural e saturado (BEZERRA; COUTINHO, 2018; TAVARES et al., 2018, entre outros).

De acordo Tatizana et al. (1987a), a precipitação pode influenciar os processos de instabilização em uma encosta de forma progressiva ou instantânea. As chuvas de baixa intensidade e longa duração contribuem para o processo de saturação do solo, que se desenvolve por meio das frentes de saturação. Já as chuvas de alta intensidade e curta duração, além de favorecerem o escoamento superficial, podem se associar a fenômenos como a erosão e o desenvolvimento de linhas de fluxos (forças de percolação) que colaboram para a ocorrência de deslizamentos em encostas mais suscetíveis a esses movimentos. Dessa forma, a intensidade e a frequência das precipitações possuem um papel significativo na deflagração dos deslizamentos através do processo de saturação do solo.

Vários autores, entre eles, Parizzi et al. (2010), Castro et al. (2012), Oliveira et al. (2017) e Metodiev et al. (2018), enfatizaram que, a precipitação acumulada em ambientes urbanos não foi, em muitos casos, o agente condicionante dos processos geodinâmicos e correlatos, sendo, porém, o agente deflagrador, devido a significativa interferência antrópica.

Várias pesquisas demonstram a importância da abordagem local para a investigação da relação entre a precipitação e os deslizamentos, devido às diferentes características meteorológicas, geológicas e geomorfológicas observadas no território brasileiro (entre elas, IDE; MACEDO, 2005, BANDEIRA; COUTINHO, 2015; SOARES; RAMOS FILHO, 2015; MENDES et al., 2018). Neste sentido, ressalta-se a existência de diferentes propostas de procedimentos metodológicos na investigação da influência da precipitação no desencadeamento dos escorregamentos (TATIZANA et al., 1987a, b; PARIZZI et al., 2010; CASTRO et al., 2012; BANDEIRA; COUTINHO, 2015; CALVELLO et al., 2015; MENDES et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2016; METODIEV et al., 2018, entre outros). As escolhas das métricas aplicadas em estudos com este escopo decorrem da disponibilidade e qualidade dos dados que viabilizem a obtenção de resultados eficazes no auxílio

das ações de prevenção e no monitoramento de áreas com maior vulnerabilidade ao processo de deslizamento.

A análise da relação numérica entre precipitação diária e a acumulada em vários dias anteriores a esta, comparando as ocorrências de deslizamentos, visa pontuar o estado de pré-saturação do solo sinalizado pelos valores acumulados anteriores às ocorrências de deslizamentos generalizados (mais de um caso registrado na mesma data) com a precipitação diária correspondente à deflagração dos casos registrados. Assim, é possível estabelecer uma curva de ajuste que considere a relação entre os casos de deslizamentos com precipitação diária e acumulada em dias anteriores, chamada de envoltória de escorregamento por Tatizana et al. (1987a, b). Este tipo de análise empírica pode ser útil na definição de limiares críticos de precipitação relacionados às ocorrências de deslizamentos, sendo necessária uma atualização contínua.

De acordo com a Fundação Geo-Rio (Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro - RJ, 2012), a atualização ou redefinição dos limiares pluviométricos críticos pode ocorrer com base na investigação de no mínimo cinco anos de dados de deslizamentos e de precipitação para a região de estudo.

No estado de São Paulo o ciclo sazonal da precipitação é bem marcante, com inverno seco e verão chuvoso, quando apresenta maior variabilidade, devido aos tipos de sistemas atmosféricos atuantes (mesoescala, sinóticos e intrasazonais), além da influência de fenômenos de variabilidade interanual (REBOITA, 2010), podendo ocorrer períodos extremos com chuvas muito fortes e concentradas em poucos dias, sendo o período com maior incidência de situações de risco relacionados a movimentos de massa. Além disso, observa-se uma tendência de aumento na precipitação na Região Metropolitana de São Paulo associada ao aumento na frequência de dias com precipitações mais elevadas, o que se traduz por eventos de chuvas diárias mais intensas e de menor duração (SILVA DIAS et al., 2013; VALVERDE et al., 2018), o que pode agravar ainda mais as situações de riscos em áreas urbanas mais vulneráveis (BOSCO et al., 2019).

No ano de 2015, foi realizada a revisão dos limiares críticos de precipitação nos Planos Preventivos de Defesa Civil (PPDC) do Estado de São Paulo específicos para escorregamentos, realizando-se uma redução geral em 20 mm no acumulado de três dias, com o objetivo de adequá-los aos estudos de correlação dos índices pluviométricos e ocorrências de escorregamentos e aos alertas emitidos pelo Centro de Monitoramento de Desastres Naturais (CEMADEN) para os 175 municípios abrangidos pelo PPDC estadual (IG, 2017). Como, por exemplo, a Região Metropolitana de São Paulo - SP que teve os seus limiares revistos em caráter experimental na Operação Verão de 2016 - 2017 e redefinidos no PPDC de 2017 - 2018, para 3 dias de precipitação acumulada, o total de 60 mm para a cidade de São Paulo e 80 mm para os demais municípios.

De acordo com o levantamento realizado pelo Instituto Geológico de São Paulo (IG, 2016) de 2000 a 2015, Mauá, Região do Grande ABC Paulista, está entre os cinco municípios do estado de São Paulo com situação mais crítica em relação ao número de registros de acidentes geológicos e em terceiro lugar de criticidade em relação aos óbitos causados pelos processos geodinâmicos, sendo classificado, entre os municípios, como de alta frequência de acidentes geológicos. Comparativamente aos demais municípios da Região do Grande ABC destaca-se em termos de elevados limiares de precipitação extrema e número de eventos de deslizamentos, conforme observado no estudo de Valverde et al. (2018), principalmente no verão. Além disso, os mesmos autores notaram um aumento na frequência de precipitação intensa em Mauá devido às tendências positivas no número de dias com precipitação acima de 80 mm e na precipitação máxima diária no mês, para o período de 1999 a 2014.

Segundo Fernandes e Valverde (2017), o bairro do Jardim Zaíra no município de Mauá apresenta uma elevada incidência de ocorrências de deslizamentos no período de 2010 a 2014 e possui uma alta vulnerabilidade social e econômica aos impactos de precipitações extremas.

Dada a grande suscetibilidade do município de Mauá às ocorrências de deslizamentos e seus impactos socioeconômicos na região, são necessários estudos que busquem a identificação e a compreensão da relação chuva-deslizamentos. Assim, este estudo tem como objetivo investigar a relação entre eventos de precipitação e ocorrências de deslizamentos no município de Mauá - SP a partir da caracterização geológico-geotécnica de amostras representativas dos horizontes mais suscetíveis aos processos geodinâmicos da região, dos padrões de precipitação e da frequência de deslizamentos. Além disso, identificar limiares críticos de precipitação associados às ocorrências de deslizamento considerando as características do município.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, os dados de ocorrências de deslizamentos foram coletados junto à Defesa Civil do município de Mauá e em notícias de jornais no período de janeiro de 2010 a março de 2018. Foi realizada uma pré-filtragem destes registros de deslizamentos por meio da análise da descrição dos pareceres técnicos ou descrição das notícias, com o objetivo de selecionar as ocorrências de deslizamentos com maior influência da precipitação (IDE, 2005; CASTRO, 2006).

Na etapa de espacialização dos casos de deslizamentos por meios do uso dos endereços registrados nas fichas de ocorrências da Defesa Civil e notícias de jornais locais buscou-se georreferenciar os pontos destas ocorrências.

Neste trabalho, foram consideradas as áreas de risco 3 e 4 presentes no PMRR (IPT, 2012), Carta Geotécnica de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa (CPRM, 2015) e os locais com maior frequência de deslizamentos, no período de janeiro de 2010 a março de 2018.

Durante os trabalhos de campo para o reconhecimento da área de estudo, foram realizadas coletas superficiais de amostras deformadas do horizonte que

recebe as maiores intervenções (horizonte C) para descrição, caracterização e classificação dos solos. Posteriormente, foram coletadas amostras deformadas representativas dos horizontes de micaxisto (amostra 01M, Jardim Zaíra, coordenadas georreferenciadas 23.646026 S e 46.437914 W) e de granito (amostra 07G, Jardim Itapark Velho, coordenadas georreferenciadas 23.68122 S e 46.43184 W).

As amostras deformadas foram submetidas aos ensaios de caracterização preconizados pelas Normas Brasileiras da ABNT. Elas foram inicialmente preparadas segundo a NBR-6457/2016 (Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização) e, em seguida, ensaiadas em conformidade com as normas NBR-7181/2016 (Solo - Análise Granulométrica), NBR-6459/2016 (Solo - Determinação do Limite de Liquidez) e NBR-7180/2016 (Solo - Determinação do Limite de Plasticidade de Solos).

Posteriormente, as amostras foram classificadas nos sistemas SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos) e HRB (*Highway Research Board*), além de serem submetidas ao sistema classificatório MCT (Miniatura Compactada Tropical) e MCT-M (Miniatura Compactada Tropical e Miniatura Compactada Tropical Modificada), de acordo com Nogami e Villibor (1995), Villibor e Nogami (2009) e Marson (2004).

Assim, através da caracterização e classificação do solo, buscou-se inferir o comportamento geomecânico das amostras coletadas com a expectativa de contribuir para a compreensão da suscetibilidade da região aos processos geodinâmicos.

Para realizar a análise dos padrões de precipitação no Município de Mauá e da relação dos deslizamentos com os episódios de precipitação, foram utilizados os dados de precipitação da estação pluviométrica PB Zaíra (código E3-157, período de 1999 a 2016), disponibilizada pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), por ser a série com maior proximidade às áreas com elevada incidência de deslizamentos, com maior período de registro recente. Os dados diários faltantes

foram preenchidos utilizando dados de estações pluviométricas vizinhas, através do método de regressão linear múltipla. Foram consideradas as estações vizinhas do DAEE que apresentaram maiores correlações e período de sobreposição. Foi também utilizado o mesmo critério e metodologia para o preenchimento do ano de 2017, com o uso das estações do CEMADEN, período de 2014 a 2017. Para esse período foi obtida a sazonalidade da precipitação mensal, a partir da média dos acumulados mensais e a média mensal do número de dias com chuva.

Com base na metodologia de Tatizana et al. (1987 a, b), utilizada por diferentes autores no estudo da relação entre a precipitação e deslizamentos isolados ou generalizados no território brasileiro (IDE; MACEDO, 2005; CASTRO et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2016; METODIEV et al., 2018, entre outros), os dados de ocorrências de deslizamentos selecionados nesta etapa do trabalho foram associados à precipitação diária e à acumulada de chuvas em vários dias anteriores, sendo testados acumulados em diferentes períodos.

A partir dos dados obtidos na análise dos gráficos de dispersão dos dias de chuva com e sem deslizamento, para até 5 dias de chuva acumulada que influenciam na deflagração dos deslizamentos no município, foram testados diferentes critérios de precipitação diária e acumulada buscando-se o obter o melhor ajuste da curva (envoltória de escorregamentos) que expressa a melhor relação numérica entre as ocorrências de deslizamentos e os índices pluviométricos diários e acumulados da região de estudo, conforme Tatizana et al. (1987 a, b).

Por fim, para validar o ajuste através da envoltória, foram acrescentados casos recentes de deslizamentos no município de Mauá, possivelmente ocasionados pela chuva, ocorridos entre dezembro de 2018 e março de 2019, os quais não foram considerados no ajuste da equação. Estes novos casos, além de serem noticiados em jornais locais, com mais de uma ocorrência de deslizamentos na mesma data, foram relacionados a danos humanos e socioeconômicos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Área de estudo

O município de Mauá pertence à região do Grande ABC Paulista do estado de São Paulo tem 61.909 km², com 12,44 km² do seu território assentados em áreas de proteção e recuperação dos mananciais da sub-bacia do Rio Guaió, da Bacia Hidrográfica Billings (IBGE, 2011). Pertence à zona subtropical úmida do território brasileiro (clima tipo Cwa), podendo ser chamado de clima subtropical úmido com inverno seco e verão quente (ALVARES et al. 2014). Segundo os dados do último censo de 2010, possui 417.064 habitantes, densidade demográfica de 6.741,41 hab./km², taxa de crescimento de 14,83% (entre 2000 e 2010), e IDH de 0.766 (IBGE, 2011).

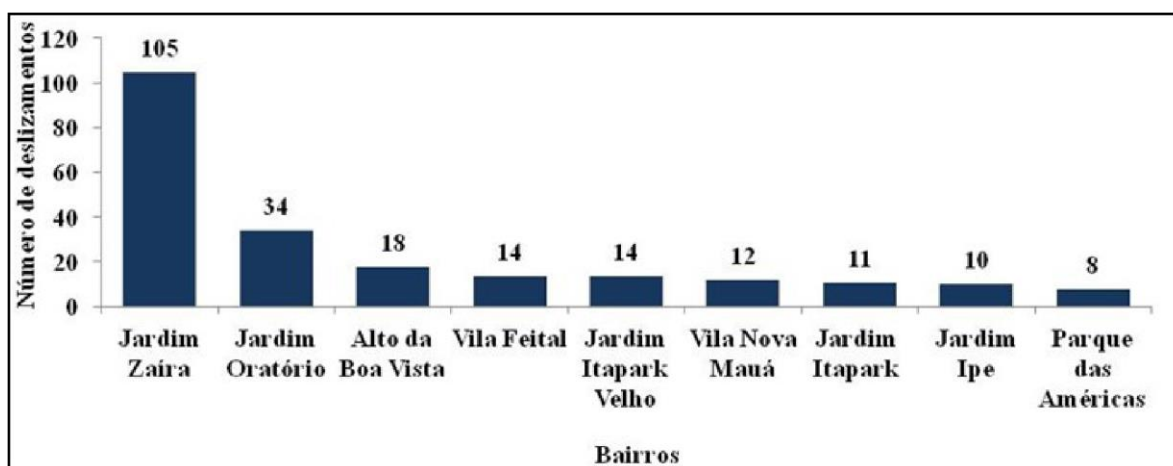
Segundo o mapeamento do uso e ocupação do solo, realizado pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (Emplasa, 2006), Mauá apresenta 36,19% do seu território urbanizado, sendo 3,45% das habitações presentes no município classificadas como favelas (moradias irregulares, casas de madeira ou alvenaria e barracos, dispostos de maneira densa e desordenada com pouca infraestrutura, em geral em áreas ambientalmente frágeis).

As geologias predominantes no município de Mauá, verificadas a partir dos mapas elaborados no mapeamento das áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e inundações no município de Mauá (CPRM, 2015), são: Aluviões fluviais (Qa); Argilas, areias e cascalhos (TQa); Granitos e granodioritos (pEAmgg); Migmatitos, gnaisses graníticos e gnaisses miloníticos (pEAmg); Micaxisto e/ou meta-arenito e xistos miloníticos (pEAmx); e Anfibolitos metabasitos (pEAam). E o relevo é composto por áreas de planícies e terraços fluviais, colinas, morrotes, morros baixos e altos.

Na área de estudo observa-se que os solos dos horizontes de micaxisto estão presentes nos bairros Jardim Zaíra, Jardim Oratório e Alto da Boa Vista, onde foram

registrados 157 dos casos de deslizamentos analisados no período de janeiro de 2010 a março de 2018. Já os solos dos horizontes de granito estão presentes nos bairros que apresentaram menor frequência de deslizamentos, comparados às áreas de maior concentração de ocorrências, como por exemplo, Jardim Itapark, Jardim Itapark Velho e Parque das Américas, onde foram registrados 32 casos de deslizamentos (Figura 1).

Figura 1 – Distribuição das ocorrências de deslizamentos nos nove primeiros bairros com mais registros, de janeiro de 2010 a março de 2018 no município de Mauá – SP

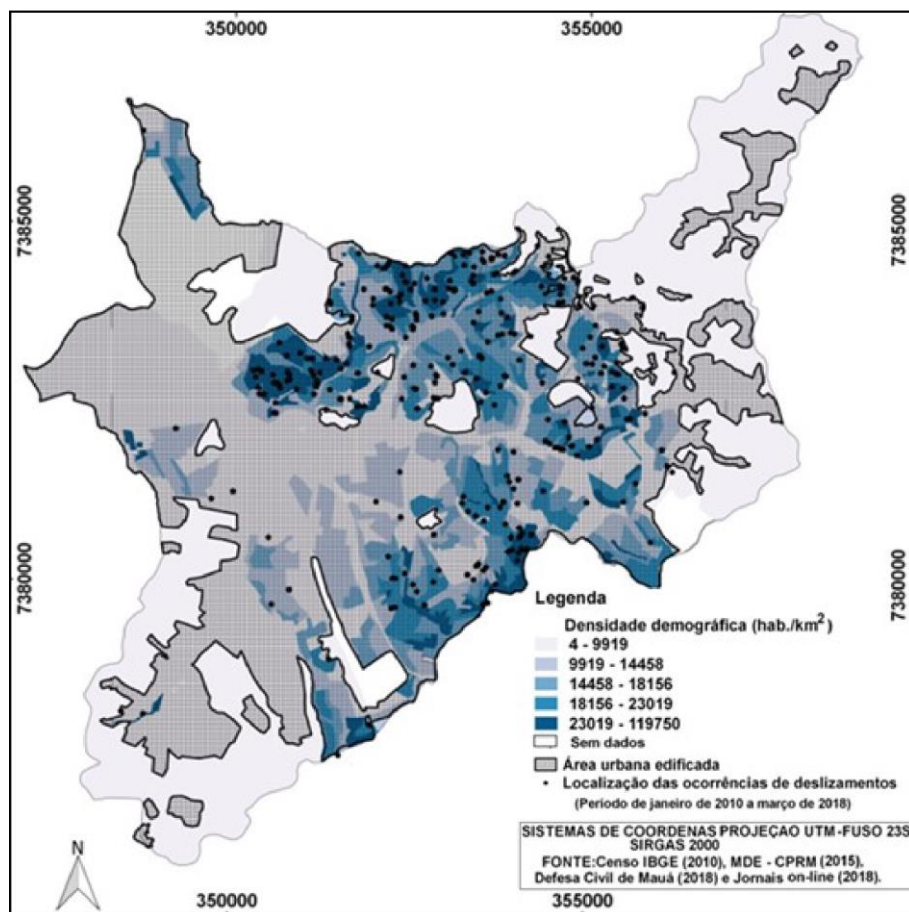


Fonte: Elaborado pelos autores

Os bairros Jardim Zaíra e Jardim Oratório, no período de janeiro de 2010 a março de 2018, apresentam o maior número de ocorrências de deslizamentos (Figura1). Observa-se que o Jardim Zaíra destaca-se em número de ocorrências, chegando a 105 casos registrados, comparativamente ao Jardim Oratório, que está na segunda posição com 34 casos. Estas áreas são classificadas na Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa (CPRM, 2015) como regiões de alta e média, caracterizadas por condições geomorfológicas de alta a média declividade, relevo de morro alto/baixo e geologia predominante de micaxisto (solos saprolíticos micáceos, sendo pouco espessos nas áreas de maior declividade), onde se observou uma maior concentração da distribuição espacial

das 339 ocorrências selecionadas, concentrando-se na área urbanizada e com maior densidade demográfica (Figura 2).

Figura 2 – Densidade demográfica e localização das ocorrências de deslizamentos, Mauá-SP



Fonte: Elaborado pelos autores

Devido à recorrência de deslizamentos graves, a cidade de Mauá foi incluída na lista dos 821 municípios críticos selecionados pelo governo federal para receber apoio governamental prioritário para a implantação das ações previstas na Lei Federal nº 12.608/12 (Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC) de gestão de risco e resposta a riscos e desastres, por apresentar elevadas quantidades de pessoas desalojadas/desabrigadas e registro de óbitos no período de 1991 a 2010 (BERTONE, MARINHO, 2013; CEPED - UFSC, 2013).

De acordo com o Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR) de escorregamentos e solapamentos de margens de córregos para o município de Mauá (IPT, 2012), o município de Mauá possuía em 2012 um total de 30 áreas de risco, com um total de 103 setores de risco. Destes, 15 foram classificados com risco muito alto devido a apresentar, entre outros fatores de risco, cicatrizes de escorregamentos, feições erosivas, alta intervenção antrópica e maior probabilidade de processos de instabilização (escorregamentos em encostas ocupadas e solapamento de margens de córregos) durante episódios de chuvas intensas e prolongadas.

As ações municipais de prevenção e mitigação aos impactos dos deslizamentos nestas áreas utilizam, entre outros fatores, o monitoramento dos dados pluviométricos durante a Operação Guarda-chuva (de dezembro a primeira quinzena de abril) sendo instaurado o nível de atenção quando observado valores de precipitação, maiores ou iguais a 60 mm em 3 dias ou registro de chuvas intensas de longa duração de qualquer intensidade (Decreto municipal nº 8.601, 2019).

Nos trabalhos de campo realizados no município de Mauá foi possível observar algumas das características de uso e ocupação do solo como: a presença de moradias próximas à base ou crista do talude/encosta, o lançamento inadequado de lixo e de águas servidas; a execução de cortes/aterros indevidos no terreno, entre outros. Na Figura 3 são mostradas formas de interferências antrópicas que podem contribuir para a deflagração ou potencialização dos deslizamentos e danos socioeconômicos e ambientais.

Figura 3 – Visualização a partir da Rua Monte Sinay, Jardim Zaíra, Mauá - SP, fundo de vale com forte adensamento de moradias de alvenaria e madeira, presença de vegetação e lançamento de água servida



Fonte: Elaborado pelos autores

3.2 Caracterização e classificação dos solos representativos de horizontes presentes nas áreas de alta à baixa frequência de deslizamentos

Considerando a frequência de deslizamentos obtida no período analisado, de janeiro de 2010 a março de 2018, foram coletadas amostras representativas de áreas com maior frequência de deslizamentos, embasamentos de micaxisto (01M), e de áreas de menor frequência, embasamentos de granito (07G).

A descrição geotécnica *in situ* das amostras representativas das geologias presentes no município de Mauá e confirmadas, posteriormente, em laboratório através da análise tátil e visual (Figura 4), apontou que as amostras pertencentes ao embasamento geológico de micaxisto são solos silte arenosos, destacando a presença marcante de mica na amostra 01M, conferindo a essa amostra o comportamento típico de solos micáceos. Nas amostras representativas do

embasamento geológico de granito (07G) foram identificadas frações predominantes de areia e silte.

Observa-se também na Figura 4, a estrutura heterogênea de campo dos horizontes saprolíticos residuais de micaxisto (Figura 4a) e granito (Figura 4b).

Figura 4 – Fotos das amostras de solo coletadas no Município de Mauá – SP, representativas dos embasamentos geológicos de micaxisto (a) e granito (b)



Fonte: Elaborado pelos autores

De acordo com a análise granulométrica (Tabela 1), ambas amostras apresentam uma predominância de partículas finas e médias e baixo índice de plasticidade.

Segundo a Classificação SUCS (Tabela 2), as amostras 01M e 07G foram classificadas como areias siltosas (SM). Desta forma, as amostras pertencem ao segundo grupo de solos com menor resistência da ação da água: areias siltosas (SM), de acordo com a hierarquização da erodibilidade dos solos proposta por Gray e Sortir (1996 apud PAIVA, 2004). Já de acordo com a Classificação HRB, as amostras foram categorizadas no grupo dos solos siltosos.

Tabela 1 – Caracterização geotécnica das amostras coletadas e representativas dos compartimentos geológicos do Município de Mauá - SP

Resultados – Ensaio de Caracterização Geotécnica									
Amostras	FRAÇÃO FINA (%)	AREIA (%)			P (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	W_{nat}
	A + S	F	M	G					
01M	48,17	51,78	0,06	0,00	0,00	42,79	36,05	6,75	15,36
07G	38,72	36,28	22,31	2,68	0,00	-	-	NP	17,68

Onde: A - Argila; S - Silte; Areia F - Areia Fina; Areia M - Areia Média; Areia G - Areia Grossa; P - Pedregulho; LL - Limite de Liquidez; LP - Limite de Plasticidade; IP - Índice de Plasticidade; NP - Não Plástico; W_{nat} - Teor de Umidade Natural

Tabela 2 – Classificação geotécnica das amostras coletadas no município de Mauá - SP

Amostra N°	SUCS	HRB
01M*	SM	A5
07G**	SM	A4

Onde: SM: areia siltosas - mistura de areia e silte; A-4: solos siltosos não plástico ou moderadamente plástico; A-5: solos siltosos de caráter diatomáceo ou micáceo. Obs.: *Micaxisto e/ou meta-arenitos de médio grau metamórfico, inclui também xistos em zonas de movimentação tectônica; ** Granodioritos normais ou em partes gnáissicos, equigranulares ou porfiróides

De acordo com os parâmetros da classificação MCT (Miniatura Compactada Tropical), Tabela 3, a amostra 01M pertence ao grupo NS', que reúne solos siltes caoliníticos e micáceos, siltes arenosos e siltes argilosos não-lateríticos; e a amostra 07G pertence ao grupo LA', laterítico arenoso. Na classificação MCT-M (Miniatura Compactada Tropical Modificada, que inclui os solos transicionais) a amostra 01M continua a pertencer ao grupo NS'. Já a amostra 07G passa a pertencer ao grupo TA' que engloba os solos transicionais arenosos, sendo mais condizente às características texturais e estruturais observadas em campo por meio de procedimentos de identificação visual e tátil e, posteriormente, confirmados em laboratório.

Dos valores obtidos de perda de massa por imersão - Pi (%), juntamente com as observações do comportamento do solo compactado imerso em água, foi

possível verificar um potencial de erodibilidade diferente nas amostras analisadas, apresentando a amostra de micaxisto (01M) uma baixa resistência à ação da água (Tabela 3).

Tabela 3 – Parâmetros classificatórios da metodologia MCT obtidos para as amostras analisadas, amostra 01M-Micaxisto e 07G-Granito

Amostra	Parâmetros Classificatórios MCT				Classificação	
	c'	e'	Pi (%)	d'	MCT	MCT-M
01M	1,05	1,5	296,0	30,55	NS'*	NS'***
07G	1,0	1,1	105,0	48,0	LA'*	TA'***

Nota: Classificação MCT: *Próximo ao grupo NA'; Classificação MCT-M: **Próximo ao grupo TA'; Classificação MCT-M: ***Próximo ao grupo LA'.

Onde:

c': coeficiente de deformabilidade;

$$e' = \sqrt[3]{\frac{P_i}{100} + \frac{20}{d'}}$$

Pi: Perda de massa por imersão com fator de correção igual 1;

d': coeficiente angular da curva de compactação referente à energia de 12 golpes no ensaio de Mini-MCV.

Damasceno et al. (2018), ao compararem o comportamento de solos de mesmo embasamento geológico (dos municípios de Santo André e Ribeirão Pires-SP, pertencentes à Região do Grande ABC) e com mesma classificação MCT das amostras 01M e 07G observaram, por meio do ensaio de perda de massa por imersão modificado, que a desagregação das amostras indeformadas (nas condições estruturais de campo), quando submersas em água, foi maior na condição de teor de umidade inicial seco. Ao compararem as perdas de massa por imersão entre as amostras, o granito apresentou baixos valores para perda de massa por imersão, independente da condição do teor de umidade inicial, isto é, maior resistência à ação da água.

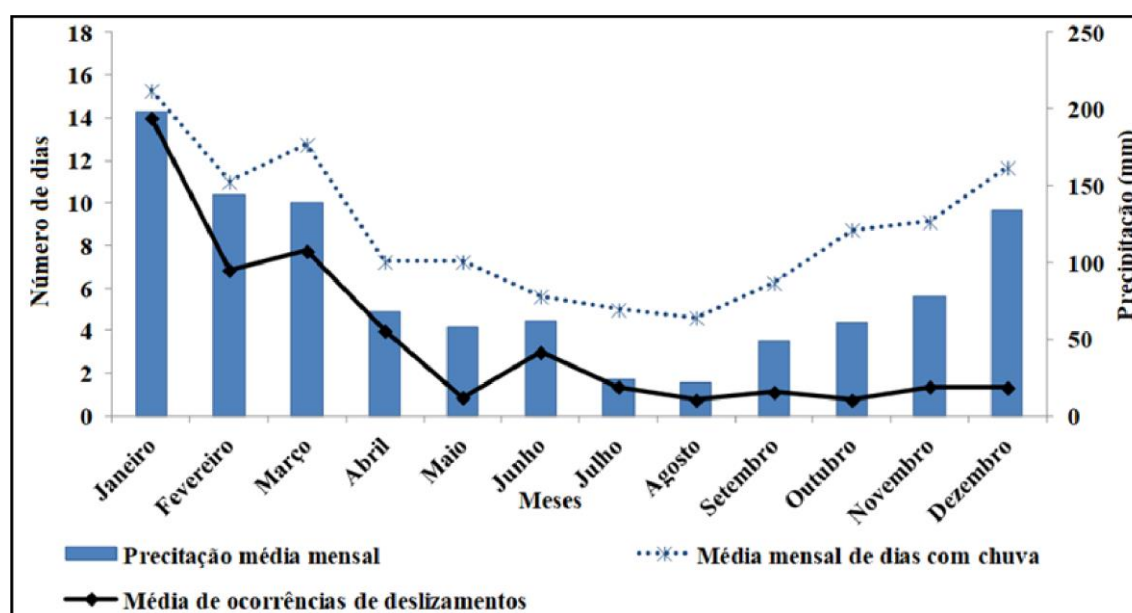
Ressalta-se que solos saprolíticos silto-arenosos (grupo NS') compactados, segundo Nogami e Villibor (1995), possuem elevada erodibilidade e expansibilidade, elevado coeficiente de absorção e média permeabilidade. Em condições naturais, possuem baixa massa específica aparente seca e, em geral,

têm baixa capacidade de suporte e são colapsáveis, apresentando erodibilidade média a elevada em taludes de corte. Estes fatores estão relacionados com peculiaridades deste tipo de solo, que explicam, também, o alto grau de erodibilidade observado durante os ensaios de perda de massa por imersão, para todos os teores de umidade avaliados, principalmente os mais secos.

3.3 Padrão chuva e deslizamento

Há uma relação entre o padrão sazonal de ocorrência de deslizamentos e de precipitação em Mauá, o que pode ser observado através da Figura 5, que destaca um período seco no inverno, seguindo de um aumento gradativo de precipitação durante a primavera, atingindo os maiores totais de precipitação mensal no verão, quando também verifica-se o pico abrupto de ocorrências de deslizamentos no mês de janeiro, devido à influência da chuva antecedente (início da estação chuvosa). Estes meses, com maiores totais de precipitação, são também os de maior número de dias com chuva.

Figura 5 – Comparação entre as médias mensais de deslizamentos, dias com chuva e de acumulado mensal de precipitação para Mauá - SP, no período de 2010 a 2017



Fontes: Elaborado pelos autores

Nota-se que essa flutuação da quantidade de registros de deslizamento em relação aos períodos secos e chuvosos, pode estar relacionada à influência do grau de saturação do solo no seu comportamento geomecânico, apontado pelo pico que ocorre em janeiro nos registros de deslizamentos defasado em relação ao início do período chuvoso. Devido à baixa permeabilidade dos horizontes saprolíticos, o processo de saturação do solo por meio da infiltração da água da chuva, após o período de estiagem, ocorre de forma lenta (JACINTHO et al., 2012). Entretanto, devido à heterogeneidade desses horizontes, podem existir descontinuidades (estruturas reliquias) que criam caminhos favoráveis à infiltração da água da chuva, o que acarreta, em alguns casos, a saturação mais rápida do solo.

Desta forma, nota-se na comparação dos padrões de deslizamentos e precipitação, no período de janeiro a dezembro de 2010 a 2017, a possível influência da condutividade hidráulica do solo na distribuição da frequência dos casos de deslizamentos ao longo dos meses, devido ao avanço da frente de saturação do solo. Assim, o solo saturado torna-se mais suscetível à deslizamentos, não necessariamente com a incidência de chuvas extremas, dada à redução da sucção do solo e a diminuição dos parâmetros de resistência ao cisalhamento (WOLLE, 1980 apud TATIZANA et al., 1987a; FUTAI et al., 2012).

3.4 Relação Numérica entre as ocorrências de deslizamentos e eventos de precipitação

Para o período de janeiro de 2010 a março de 2018 foram traçadas envoltórias considerando diferentes critérios de valores de precipitação diária e acumulada, para filtragem dos eventos generalizados considerados (Tabela 4).

As envoltórias possuem uma relação determinada por equação do tipo polinomial, assim como observado por Ide e Macedo (2005) para o município de Campinas-SP. O número de deslizamentos generalizados considerados, obtidos a

partir dos melhores ajustes da envoltória de escorregamentos de 2 a 5 dias acumulados, variam de 11 a 18 eventos.

Destaca-se, em **negrito** na Tabela 4, os critérios com melhores ajustes, tendo em vista o valor mais restritivo de precipitação diária e o maior número de eventos de escorregamentos generalizados.

Dentre os critérios testados e selecionados para analisar a influência da precipitação na deflagração dos deslizamentos em Mauá no período analisado, Tabela 4, observou-se que o maior R^2 foi de 0,66 para 5 dias acumulados de precipitação e o menor foi de 0,54 para 2 e 3 dias acumulados. Esses resultados mostram que a precipitação não foi o principal agente condicionante destes eventos, pois outros fatores, como as características geológicas e geomorfológicas, a magnitude e os tipos das intervenções antrópicas observadas contribuem para a alta variabilidade do conjunto de eventos, que é, parcialmente, explicada através das envoltórias de escorregamentos, com valores de R^2 ligeiramente superiores a 50%.

Tabela 4 – Critérios selecionados para elaboração das envoltórias de escorregamentos para o município de Mauá - SP, de janeiro de 2010 a março de 2018. Destacando-se os números de eventos, os valores de R^2 e a equação de ajuste correspondente

Dias acumulados anteriores	R^2	Equação da envoltória	Critério de precipitação	Número eventos*
2 dias	0,54	$y = 0,003x^2 - 0,9604x + 77,265$	1d \geq 35 ou 2d \geq 55 mm	13
2 dias	0,61	$y = 0,0062x^2 - 1,358x + 86,732$	1d \geq 50 ou 2d \geq 55 mm	11
3 dias	0,54	$y = 0,0029x^2 - 0,8782x + 72,784$	1d \geq 35 ou 3d \geq 65 mm	16
3 dias	0,65	$y = 0,0046x^2 - 1,214x + 87,156$	1d \geq 50 ou 3d \geq 65mm	13
4 dias	0,55	$y = 0,0043x^2 - 1,0645x + 82,155$	1d \geq 40 ou 4d \geq 65mm	18
4 dias	0,62	$y = 0,0052x^2 - 1,2509x + 91,622$	1d \geq 50 ou 4d \geq 70 mm	15
5 dias	0,60	$y = 0,0021x^2 - 0,8018x + 83,349$	1d \geq 40 ou 5d \geq 80 mm	18
5 dias	0,66	$y = 0,0026x^2 - 0,9211x + 91,403$	1d \geq 50 ou 5d \geq 80 mm	16

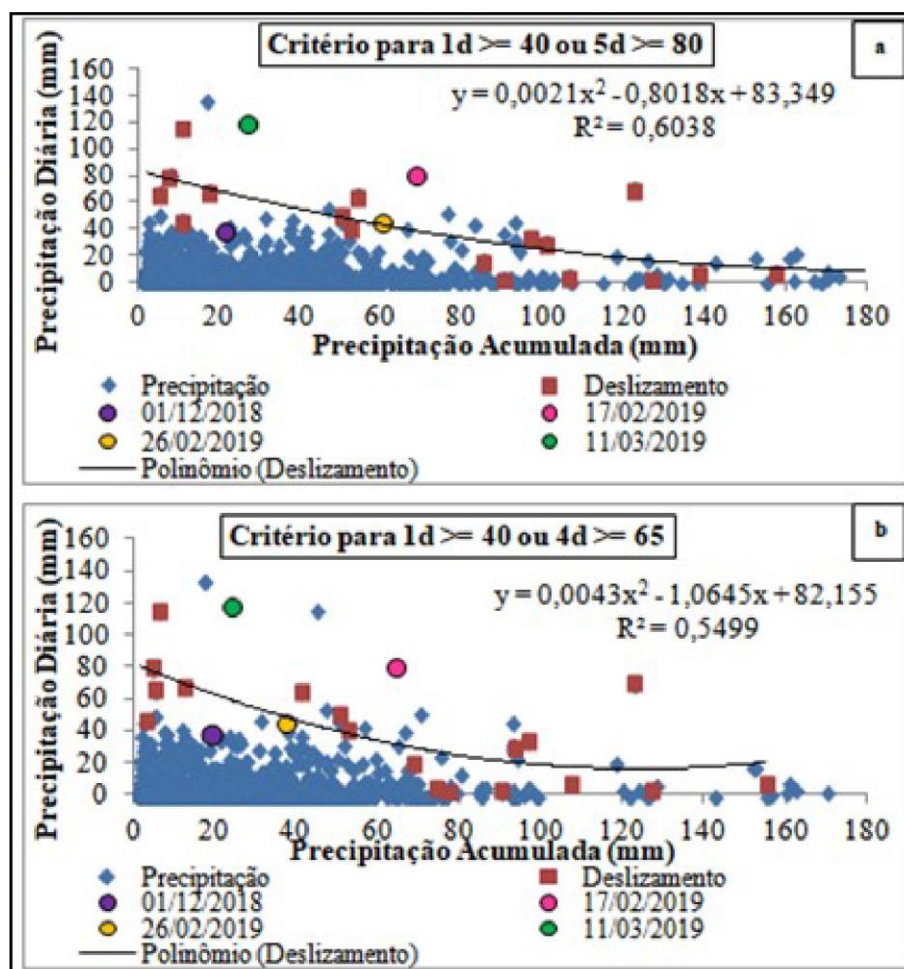
Onde: y é a precipitação diária (mm) e x a precipitação acumulada em dias anteriores (mm); *se refere aos eventos generalizados

Os gráficos das envoltórias de escorregamento, obtidas pela relação entre a precipitação no dia do evento e os acumulados em dias anteriores, destacadas na Tabela 4, estão apresentados nas Figuras 6 e 7.

Pode-se observar que a melhor envoltória foi obtida para o critério de precipitação maior ou igual a 40 mm no dia do evento ou acumulado maior ou igual a 80 mm em 5 dias anteriores ao evento (Figura 6, critério a). Similarmente, em um dos critérios testados para 4 dias, destacam-se os mesmos números de eventos e limiar de precipitação diária, indicando 40 mm no dia do evento ou 65 mm acumulados em 4 dias (Figura 6, critério b).

Para os dias acumulados, usualmente utilizados nos alertas e ações de prevenção da Defesa Civil (3 dias), destacou-se o critério com precipitação diária igual ou maior a 35 mm, ou acumulada em 3 dias maior ou igual a 65 mm, pois apesar de apresentar um menor valor de R^2 , comparado ao critério de chuva diária de 50 mm, possui um maior número de eventos de deslizamentos e é mais restritivo em relação à chuva diária (Figura 7, critério b). O mesmo comportamento foi observado no critério para dois dias que mantém o limiar de 35 mm no dia do evento e apresenta o valor de 55 mm no acumulado, dado o número de ocorrências consideradas (13 eventos), por ser o mais restritivo (Figura 7, critério a).

Figura 6 – Envoltórias de precipitação de 1 dia e acumulada em 4 e 5 dias antecedentes, ajustada aos eventos de deslizamento generalizados no município de Mauá - SP, critérios: a) 1d \geq 40 mm ou 5d \geq 80 mm; b) 1d \geq 40 mm ou 4d \geq 65 mm, com a inclusão de 4 casos de deslizamentos recentes após os ajustes das envoltórias (círculos)

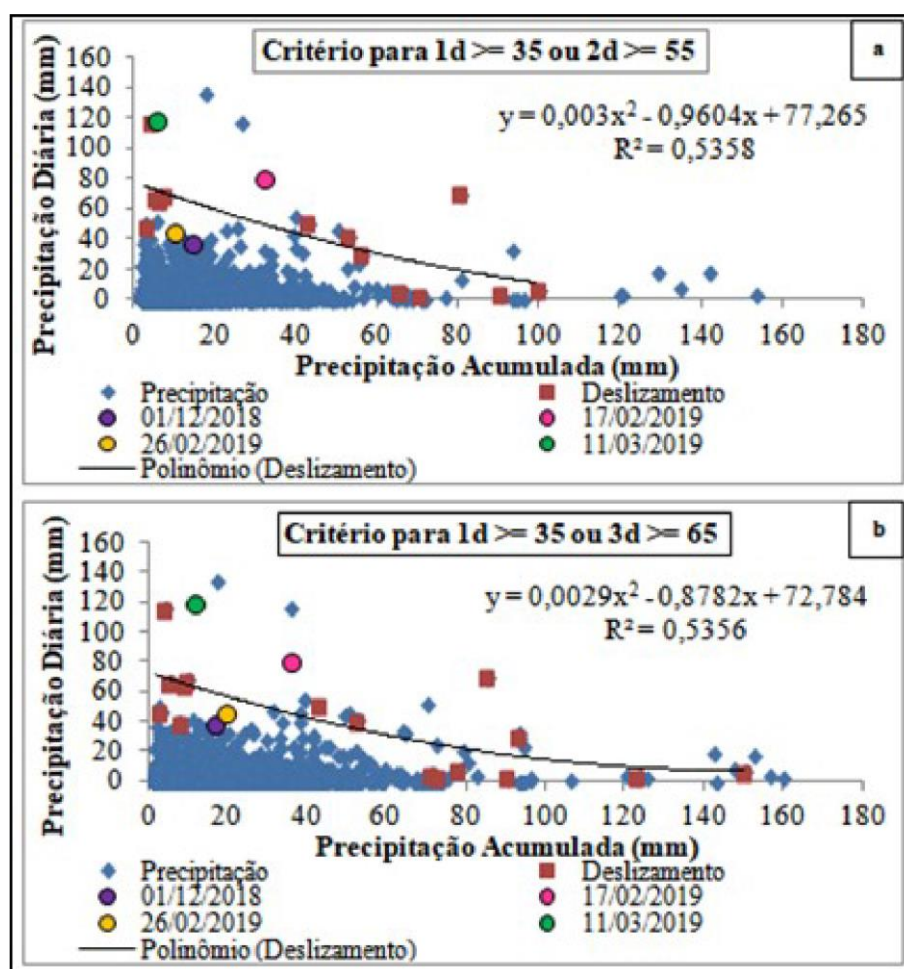


Fonte: Elaborado pelos autores

De um modo geral, a partir das envoltórias apresentadas nas Figuras 6 a 7, pode-se observar que quanto maior o valor acumulado de precipitação, menor será a intensidade da precipitação diária necessária para deflagrar os deslizamentos. Em complemento, em períodos com baixas precipitações acumuladas ou sem chuva nos dias anteriores, os deslizamentos tenderão a ocorrer com precipitações superiores a 70 mm no dia do evento, podendo observar uma elevação deste valor com maior número de dias secos anteriores às ocorrências, conforme demonstrado pelas equações das envoltórias (Tabela 4).

Ressalta-se ainda, que na área acima das envoltórias existe uma tendência a ocorrência de deslizamentos com precipitações diárias mais elevadas, sendo estes valores reduzidos com o aumento dos acumulados em dias anteriores (ocorrências acima e abaixo da curva).

Figura 7 – Envoltórias de precipitação de 1 dia e acumulada em 2 e 3 dias antecedentes, ajustada aos eventos de deslizamento generalizados no município de Mauá - SP, critérios: a) 1d \geq 35 mm ou 2d \geq 55mm; b) 1d \geq 35 mm ou 3d \geq 65 mm, com a inclusão de 4 casos de deslizamentos recentes após os ajustes das envoltórias (círculos)



Fonte: Elaborado pelos autores

Por fim, através das Figuras 6 a 7, é possível notar que os eventos recentes de deslizamentos (indicados pelas datas incluídas nos gráficos), ocorridos após o período considerado no ajuste das envoltórias, apresentam-se agrupados na distribuição de

deslizamentos próximos às linhas de ajuste. Assim, estes casos de precipitação seriam sinalizados como deflagradores de ocorrências de deslizamentos, conforme os critérios destacados anteriormente.

4 CONCLUSÕES

Por meio deste estudo local, foi verificada a importância da caracterização dos padrões de precipitação diária para a compreensão da relação entre as frequências de deslizamento e a precipitação para o município de Mauá - SP. A observação de um ciclo sazonal semelhante reforça a relação existente entre as variáveis, sendo, no entanto, observado uma defasagem na frequência de deslizamentos, indicando a relevância da influência das frentes de saturação. Isso implica que a incidência de chuvas de diferentes intensidades e durações pode acarretar o aumento da suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos.

As características geológico-geotécnicas dos horizontes pedológicos presentes na área com maior frequência de deslizamentos (região de solo de micaxisto) e na área onde há uma menor frequência (solo de granito) contribuem, também, para a magnitude da suscetibilidade aos processos geodinâmicos e correlatos.

Sobre o comportamento geomecânico dos horizontes de micaxisto e granito *in situ*, observa-se que ambos horizontes, considerando a estrutura de campo, apresentam certa resistência à ação da água. Entretanto, considerando, os aterros lançados (caso típico das alterações antrópicas), observa-se uma diminuição dessa resistência, em especial, no caso dos horizontes de micaxisto. Neste contexto, é possível inferir que tais características justifiquem o aumento de deslizamentos e processos correlatos em áreas com maior intervenção antrópica. Além disso, nos trabalhos de campo e nos registros da Defesa Civil dos eventos de deslizamentos, tem-se também a mobilização de material de origem antrópica, isto é, aterros constituídos de uma mistura de materiais: solo e entulho de origem diversa.

Através da elaboração da envoltória de escorregamentos pôde-se determinar com maior eficácia a relação numérica entre a precipitação diária e acumulada anterior (de 2 a 5 dias) às datas dos deslizamentos generalizados, visando levar em conta as condições da distribuição da precipitação acumulada e, indiretamente, a condição de pré-saturação do solo. As envoltórias de escorregamentos obtidas, para diferentes critérios de precipitação diária e acumulada anterior à ocorrência, mostraram que quanto maior o valor acumulado de precipitação, menor será a intensidade da precipitação diária necessária para deflagrar os escorregamentos.

De modo geral, os critérios indicaram o total diário de 35 mm como o mais restritivo, independentemente do valor acumulado em dias anteriores às ocorrências. Esta influência da precipitação diária e acumulada foi verificada também nos casos de deslizamentos recentes, adicionados aos gráficos das envoltórias de escorregamentos, que se agrupam à área de abrangência da envoltória. Ainda nesta análise, foi possível observar que em períodos sem chuva nos dias anteriores, os deslizamentos tenderão a ocorrer com precipitações superiores a 70 mm no dia do evento, podendo ser observada uma elevação deste valor com o aumento do número de dias secos anteriores.

Portanto, devido a contribuição dos fatores abordados, justifica-se uma redução dos limiares destacados. Assim, em estudos para determinação de limiares críticos de precipitação é importante também considerar as características das intervenções antrópicas, além dos condicionantes geológicos e geomorfológicos.

Ressaltando-se, ainda, a importância da investigação da suscetibilidade aos processos geodinâmicos e correlatos para um número maior de amostras e horizontes distintos, considerando também os tipos de intervenções antrópicas e as condições geomorfológicas e geotécnicas da região de estudo.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Defesa Civil do Município de Mauá-SP, pela disponibilização das ocorrências e acompanhamento dos trabalhos de campo. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de Mestrado.

REFERÊNCIAS

ALVARES CA, STAPE JL, SENTELHAS PC, GONÇALVES JLM, PAROVEK G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, 711–728, 2014.

BANDEIRA APN, COUTINHO RQ. Critical Rainfall Parameters: Proposed Landslide Warning System for the Metropolitan Region of Recife, PE, Brazil. *Soils & Rocks*, 2015, v. 38, p. 27-48, 2017.

BERTONE P, MARINHO C. Gestão de riscos e resposta a desastres naturais: A visão do planejamento. In: CONGRESSO CONSAD DE GESTÃO PÚBLICA, 6, 2013, Brasília DF, p. 24. Disponível em: <http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2013-12/gestao-de-riscos-e-resposta-a-desastres-naturais.pdf>. Acesso em: jul. 2017.

BEZERRA JMB, COUTINHO RQ. Caracterização Geotécnica do solo de uma encosta em setor de risco muito alto da Formação Barreiras da cidade de João Pessoa-PB. In: V SIMPÓSIO PANAMERICANO DE DESLIZAMIENTOS, 5, 2018, Salvador. COBRAMSEG, 2018.

BOSCO R., CARDOSO A., YOUNG A. APLICAÇÃO DE ANÁLISE MULTIVARIADA PARA A CONSTRUÇÃO DE INDICADORES AMBIENTAIS NA RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E DESLIZAMENTOS. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 52, p. 44-61, 2019.

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 e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm. Acesso em: jul. 2017.

CASTRO, JMG. Pluviosidade e Movimentos de Massa nas Encostas de Ouro Preto/MG. (Tese de Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2006.

CASTRO JMG, SOBREIRA FG, GOMES RC, GOMES GJC. Proposição de procedimento preventivo de riscos geológicos em Ouro Preto-BR com base em histórico de ocorrências e sua correlação com a pluviosidade. *Revista Brasileira de Geociências*. v. 42, n. 1, p. 58-66, 2012.

CALVELLO M. 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*, v. 12, p. 3-15, 2015.

CEPED-UFSC. Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012: volume Brasil. Florianópolis: CEPED, UFSC. 2013 p. 81-88, Disponível em: <http://www.ceped.ufsc.br/atlas-brasileiro-de-desastres-naturais-1991-a-2012/>. Acesso em: jul. 2017.

DAMASCENO ADO, SANTOS P, PAIVA CFE. Previsão do Comportamento Erodível de Quatro Solos Pertencentes às Áreas com Potencial para Expansão Urbana nos Municípios de Santo André e Ribeirão Pires - SP através da Metodologia MCT (Miniatura, Compactada, Tropical). In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA GEOTECNIA E DESENVOLVIMENTO URBANO, 18, 2018, Salvador- BA. Anais...COBRAMSEG, ABMS: São PauloSP, 10p. Disponível em: <http://www.cobramseg2018.com.br/>. Acesso em: fev. 2019.

EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO - EMPLASA. Atlas de Uso e Ocupação do Solo do Município de Mauá, 2006. São Paulo: EMPLASA. Disponível em: https://www.emplasa.sp.gov.br/Cms_Data/Sites/EmplasaDev/Files/Documentos/Cartografia/Atlas/RMSP/Atlas_Maua.pdf. Acesso em: set. 2016.

FERNANDES R, VALVERDE M. Análise da resiliência aos extremos climáticos de chuva: estudo preliminar na região de Mauá no ABC Paulista – São Paulo. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)*, n. 44, p. 1-17, 1 set. 2017. Disponível em: http://rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/104. Acesso em: dez. 2019.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE GEOTÉCNICA DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO-Fundação Geo-Rio. Relatório de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos para a Cidade do Rio de Janeiro no ano de 2010. D'ORSI, R. N. et al. (Org.) Relatório GEO-RIO/DEP/GPE-Nº10/2012. Disponível em: http://sistema-alerta-rio.com.br/wp-content/uploads/2016/08/Relatorio_Escorregamentos_2010.pdf. Acesso em: jan. 2018.

FUTAI MM, CECÍLIO JR MO, ABRAMENTO M. Resistência ao Cisalhamento e Deformabilidade de Solos Residuais da Região Metropolitana de São Paulo. *Twin Cities – Solos das Regiões Metropolitanas de São Paulo e Curitiba*. 1. ed. São Paulo: ABMS, 2012. p.153-184.

IDE, FS. Escorregamento, meteorologia e precipitação: uma proposta de método de investigação para a prevenção e monitoramento de riscos, aplicado em Campinas/SP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005, p.153. Disponível em: http://cassiopea.ipt.br/teses/2005_TA_Fernanda_Sugamore_Ide.pdf. Acesso em: jun. 2017.

IDE FS, MACEDO ES. Investigação da relação chuva e escorregamento no município de Campinas (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 21, Florianópolis - SC. Anais... São Paulo: ABGE, 2005, p. 1058-1066. CD-ROM.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo demográfico 2010. Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/Agregados_por_Setores_Censitarios/. Acesso em: abr. 2018.

INSTITUTO GEOLÓGICO (IG). Cenário de riscos de desastres de fenômenos geodinâmicos no estado de São Paulo no período 2000-2015. In: Gestão de riscos de desastres devido a fenômenos geodinâmicos no Estado de São Paulo: cenário 2000-2015. Boletim do Instituto Geológico nº 67. São Paulo: I G/SMA, 2016, 72p. Disponível em: http://igeologico.sp.gov.br/files/2016/10/boletim_IG_vol_67.pdf. Acesso em: set. 2018.

_____. Relatório da operação dos planos preventivos de Defesa Civil – PPDC: Operação Verão 2016-2017. São Paulo, 25 de Maio de 2017, p.23. Disponível em: https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/wpcontent/uploads/sites/233/2017/11/RELAT_PPDC_2016-2017_FINAL.pdf. Acesso em: mai. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Plano Municipal de Redução de Riscos de Escorregamentos Solapamentos de Margens de Córregos para o Município de Mauá – etapa II – Relatório Final. Relatório Técnico Nº 128.482-205. Centro de Tecnologias Ambientais e Energéticas-CETAE, Laboratório de Riscos Ambientais-LARA, Instituto de Pesquisas Tecnológicas IPT. Vol. 1 a 3. São Paulo, 2012. Disponível em: http://www.sidec.sp.gov.br/producao/map_risco/pesqpdf3.php?id=307,9355. Acesso em: set. 2016.

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: Município de Mauá-SP. Carta Síntese - versão 3, São Paulo: CPRM e IPT, 2015, ESCALA 1: 25.000. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes-3507.html#saopaulo>. Acesso em: fev. 2017.

JACINTHO EC et al. Perfil de intemperismo e infiltração, In: CARVALHO, J. C, JUNIOR, G. F. G., CARVALHO, E. T. L. (Orgs.). Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais. Série Geotecnia - UNB, Faculdade de Tecnologia: Brasília, v.4, 2012, p. 117-140.

MAUÁ. Decreto nº 8.601 de 4 de novembro de 2019. Dispõe sobre a Operação Guarda Chuva para o período compreendido entre 1º de dezembro e 15 de abril de cada ano, sobre os grupos da operação, seus respectivos procedimentos, e dá outras providências. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sp/m/maua/decreto/2019/861/8601/decreto-n-8601-2019>. Acesso em: dez. 2019.

MARSON M. Análise crítica da classificação MCT para solos tropicais. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2004.

MENDES RM, FILHO MV, BERTOLDO MA, SILVA MF, ANDRADE M. Estudo de limiares críticos de chuva deflagradores de deslizamentos no município de São José dos Campos/SP (Brasil). *Territorium*, v.22, p.119-129, 2015.

MENDES, R. M. et al. Stability Analysis on Urban Slopes: Case Study of an Anthropogenic-Induced Landslide in São José dos Campos, Brazil. *Geotechnical and Geological Engineering*, 36, 599–610, 2018.

METODIEV D. et al. Correlation between Rainfall and Mass Movements in North Coast Region of São Paulo State, Brazil for 2014-2018. *International Journal of Geosciences*, 9, p.669-679, 2018.

NOGAMI J.S., VILLIBOR D.F. Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos. São Paulo/SP: Ed. Villibor, 1995. 204p.

OLIVEIRA NS, ROTUNNO FILHO O, MARTON E, SILVA, C. Correlation between rainfall and landslides in Nova Friburgo, Rio de Janeiro-Brazil: a case study. *Environmental Earth Sciences*, v. 75, n. 20, 1358, 2016.

PAIVA, C. F. E. Geoprocessamento Aplicado à Estimativa da perda de Solo por Erosão Hídrica na Bacia do Rio Una – Taubaté - SP. 2005. Tese (Doutorado na área de Mecânica dos Sólidos e Estruturas) - Graduação em Engenharia aeronáutica e Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, São José dos Campos, 2005. 189 p.

PARIZZI MG et al. Correlações entre chuvas e movimentos de massa no município de Belo Horizonte, MG. *Revista Geografias*, Belo Horizonte, v.2, n. 6, p. 49-68, 2010.

REBOITA MS, GAN MA, ROCHA RP, AMBRIZZI T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, n. 2, p.185-204, 2010.

SILVA DIAS MAF, DIAS J, CARVALHO LMV, FREITAS ED, SILVA DIAS PL. Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. *Climatic Change*, New York, v. 116, p. 705-722, 2013.

SOARES FL, RAMOS FILHO GM. Correlações entre movimentos de massa e pluviosidade nas encostas de João Pessoa/PB- Brasil. *Revista Geotecnia*, 2015, v.33, p.5162, 2014.

TATIZANA C, OGURA M, ROCHA M, CERRI LES. Análise da correlação entre chuvas e escorregamentos aplicados às encostas da Serra do Mar, Município de Cubatão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, 1987a, São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 2013a. p.225-236. CD-ROM.

TATIZANA C, OGURA AT, CERRI LES, ROCHA MCM. Modelamento Numérico da Análise de Correlação entre Chuvas e Deslizamentos aplicados à Encosta da Serra do Mar. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE GEOLOGIA E ENGENHARIA, 5, 1987b, São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 2013b. p. 237-248. CD-ROM.

TAVARES NN, HENRIQUES GF, SOARES F L, SILVA BF. Correlação entre o Grau de Saturação e a Instabilidade de um Talude. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 19, 2018, Salvador - Bahia. Anais...São Paulo: ABMS. p.9.

VALVERDE MC, CARDOSO AO, BRAMBILA RB. O padrão de chuvas na Região do ABC Paulista: os extremos e seus impactos. Revista Brasileira de Climatologia, v. 22, 2018, p. 165-187.

VILLIBOR, D. F.; NOGAMI, J. S. (2009) Pavimentos econômicos: tecnologia do uso dos solos finos lateríticos. São Paulo: Arte & Ciência, 291 p. ISBN - 978-85-61165-34-5.

Contribuição de autoria

1 – Aloa Dandara Oliveira Damasceno

Mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental

aloadandara@hotmail.com – <https://orcid.org/0000-0002-8147-259X>

Contribuição: Conceituação, Validação, Investigação, Curadoria de Dados, Visualização de dados, Escrita – Primeira Redação

2 – Andrea de Oliveira Cardoso

Doutora em Meteorologia

andrea.cardoso@ufabc.edu.br – <https://orcid.org/0000-0001-9914-7501>

Contribuição: Conceituação, Metodologia, Validação, Análise Formal, Curadoria de Dados, Escrita – Primeira Redação, Escrita – Revisão e Edição, Supervisão, Administração do Projeto

3 – Cláudia Francisca Escobar de Paiva

Doutora em Engenharia Aeronáutica e Mecânica

claudia.paiva@ufabc.edu.br – <http://orcid.org/0000-0001-7904-7802>

Contribuição: Conceituação, Metodologia, Validação, Análise Formal, Curadoria de Dados, Escrita – Primeira Redação, Escrita – Revisão e Edição, Supervisão

Como citar este artigo

DAMASCENO, A. D. O.; CARDOSO, A. O.; PAIVA, C. F. E. Investigação da relação chuva-deslizamentos no município de Mauá – SP para obtenção de limiares críticos deflagradores de deslizamentos. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 43, e50, p. 1-29, 2021. DOI 10.5902/2179460X43119. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X43119>. Acesso em: dia mês abreviado. ano.