

Índices pluviométricos críticos para prevenção de desastres por deslizamentos na cidade de Niterói, RJ

Rainfall thresholds for the prevention of landslides disasters in the city of Niterói, RJ

Aline Pimentel da Silva¹ , Emílio Velloso Barroso² , Helena Polivanov² 

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências - IGEO, Departamento de Geologia - DGEO, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Avenida Athos da Silveira Ramos, 274, CEP: 21941-916, Rio de Janeiro, RJ, BR (alinepimenteldasilva@gmail.com)

²Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências - IGEO, Departamento de Geologia - DGEO, Laboratório de Experimentos em Mecânica e Tecnologia de Rochas - LEMETRO, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Rio de Janeiro, RJ, BR (emilio@geologia.ufrj.br; hpolivanov@gmail.com)

Recebido em 22 de outubro de 2021; aceito em 26 de agosto de 2022

Resumo

Em 2010, a cidade de Niterói foi assolada por fortes chuvas, registrando altos índices pluviométricos acumulados em poucas horas. Tal evento ocasionou diversos desastres, principalmente associados a deslizamentos. Com o intuito de proteger a população e contribuir para a gestão de riscos na cidade, o presente trabalho apresenta limiares críticos de pluviometria para o município, usando uma compilação de informações referentes aos deslizamentos ocorridos entre os anos de 2014 e 2018, bem como os registros pluviométricos a eles associados. As correlações entre os parâmetros intensidade horária e chuvas antecedentes mostraram-se mais eficazes para distinguir os limiares de precipitação que ocasionam deslizamentos na cidade. Como resultado, chuvas horárias maiores ou iguais a 40 mm e a precipitação acumulada a partir de 90 mm, num período de até 24 horas, indicam alta possibilidade de ocorrência de deslizamentos na região. Os resultados também permitiram o desenvolvimento de índices pluviométricos críticos, que podem vir a ser utilizados na gestão de risco de desastres do município.

Palavras-chave: Correlação chuva-deslizamento; Gestão de riscos geológicos; Sistemas de alerta.

Abstract

The city of Niterói was hit by heavy rains in 2010, registering high levels of rainfall in a few hours. This event caused several disasters, mainly associated with landslides. In order to protect the population and contribute to risk management, this work presented critical rainfall thresholds for the municipality, using a compilation of information regarding landslides that occurred between 2014 and 2018 and the rainfall record associated with them. The correlations between the hourly intensity and previous rainfall parameters proved to be more effective in distinguishing the city's precipitation thresholds that cause landslides. The results indicated that hourly rainfall greater than or equal to 40 mm and accumulated precipitation from 90 mm, in a period of up to 24 hours, indicate a high possibility of landslide occurrence in the region. The results also allowed the development of critical rainfall indices, which could be used in the municipality's disaster risk management.

Keywords: Rainfall and Landslide Correlation; Geological Risk Management; Alert Systems.

INTRODUÇÃO

Dada a diversidade das características climáticas, geográficas, geológicas e de ocupação das encostas e áreas de várzeas, a maioria dos desastres naturais registrados no Brasil é decorrente tanto de excesso de água, como nos casos dos deslizamentos de solo e rocha, dos fluxos de detritos, das inundações e enxurradas, quanto de sua escassez, como a seca e estiagem. Entre os fenômenos naturais citados, os que mais têm provocado mortes no Brasil são os movimentos de massa, quase sempre associados a episódios de chuvas (Cerri, 1993; Brasil, 2012; Mendes et al., 2018; Kormann e Robaina, 2019). Na Região Sudeste do Brasil, esses fenômenos ocorrem principalmente no período do verão, quando os índices pluviométricos tendem a ser mais elevados, aumentando o peso específico do solo, diminuindo a resistência ao cisalhamento por redução da coesão aparente pela saturação do solo e pelo aumento das pressões hidrostáticas de água, consequentemente, favorecendo os movimentos de massa (Tatizana et al., 1987a, 1987b).

O conhecimento dos limiares de precipitação capazes de aumentar a possibilidade de ocorrência de deslizamentos constitui importante ferramenta para auxiliar na gestão de risco de desastre e, consequentemente, para reduzir perdas socioeconômicas durante eventos relacionados a deslizamentos em encostas. Diversos trabalhos destacam a importância das associações entre os acumulados de chuva (quer sejam eles anuais, mensais, diários e horários) e deslizamentos. Entre as pesquisas realizadas no exterior, citam-se os trabalhos de Lumb (1975) na China, Zêzere et al. (2002) em Portugal, Guzzetti et al. (2008) para a região central e sul da Europa, Aristizábal et al. (2011) na Colômbia, Peruccacci et al. (2012, 2017) na Itália, Scheevel et al. (2017) em Washington, Irawan et al. (2019) e Miardini e Dyah Susanti (2020) para regiões na Indonésia. No Brasil, são referências os trabalhos de Tatizana et al. (1987a, 1987b) para a Serra do Mar, Elbachá et al. (1992) para Salvador, Feijó et al. (2001), Soares e Marton (2006) para a região de Angra dos Reis (RJ), Santoro et al. (2010), D'Orsi (2011) para um trecho da rodovia BR-116 na Serra dos Órgãos, Castro et al. (2012) para Ouro Preto (MG), Salles e Amaral (2013) para Região Serrana (RJ), Molina et al. (2015) para São Bernardo do Campo (SP), Metodiev et al. (2018) para região da Baixada Santista, e Mendonça et al. (2021) para o município de Petrópolis (RJ). Alguns desses trabalhos internacionais e nacionais estão resumidos na Tabela 1.

Atualmente o Centro Estadual de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais do Estado do Rio de Janeiro (CEMADEN-RJ) é o órgão responsável pelo monitoramento e acompanhamento meteorológico, risco hidrológico (alagamentos, inundações, enxurrada, entre outros) e risco geológico no estado do Rio de Janeiro e possui índices pluviométricos críticos próprios (Tabela 2), estabelecidos por

meio de pesquisas internas sobre as relações entre chuvas e deslizamentos. Esses índices são utilizados para emissão de avisos de possibilidade de deslizamentos (risco muito baixo ao muito alto) de modo que subsidiem as ações de Defesa Civil ante possíveis eventos. No entanto, os índices de chuva são pouco representativos do município de Niterói, pois foram propostos para uma região que engloba os municípios de Itaboraí, Maricá, São Gonçalo, Tanguá, não levando em consideração as características locais da chuva, tampouco as características geológicas e geotécnicas dos solos e rochas de cada município.

Ante a importância social e econômica do tema, realizou-se o presente estudo com o objetivo de contribuir para o conhecimento dos índices críticos de chuva que podem deflagrar deslizamentos em Niterói (RJ). Ressalta-se a relevância do estudo visto que o município possui 258 áreas de risco de deslizamentos, distribuídas pelas 117 comunidades de assentamento informal, consolidadas em encostas, com construções de baixo padrão construtivo e sem infraestrutura de saneamento básico (Prefeitura de Niterói, 2019). Embora a cidade possua uma rede de monitoramento pluviométrica com 16 equipamentos, não possui índices pluviométricos próprios, baseando a gestão de risco de desastre em limiares de chuva regionais pouco representativos para o município, provenientes de órgãos como o CEMADEN-RJ. Destaca-se ainda o histórico de movimentos de massa com vítimas fatais, quase sempre associados a períodos chuvosos (Tabela 3).

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Niterói pertence à região metropolitana do estado do Rio de Janeiro, com área total de 133,7 km², população de 459.451 habitantes e densidade demográfica de 3.839 hab./km², de acordo com o Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). Possui 52 bairros, subdivididos em cinco regiões de planejamento: Norte, Praias da Baía, Pendotiba, Oceânica e Leste (Figura 1). As duas primeiras são intensamente ocupadas, com alguns bairros apresentando densidade populacional maior que 13.000 hab./km². O crescimento rápido, não planejado e de forma desordenada gerou uma série de impactos socioambientais, de moradia e infraestrutura. Parte significativa da população de baixa renda, que recebe o valor de até um salário mínimo, reside em áreas desprovidas de infraestrutura urbana e serviços públicos, levando ao crescimento das áreas de aglomerados subnormais, principalmente nas regiões Norte, Pendotiba e Praias da Baía. Ainda na Figura 1, é possível visualizar as posições dos 16 pluviômetros da rede de monitoramento da cidade.

Em relação à geologia regional, a área de estudo está inserida dentro da Faixa Ribeira, mais precisamente no

Tabela 1. Resumos de pesquisas internacionais e nacionais de associação entre índices pluviométricos e deslizamentos.

Autores e Ano	Local	Associação entre índices pluviométricos e movimentos de massa
Lumb (1975)	Hong Kong - China	Pioneira ao concluir que a chuva acumulada antecedente reduz gradativamente a resistência efetiva dos solos, aumentando, assim, o risco de deslizamentos. A combinação mais satisfatória para a ocorrência de eventos severos e desastrosos foi de chuva maior ou igual a 100 mm em 24 horas + 200 mm/15 dias.
Tatizana et al. (1987a, 1987b)	Serra do Mar	Melhor relação para precipitação acumulada de quatro dias; envoltórias de deslizamento definidas por $I = K \times AC^{-b}$, em que I é a intensidade horária, AC é a precipitação acumulada em quatro dias e K e b são constantes de relação geométrica. Para os escorregamentos induzidos $I = 2.603 \times AC^{-0.933}$; escorregamentos esparsos $I = 3.579 \times AC^{-0.933}$; escorregamentos generalizados $I = 5.466 \times AC^{-0.933}$.
Feijó et al. (2001)	Rio de Janeiro (RJ)	Precipitações médias para desencadear escorregamentos são de 26,1 mm/h, 67,6 mm/24 h e 99,6 mm/96 h.
Zêzere (2002)	Lisboa - Portugal	Escorregamentos de pequeno porte estão relacionados a chuvas moderadas de 220 mm em 15 dias. Os eventos de chuva entre 130 e 160 mm em 24 horas deflagram enchentes “relâmpago” e vários escorregamentos. Acumulados de chuva maiores que 459 mm/40 dias a 690 mm/75 dias podem desencadear escorregamentos de solo mais profundos dada a elevação do nível de água no solo.
Guzzetti et al. (2007, 2008)	Região Central e Sul da Europa	Definiram um limite que relaciona intensidade e duração da chuva, representado pela equação: $I = 2,2 D^{-0.44}$, sendo I a intensidade da chuva (mm/h) e D a duração da chuva (horas e dias).
Soares e Marton (2006)	Angra dos Reis (RJ)	Precipitação acumulada em 24 horas associada ao acumulado de dois dias é a mais representativa para a região, no entanto, chuva maior ou igual a 75 mm/24 horas indica grande possibilidade de ocorrência de deslizamentos.
Santoro et al. (2010)	Regiões de São Paulo	Chuva entre 60 e 100 mm em três dias são suficientes para o estado de São Paulo entrar em nível de atenção no Plano Preventivo de Defesa Civil.
Aristizábal et al. (2011)	Vale do Aburrá - Colômbia	A ocorrência de movimentos de massa na região se dá pela chuva acumulada a longo prazo, com precipitações maiores que 60 mm em 30 dias, 160 mm em 60 dias e 200 mm em 90 dias.
D’Orsi (2011)	Rodovia Federal BR116-RJ, Serra dos Órgãos	Melhores resultados entre intensidade pluviométrica horária (mm/h) com a acumulada de 24 horas; fechamento preventivo da via quando os índices de chuva atingem 55 mm/1 hora e 135 mm/24 horas.
Peruccacci et al. (2012)	Abruzzo, Marche, Umbria e a região central da Itália.	Concluíram que o acumulado de chuva influencia mais o desencadeamento dos deslizamentos do que a duração da chuva, principalmente no verão (maio a setembro). Também estabeleceram limites empíricos de precipitação por meio da probabilidade de excedência de 5% para sedimentos pós orogênicos, depósitos tipo <i>flysch</i> e rochas carbonáticas.
Salles e Amaral (2013)	Petrópolis, Nova Friburgo e Teresópolis (RJ)	Estabeleceram cenários de risco em função do número de ocorrências dos escorregamentos, sendo definidos três cenários principais: <i>Ocasional</i> ≥ 55 mm/ 1 hora ou ≥ 120 mm/24 horas; <i>Esparsa</i> ≥ 30 mm/1 hora + ≥ 100 mm/24 horas + ≥ 115 mm/96 horas + ≥ 270 mm/30 dias; <i>Generalizada</i> ≥ 50 mm/1 hora + ≥ 120 mm/24 horas + ≥ 130 mm/96 horas + ≥ 300 mm/30 dias.
Molina et al. (2015)	São Bernardo do Campo (SP)	Precipitações de 80 mm/2 dias, 120 mm /3 dias e 150 mm/4 dias são capazes de deflagrarem escorregamentos, assim como chuvas diárias acima de 50 mm.
Mendes et al. (2015)	São José dos Campos (SP)	Limite de 20 a 50 mm/24 h e precipitação acumulada acima de 50 mm/3 dias.
Scheevel et al. (2017)	Washington - EUA	A análise estatística mostrou que os deslizamentos rasos estão fortemente correlacionados às chuvas anteriores, sendo a precipitação acumulada de 3, 15 e 32 dias as mais representativas.
Metodiev et al. (2018)	Região do Litoral Norte (SP)	A melhor combinação foi entre as chuvas acumuladas de 6 horas x 72 horas e sugeriram limares críticos separados por tipos de encostas e taludes, por magnitude e por impacto.
Irawan et al. (2019)	Banjarmangu - Indonésia	Chuvas acumuladas de 40 mm/3 dias e/ou 200 mm em 15 dias são suficientes para que ocorram movimentos de massa.
Mendonça et al. (2021)	Petrópolis (RJ)	Verificaram que há uma relação de dependência entre as pluviometrias de 24 horas e 96 horas, mas não definiram nenhum índice crítico.
Miardini e Dyah Susanti (2020)	Grindulu - Indonésia	40 mm em 3 dias e/ou 320 em 15 dias podem deflagrar deslizamentos.

Tabela 2. Índices pluviométricos utilizados na emissão de avisos de risco geológico para o município de Niterói pelo Centro Estadual de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais do Estado do Rio de Janeiro.

Risco Geológico	Efeitos Potenciais	Gatilho/Precipitação
Muito Baixo	Deslizamentos que podem ou não serem deflagrados pela ação das chuvas, tendo como agente de maior relevância uma circunstância associada a efeitos naturais ou antrópicos.	Chuva menor que 5 mm em 1 hora + Acumulado menor que 25 mm em 24 horas
Baixo	Deslizamentos deflagrados pela ação das chuvas ou não, tendo como agente de maior relevância uma circunstância associada a efeitos naturais ou antrópicos.	Entre 5 e 50 mm/1 hora + Entre 25 e 100 mm/24 horas
Moderado	Deslizamentos pontuais, geralmente associados a rupturas de taludes de corte e taludes artificiais (aterro).	Maior que 50 mm/1 hora ou Maior que 100 mm/24 horas
Alto	Deslizamentos nos setores mais críticos do município, geralmente afetando vários taludes de corte ou naturais, em solo e rocha.	Maior que 50 mm/1 hora ou Maior que 100 mm/24 horas + Maior que 120 mm/96 horas + Maior que 270 mm/30 dias
Muito Alto	Deslizamentos generalizados deflagrados pelas chuvas em taludes/encostas naturais e taludes de corte/artificiais. Esses deslizamentos estão relacionados a acidentes adjacentes e de largo alcance, distribuídos por todo o município.	Maior que 50 mm/1 hora + Maior que 100 mm/24 horas + Maior que 120 mm/96 horas + Maior que 270 mm/30 dias

Fonte: CEMADEN-RJ (2021).

Tabela 3. Desastres ocorridos no município de Niterói entre 1978 e 2018.

Data	Vítimas
Verão 1978/1979	2
Fevereiro/1985	1
Dezembro/2001	3
Dezembro/2005	1
Abril/2010	165
Janeiro/2013	1
Novembro/2018	15

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC, 2021).

Domínio Tetônico Oriental, composto de terrenos de rochas do arco magmático mais juvenil e duração mais longa, de idade Toniana (Almeida et al., 1981; Heilbron et al., 1995). A geologia é constituída predominantemente de rochas gnáissicas (gnaisse facoidal e biotita gnaisse) com e sem zonas charnockíticas e granitóides de composição granodiorítica a granítica (Serrano-Suárez e Ferrari, 2008). No que se refere às grandes estruturas, Hippertt (1990) definiu o município como a Zona de Cisalhamento Dúctil de Niterói (ZCDN), composta de uma faixa extensa de rochas miloníticas, com

mais de 10 km de largura e de direção N70E, além de sete zonas principais de falhas.

Ao Norte, predomina o relevo das colinas dissecadas e, ao Sul, os morros com formato mais arredondado, do tipo pães de açúcar, alinhados e orientados para NE-SW. Os pontos culminantes são a Pedra do Elefante, na Serra da Tiririca, com 412 metros e a Pedra do Cantagalo com 407 metros. As drenagens, na maioria das vezes canalizadas, desenvolvem-se preferencialmente condicionadas aos planos dos sistemas de fratura das serras (Prefeitura de Niterói, 2015). Na Região Oceânica, a rede de drenagem é dirigida para o sistema lagunar de Piratininga-Itaipú, o que torna o sistema ainda mais suscetível à degradação ambiental pela ocupação desordenada das encostas adjacentes.

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021), a temperatura máxima é em torno de 30° ao longo dos meses de janeiro e fevereiro e a mínima em torno de 17° nos meses de julho e agosto. De acordo com a normal climatológica de 1931-1960, disponível e tida como referência pelo INMET, a pluviosidade média anual da região varia entre 1.450 e 1.650 mm, com os meses de dezembro a março apresentando os maiores valores de precipitação, chegando a aproximadamente 150 mm. Os meses de junho a agosto são os mais secos, com precipitação média em torno de 50 mm no mês.

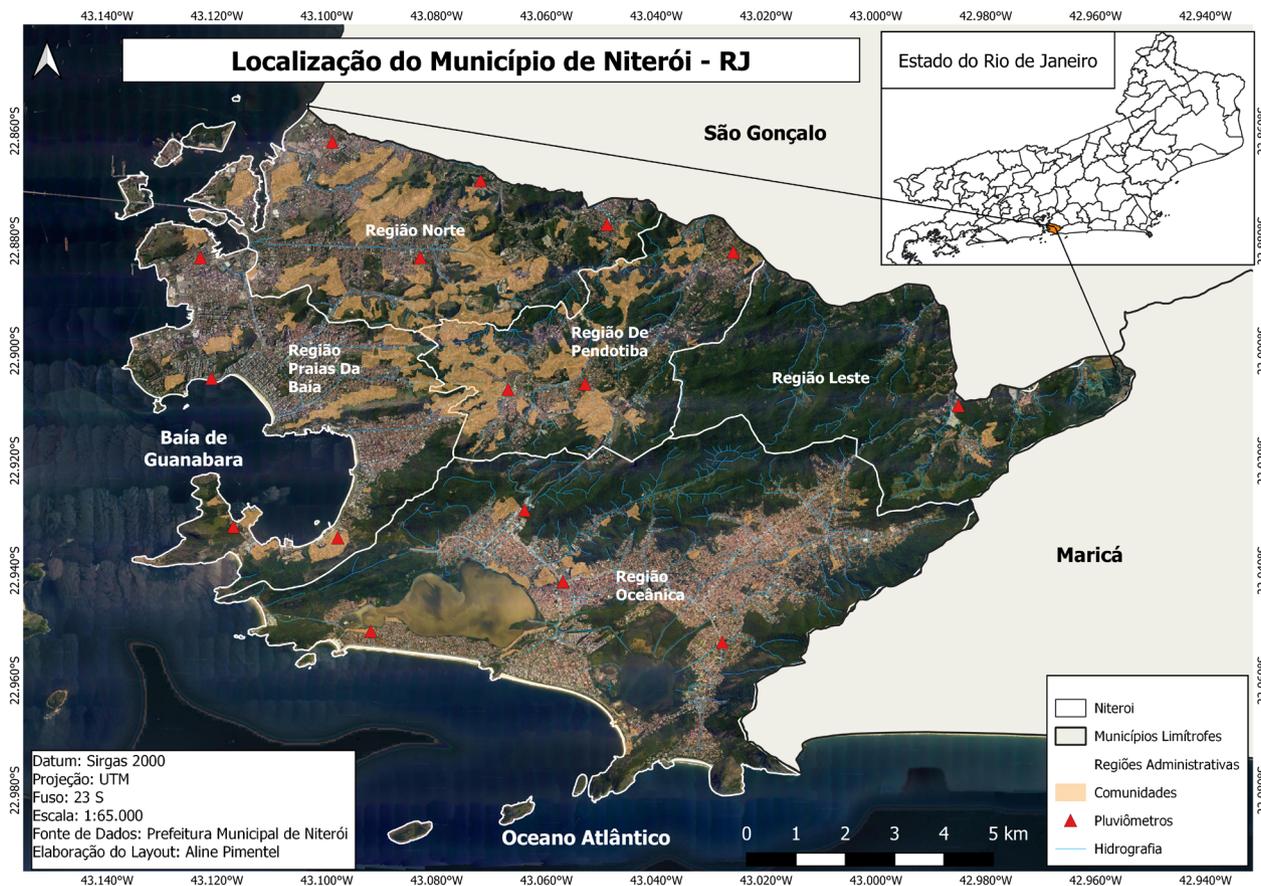


Figura 1. Município de Niterói, com destaque aos pluviômetros pertencentes ao entro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais/ Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (CEMADEN/MCTI), quase sempre próximos das comunidades existentes.

METODOLOGIA

O desenvolvimento da pesquisa pode ser dividido em três etapas principais: levantamento e coleta de dados de movimentos de massa e dados pluviométricos; seleção e cruzamento dos dados de chuva que geraram ou não escorregamento; e, por fim, a elaboração dos gráficos de dispersão e definição das linhas críticas de chuva para deflagração de deslizamentos. A metodologia adotada neste trabalho é bastante semelhante ao estudo proposto por Tatizana et al. (1987a, 1987b), D'Orsi (2011) e Metodiev et al. (2018), em que são analisadas as relações entre intensidade horária e precipitação acumulada, com e sem ocorrência de deslizamentos.

Levantamento de dados de deslizamento e de chuva

De acordo com as informações disponibilizadas pela Defesa Civil de Niterói entre 2014 e 2018, houve 2.771 registros de movimentos de massa. Ao iniciar a triagem, detectou-se

que muitos desses registros não estavam relacionados à ocorrência de deslizamentos, foco principal desta pesquisa. Com o intuito de aumentar a confiabilidade dos dados, várias etapas de filtragem, triagem e análise dos laudos tiveram que ser realizadas, em que foram descartados movimentos que não estão necessariamente relacionados à precipitação pluviométrica (Vargas Júnior et al., 2013; Collins e Stock, 2016), como queda de blocos e deslocamentos, além de fenômenos relacionados a rompimento por tubulação de água, esgoto e construção civil. Os casos que apresentaram divergências e inconsistências, como falta de data e/ou hora, localização incorreta (coordenadas erradas) e/ou endereço incompleto, também foram excluídos, pois geram imprecisão no posicionamento exato da ocorrência.

Com o propósito de se verificar os eventuais controles geotécnicos e estruturais sobre a distribuição dos deslizamentos, as 191 ocorrências restantes foram localizados sobre o mapa geotécnico do município, produzido por Barroso e Barroso (1996), no qual foram incluídos alguns lineamentos estruturais interpretados por Serrano-Suárez e Ferrari (2008).

Os dados de chuva obtidos são oriundos do banco de dados da rede observacional pluviométrica de 16 estações automáticas do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais entre aos anos de 2014 e 2018. Com o propósito de garantir a qualidade dos dados pluviométricos, fez-se necessário corrigir e excluir os dados faltantes e/ou espúrios. Também se adotou uma distância efetiva de até 3 km entre o local da ocorrência e o pluviômetro mais próximo para obtenção de dados de chuva. Essa referência foi necessária para que não houvesse atribuição de limiar para áreas fora da cobertura da rede observacional, tendo em conta que o tipo de equipamento tem um raio operacional limite (confiabilidade) de até 3 km, ou seja, só monitora com confiabilidade adequada a região que estiver dentro desse raio (Metodiev et al., 2018).

Cruzamento dos dados de chuva com e sem deslizamento

Com parte da etapa de cruzamento de dados de chuva com escorregamento, foram definidos critérios para: delimitar os eventos pluviométricos (início e fim); definir a estação com dados de precipitação mais próxima da ocorrência (até 3 km); e determinar o grau de confiabilidade das informações de data e hora da ocorrência e os dados pluviométricos antecedentes ao momento do escorregamento.

Visando melhorar a acurácia dos gráficos que subsidiaram as análises, foi estabelecido que seriam utilizados apenas os dados com grau de confiabilidade alto e aqueles cujos índices pluviométricos fossem maiores ou iguais a 20 mm/1 hora, 100 mm/24 horas, 120mm/96 horas ou 270 mm/30 dias (Tabela 4). Cabe destacar que a análise dos laudos da Defesa Civil apontou que os deslizamentos gerados por volumes de chuva abaixo de 20 mm em 1 hora não causam danos estruturais e econômicos relevantes, além de não terem sido verificados óbitos.

Por fim, os dados de chuva sem escorregamento são oriundos dos eventos pluviométricos que não apresentaram nenhum registro de escorregamento. Para tal, apurou-se entre os pluviômetros do município qual apresentou o maior valor de precipitação em uma hora para ser utilizado como pluviômetro de referência. Posteriormente, foi utilizado o pico de máxima horária, que pode ocorrer em qualquer hora ao longo do evento, enquanto o pico de máxima acumulada coincide com o fim do evento.

Gráficos e construção das linhas críticas

A fim de estabelecer uma relação numérica entre chuva e deslizamentos, foram confeccionados gráficos de dispersão entre a intensidade de chuva (volume precipitado no intervalo

Tabela 4. Exemplo do cruzamento dos dados pluviométricos e das ocorrências de deslizamentos.

ID	Local ocorrência	Estação pluviométrica	Distância	Grau conf.	Data/hora do pico utilizado	Chuva acumulada (mm)									
						1 h	4 h	6 h	12 h	24 h	48 h	72 h	96 h	30 D	
16	Engenhoca	Barreto	2 km	Alto	5/12/14 5h40	37,3	44,8	44,8	44,8	44,8	44,8	44,8	44,8	85,9	
20	Maria Paula	Maria Paula	1 km	Alto	31/1/15 4h50	45,3	45,3	46,9	46,9	46,9	46,9	53,1	53,1	88,0	
22	Cantagalo	Fonseca	2 km	Alto	3/2/15 22h10	52,1	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	226,5	
24	Maceió	Largo da Batalha	1 km	Alto	4/2/15 21h20	33,7	37,3	37,3	37,3	43,6	46,2	54,3	55,9	138,2	
29	Cubango	Fonseca	2 km	Alto	17/2/15 19h40	43,7	46,0	46,0	46,0	46,0	68,3	68,7	68,7	167,9	
48	Baldeador	Várzea das Moças	2 km	Alto	11/9/15 9h50	42,4	43,8	43,8	43,8	43,8	45,4	45,4	62,7	152,8	
123	Itaipu	Itaipu	2 km	Alto	29/2/16 15h40	53,7	54,1	54,1	54,1	54,1	54,1	54,1	54,1	249,4	
133	Jurujuba	Jurujuba	2 km	Alto	16/3/16 16h00	86,3	118,0	118,0	118,0	118,6	118,6	118,6	143,0	342,4	
149	Cantagalo	Badu	2 km	Alto	8/4/17 4h20	64,1	66,4	66,4	66,4	66,8	66,8	66,8	66,8	193,7	
154	Maceió	Piratininga 1 - Cafubá	1 km	Alto	20/6/17 19h10	54,7	54,7	54,7	54,7	97,4	97,4	97,4	97,4	135,1	
172	Fonseca	Visconde de Itaboraí	2 km	Alto	21/2/18 22h50	50,6	50,6	50,6	50,6	50,6	50,6	52,3	52,3	132,2	

de uma hora antes do escorregamento) e chuva acumulada em diferentes períodos (1 hora, 24 horas, 48 horas, 72 horas, 96 horas, 30 dias), e, em seguida, foram traçadas as linhas críticas. Para tal, levou-se em consideração os índices de chuva sem deslizamento e a quantidade dos eventos de movimento de massa que foram deflagrados pela mesma precipitação pluviométrica. Ou seja, os deslizamentos ocorreram em lugares diferentes, mas o índice pluviométrico utilizado é o mesmo. Assim, foram identificados e selecionados nos gráficos quais pontos representavam mais do que um escorregamento no mesmo dia e horário, ainda que espacialmente tenham ocorrido em lugares diferentes, mas que tenham sido deflagrados pelo mesmo evento de chuva. Com base nesses pontos — de maneira empírica —, foram traçadas manualmente as linhas críticas (envoltórias de deslizamento) e, por meio de planilhas eletrônicas, criados pontos nos eixos x e y e ajustada a melhor linha que separa as faixas de possibilidade de escorregamento (D’Orsi, 2011). Cabe destacar que, no presente estudo, as envoltórias são chamadas de “linhas de possibilidades de deslizamento” e

estão associadas a faixas de risco baixo, moderado, alto e muito alto de escorregamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No mapa geológico-geotécnico (Figura 2), é possível observar as unidades de áreas elevadas — associadas às colinas e às serras — composta basicamente de domínio rochoso de *augen*-gnaisse, solo residual de *augen*-gnaisse e de biotita gnaisse e depósitos de vertente. Já a unidade de áreas baixas está associada às baixadas litorâneas, compostas de depósitos aluvionares, restingas, mangues e aterros. Cerca de 88% das ocorrências de deslizamento ocorrem nas unidades elevadas, cujo domínio de solo residual areno-argiloso de *augen*-gnaisse representa 67% de todas as ocorrências no período estudado, seguido do domínio rochoso de *augen*-gnaisse com 10% do total, os depósitos de vertente com 8% das ocorrências e o solo residual de biotita gnaisse com cerca de 4%. Cerca de 12% dos eventos registrados estão

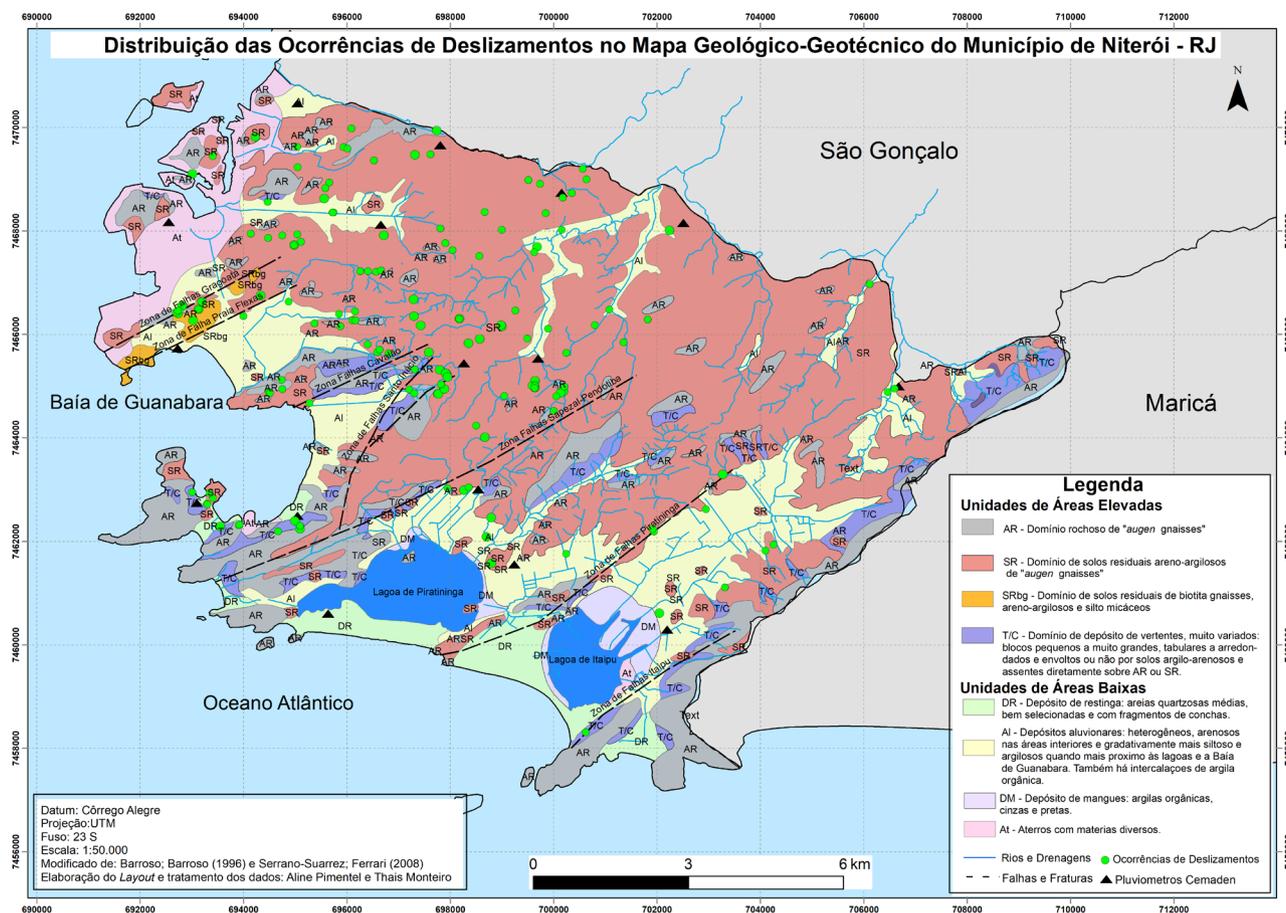


Figura 2. Mapa geológico-geotécnico com a localização das ocorrências. Adaptado do mapa geológico-geotécnico de Barroso e Barroso (1996), com inserção de lineamentos de Serrano-Suárez e Ferrari (2008).

nas unidades de áreas baixas, provavelmente associados à falta de precisão e confiabilidade dos dados de localização geográfica da ocorrência.

De maneira geral, as Regiões Norte, Praias da Baía e Pendotiba — que possuem intensa ocupação urbana — são localidades onde os pontos de deslizamentos estão concentrados. Cerca de 66% dos deslizamentos ocorrem nos solos residuais areno-argilosos de *augen*-gnaisse, os quais estão presentes também nas Regiões Leste e Oceânica, e apresentam morrotes com formação de solo residual mais espesso. Alguns pontos de escorregamento se localizam próximos aos grandes lineamentos estruturais, os quais apresentam influência no condicionamento de movimentos de massa e representam importantes descontinuidades, em termos tanto mecânicos quanto hidráulicos. Outros pontos de deslizamentos parecem estar associados ao padrão de drenagem no município (NE-SW), condicionados majoritariamente por estruturas com a mesma direção e, de forma secundária, por estruturas com direção NW-SE. O domínio rochoso de *augen*-gnaisse representa aproximadamente 10% de todas as ocorrências e mostra-se em grandes afloramentos, escarpados e com fraturas sub-horizontais (Serrano-Suárez, 2005), que permitem percolação de água, favorecendo e acelerando processos de intemperismo ao longo das superfícies, além do desenvolvimento de raízes e diminuição do grau de fixação das massas rochosas, gerando material para os depósitos de tálus/colúvio. As comunidades localizadas em áreas de depósitos de vertentes constituídos de materiais incoerentes, heterogêneos e mal selecionados — altamente desfavoráveis a cortes e aterros — sofrem tanto com movimentos de queda de blocos como com deslizamentos. Nessa unidade geotécnica, ocorrem por volta de 8% de todos os pontos de deslizamentos. Já os deslizamentos localizados em solo residual de biotita gnaisse representam quase 4% das ocorrências e estão concordantes com as Zonas de Falha de Gragoatá e Praia das Flexas, de direção N70E (Hippertt, 1990). Ressalta-se que esse domínio é formado por morros poucos elevados, de morfologia suave e perfil de intemperismo muito desenvolvido (Barroso e Barroso, 1996), aflorando numa pequena faixa alongada a noroeste do município, nos bairros de Gragoatá, Ingá e Boa Viagem, além do Morro do Estado. Vale destacar ainda que o bairro do Ingá e o Morro do Estado apresentam densidade populacional maior que 13.000 hab./km², enquanto os bairros de Gragoatá e Boa Viagem possuem densidade populacional variando entre 1.800 e 8.000 hab./km² (IBGE, 2010).

A concentração de deslizamentos entre dois lineamentos no bairro de Boa Viagem e numa pequena faixa de biotita gnaisse pode indicar a influência da presença desse mineral sobre o comportamento geomecânico do solo. Segundo Sandroni (1981, 1991), em solos residuais de gnaisse, quanto maior o teor de mica, maior a alterabilidade e menor é a resistência ao cisalhamento pela redução do ângulo de atrito.

As características citadas associadas às condições geométricas, ambientais, hidráulicas, climáticas e antrópicas — aqui não estudadas — podem determinar os deslizamentos que acontecem no município, cabendo um estudo mais detalhado de estabilidade dos taludes, em que poderiam ser realizadas investigações de campo e ensaios laboratoriais. No entanto, é importante destacar que a maioria dos registros ocorre principalmente nas regiões das Praias da Baía (36%), Norte (25%) e Pendotiba (25%), que são áreas mais densamente povoadas (Seabra et al., 2017). E que os bairros que apresentam moderada a alta densidade populacional (maior que 3.000 hab./km²) em áreas geomorfologicamente vulneráveis, como Fonseca, Santa Rosa, Largo da Batalha, Caramujo, Cubango e Engenhoca, detêm aproximadamente 40% de todos os registros de ocorrências. Ressalta-se também que um dos bairros com maior densidade populacional (Icaraí) quase não há registro de ocorrências e isso ocorre pelas características geomorfológicas da área (plana — área de baixada).

Entre as diversas possibilidades de avaliação de índices pluviométricos que deflagram deslizamentos no município de Niterói, demonstram-se a seguir as correlações entre intensidade horária e precipitação acumulada em 24 horas (Figura 3), 96 horas (Figura 4) e 30 dias (Figura 5) para o período estudado entre 2014 e 2018.

Verifica-se que em todas as combinações apresentadas há dispersão dos eventos pluviométricos, com e sem escorregamento, mas no geral, assim como proposto nas pesquisas de Tatizana et al. (1987a, 1987b), Santoro et al. (2010), Castro et al. (2012), Mendes et al. (2015), Metodiev et al. (2018), entre outros, é possível delimitar duas zonas: a zona segura, faixa onde quase não há deslizamentos, e a zona insegura, acima da faixa de linha de possibilidade baixa, cujo valor é maior ou igual a 40 mm para uma hora de chuva acumulada (coeficiente linear das retas).

Os registros de deslizamentos abaixo da linha de possibilidade baixa (Figura 4) ocorrem pelos critérios de corte, cujos acumulados pluviométricos foram maiores que 120 mm em 96 horas, evidenciando que, quanto maior o acumulado total de chuva, menor é a intensidade de precipitação, de curta duração, necessária para iniciar os processos de deslizamentos dado o processo de saturação do solo.

Há uma “nuvem” de pontos entre as linhas de possibilidade baixa e alta, em que não foi possível uma separação nítida dos deslizamentos, podendo essa faixa variar dependendo do método adotado na análise de cada pesquisador. No entanto, é notório que, com aumento das acumuladas pluviométricas, os deslizamentos deflagrados por um único evento de chuva ficam mais expressivos (maior número), enquanto os eventos de chuva sem escorregamento diminuem. Nessa faixa, a partir de 70 mm/1 hora ou 90 mm/96 horas, a possibilidade de deslizamentos é moderada.

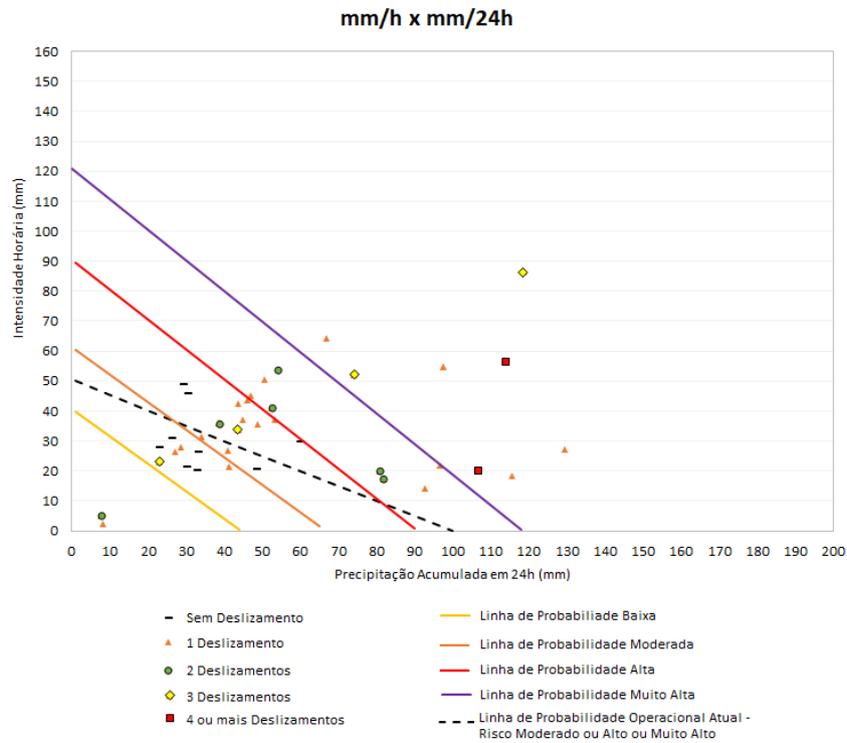


Figura 3. Correlação entre intensidade horária (mm) x precipitação acumulada em 24 horas (mm). A linha pontilhada refere-se à linha operacional empregada no município.

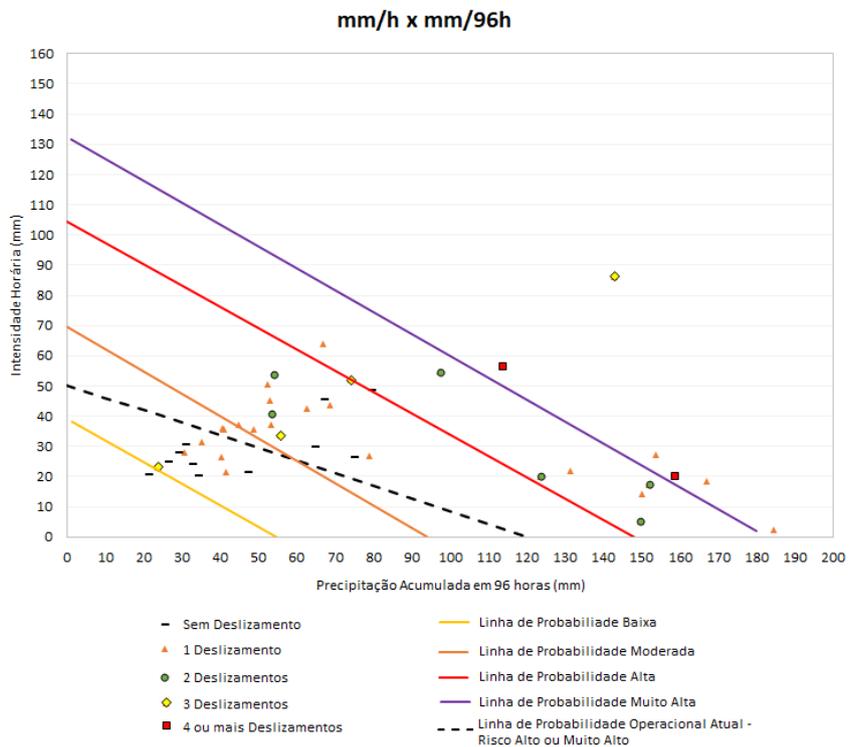


Figura 4. Correlação entre intensidade horária (mm) x precipitação acumulada em 96 horas (mm). A linha pontilhada refere-se à linha operacional empregada no município.

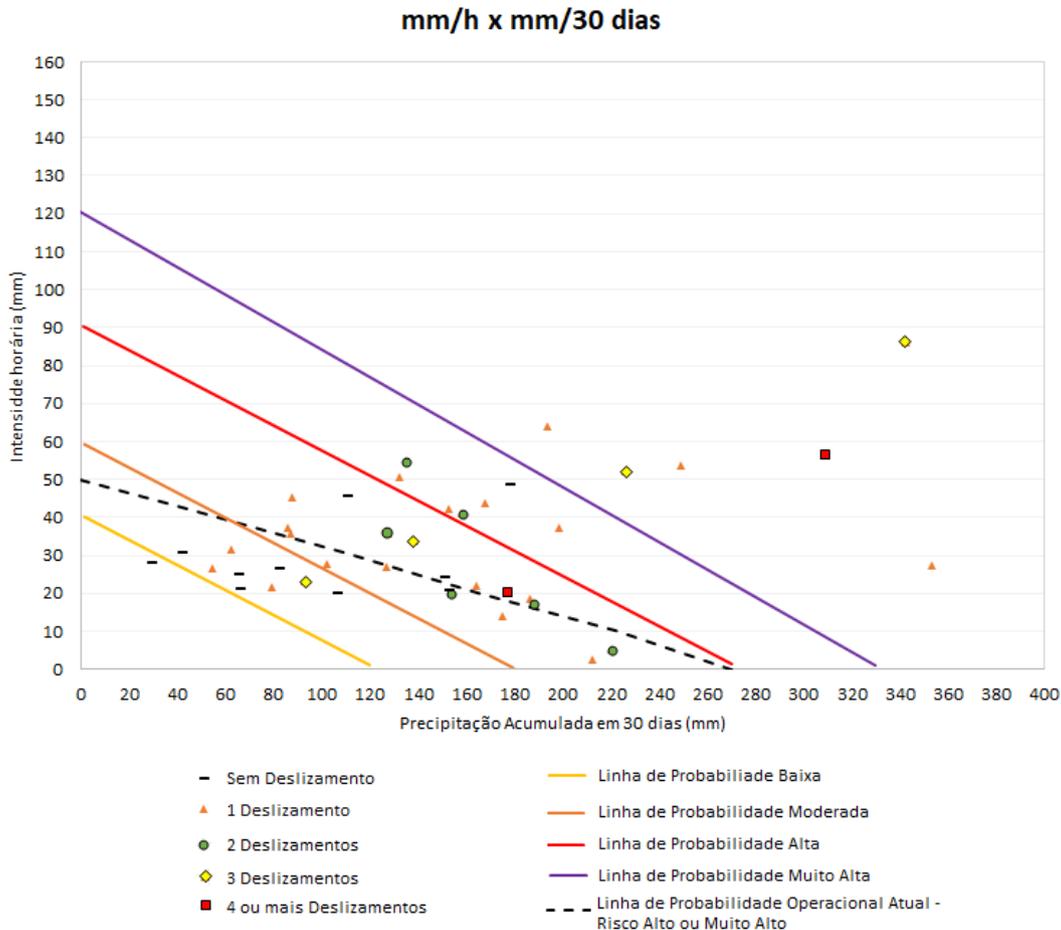


Figura 5. Correlação entre intensidade horária (mm) x precipitação acumulada em 30 dias (mm). A linha pontilhada refere-se à linha operacional empregada no município.

A partir da linha de possibilidade alta, não há eventos pluviométricos sem escorregamento e o valor mínimo encontrado para essa condição foi de 90 mm em 24 horas (Figura 4). Esse comportamento reafirma que as altas acumuladas pluviométricas, seja de 24 horas ou dias, tendem a aumentar a umidade do solo e reduzir significativamente sua sucção. Além de ocasionar condições para ampliação e elevação da poro-pressão, criando condições suficientes para os movimentos de massa (Tatizana et al., 1987a, 1987b). Os resultados também evidenciam que, acima da linha de possibilidade muito alta, há concentração dos deslizamentos deflagrados por um único evento pluviométrico, sendo essa faixa correlacionável ao cenário de risco a deslizamentos generalizados amplamente utilizados na literatura nacional. Para reproduções futuras, são apresentadas na Tabela 5 as equações de regressão linear entre intensidade horária e precipitação acumulada.

Períodos prolongados de chuva tendem a diminuir os valores críticos de precipitação necessários para a ocorrência dos deslizamentos, dada a elevação do nível de água do

Tabela 5. Equação da curva para a combinação entre mm/1hora x mm/24 horas.

Linhas críticas	Equação da curva
Possibilidade baixa	$I = 0,9149Ac + 40,692$
Possibilidade moderada	$I = - 0,9203Ac + 40,692$
Possibilidade alta	$I = - 1,0273 + 40,692$
Possibilidade muito alta	$I = - 0,9863Ac + 40,692$

y: Intensidade horária (mm/h); x: Precipitação acumulada (mm).

solo e o aumento da pressão da água nos poros. Por isso, optou-se por analisar a influência da intensidade horária e acumulada pluviométrica em 30 dias para o município de Niterói. No entanto, pela dispersão de dados, essa análise foi inconclusiva.

Alguns estudos aplicados na gestão de risco a deslizamento e na elaboração dos planos de contingência e sistemas de alerta apresentam bons resultados nas associações de 72 horas (Santoro et al., 2010; Mendes et al., 2015; Scheevel et al., 2017; Metodiev et al., 2018; Miardini e Dyah Susanti, 2020).

No entanto, neste estudo, apesar da boa separabilidade entre os eventos de chuva com e sem escorregamento, grande parte dos deslizamentos ocorreram com valores pluviométricos bem próximos ou iguais, indicando, por exemplo, que, sem acumulado de chuva pretérito para os eventos estudados, as chuvas acumuladas em 72 horas, na grande parte das vezes, ocorreu em 6 horas (Figura 6).

Por fim, o método aplicado permite estabelecer a possibilidade (ou perigo) de deslizamento (muito baixo ao muito alto) em função do acumulado de chuva em 1 hora (intensidade horária), 24 horas e 96 horas (Tabela 6).

CONCLUSÃO

Os resultados indicam que muitos dos deslizamentos ocorridos no período estudado (2014 – 2018) estão condicionados à intensidade horária (pico de chuva) e outros dependem do acumulado de chuva mais elevado, mas, de maneira geral, constatou-se que, quanto maior o valor de acumulado de chuva, menor é a intensidade pluviométrica horária necessária para desencadear os deslizamentos. A correlação entre intensidade horária e precipitação acumulada de 24 horas é bem representativa. Com base nos resultados, verificou-se que

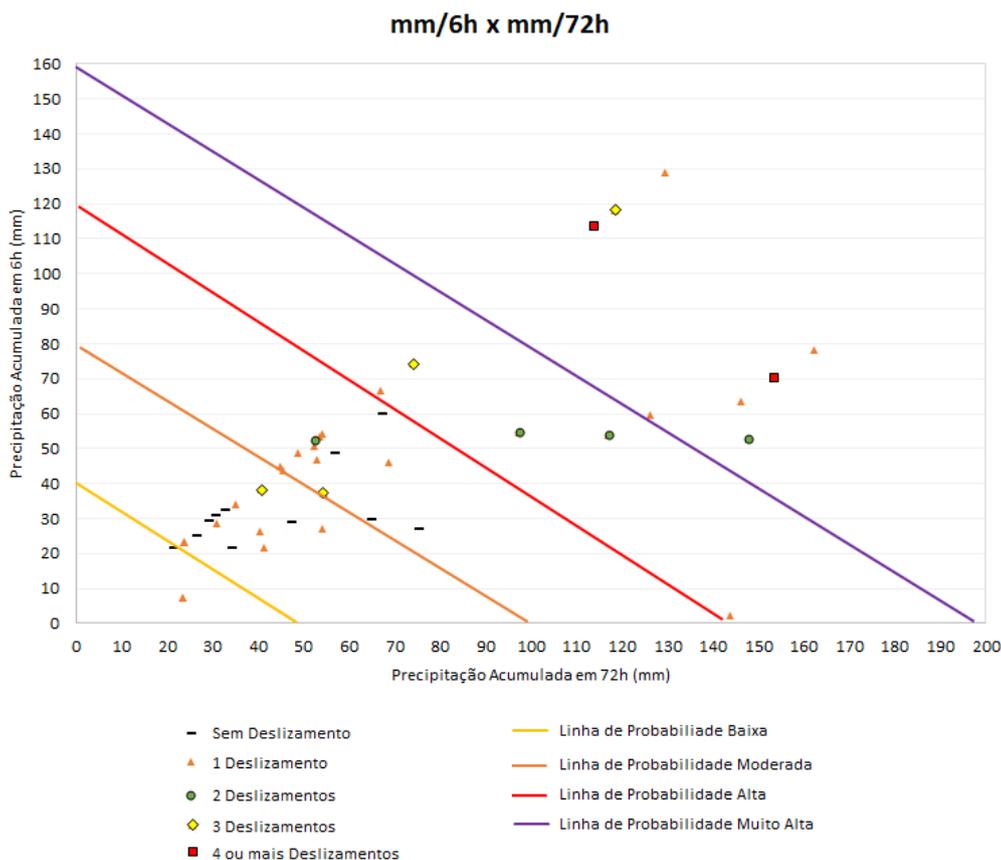


Figura 6. Correlação entre intensidade horária (mm) x precipitação acumulada em 30 dias (mm).

Tabela 6. Possibilidade de deslizamento pelo acumulado de chuva (mm).

Possibilidade de deslizamento	Chuva acumulada (mm)
Muito baixa	Menor que 40 mm/ hora ou acumulado menor que 45 mm/24 horas
Baixa	Entre 40 e 60 mm/1hora ou entre 45 e 65 mm/24 horas ou entre 55 e 90 mm/96 horas
Moderada	Entre 60 e 70 mm/1hora ou entre 65 e 90 mm/24 horas e entre 90 e 150 mm/96 horas
Alta	Entre 70 e 100 mm/1hora ou entre 90 e 120 mm/24 horas e entre 150 e 180 mm/96 horas
Muito alta	Maior que 100 m/1 hora + maior que 120 mm/24 horas e maior que 180 mm/96 horas

intensidades horárias iguais ou maiores que 40 mm podem iniciar os deslizamentos nas áreas de risco do município. Enquanto precipitação acumulada maior ou igual a 90 mm em 24 horas indica um cenário em que a possibilidade de escorregamento é alta e de ocorrências mais generalizadas no município.

Em adição, os resultados coerentes e consistentes obtidos com base em um banco de dados específico do município permitem o aprimoramento de limiares que possam vir a ser incorporados futuramente nas ações de gestão de risco de desastres do município. Ressalta-se que esses índices são importantes pois subsidiam a emissão de avisos antecipados de risco de deslizamento aos gestores de Defesa Civil, buscando assim minimizar possíveis perdas humanas e materiais provenientes de deslizamentos.

Destaca-se ainda que os resultados deste estudo são válidos para o município como um todo, contudo é importante ressaltar a relevância da elaboração de estudos específicos e mais detalhados para cada região dentro do município, abrangendo áreas de risco com possibilidade similar quanto à deflagração de eventos, levando em consideração comportamentos homólogos, assim seria possível realizar um monitoramento mais detalhado para cada região do município.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — Brasil (CAPES), a concessão da bolsa de mestrado que permitiu que o primeiro autor fizesse o curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). À Defesa Civil Municipal de Niterói e ao Centro Estadual de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais, o fornecimento dos dados utilizados no presente estudo, e a todos os colegas que ajudaram a revisar este trabalho. Os autores expressam seus agradecimentos aos dois revisores anônimos que contribuíram para o artigo com importantes sugestões e críticas.

REFERÊNCIAS

Almeida, F. F. M., Hasuy, Y., Brito-Neves, B. B., Fuck, R. A. (1981). Brazilian Structural Provinces: An Introduction. *Earth-Science Reviews*, 17(1-2), 1-29. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(81\)90003-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(81)90003-9)

Aristizábal, E., González, T., Montoya, J., Velez, J., Martínez, H., Guerra, A. (2011). Análisis de umbrales empíricos de lluvia para el pronóstico de movimientos en masa en el Valle de Aburrá, Colombia. *Revista EIA*, (15), 95-111. Disponível

em: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n15/n15a09.pdf>. Acesso em: 4 março 2019.

Barroso, J. A., Barroso, E. V. (1996). O meio físico como fator indispensável ao planejamento da expansão das cidades: o caso de Niterói - RJ. *Solos e Rochas*, 19(1), 63-77.

Brasil. (2012). Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. *Anuário brasileiro de desastres naturais 2013*. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Brasília. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/Anurio-Brasileiro-de-Desastres-Naturais-2013.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2021.

Castro, J. M. G., Sobreira, F. G., Gomes, R. C., Gomes, G. J. C. (2012). 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*, 42(1), 58-66. <https://doi.org/0.25249/0375-7536.20124215866>

Centro Estadual de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais do Estado do Rio de Janeiro (CEMADEN-RJ). (2021). *Risco geológico*. CEMADEN-RJ. Disponível em: <http://www.defesacivil.rj.gov.br/images/PLANO-ESTADUAL-DE-PROTEO-E-DEFESA-CIVIL---SEDEC.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2021.

Cerri, L. E. S. (1993). *Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para a prevenção de acidentes*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP.

Collins, B. D., Stock, G. M. (2016). Rockfall triggering by cyclic thermal stressing of exfoliation fractures. *Nature Geoscience*, 9(5), 395-400. <https://doi.org/10.1038/ngeo2686>

D'Orsi, R. N. (2011). *Correlação entre pluviometria e escorregamentos no trecho da Serra dos Órgãos da rodovia federal BR-116 RJ (Rio-Teresópolis)*. Tese (Doutorado). Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

Elbachá, A. T., Campos, L. E. P., Bahia, R. F. C. (1992). Tentativa de correlação entre precipitação e deslizamentos na cidade de Salvador. *I Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas*. Rio de Janeiro: COBRAE, p. 647-656.

Feijó, R. L., Paes, N. M., D'Orsi, R. N. (2001). Chuvas e Movimentos de Massa no Município do Rio de Janeiro. *III Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas*, 1, 223-230. Rio de Janeiro: COBRAE.

- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., Stark, C. P. (2007). Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 98, 239-267. <https://doi.org/10.1007/s00703-007-0262-7>
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., Stark, C. P. (2008). The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update. *Landslides*, 5(1), 3-17. <https://doi.org/10.1007/s10346-007-0112-1>
- Heilbron, M., Valeriano, C. M., Valladares, C. S., Machado, N. (1995). A orogênese brasileira no segmento central da Faixa Ribeira, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 25(4), 249-266. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.1996249266>
- Hippertt, J. F. M. (1990). *Contribuição à geologia e petrologia dos "augen" gnaisses de Niterói, RJ*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP. <https://doi.org/10.11606/D.44.1990.tde-26082015-140855>
- Instituto Brasileiro de Geologia e Estatísticas (IBGE). (2010). *Censo 2010*. IBGE. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 abr. 2020.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). *Gráficos das Normais Climatológicas*. INMET. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/>. Acesso em: 2 fev. 2021.
- Irawan, A. M., Virgianto, R. H., Safril, A., Munawar, Gustono, S. T., Putranto, N. D. (2019). Rainfall threshold and soil moisture indexes for the initiation of landslide in Banjarmangu sub-district, central Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 243, 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/243/1/012028>
- Kormann, T. C., Robaina, L. E. S. (2019). Parâmetros geomorfométricos para análise da suscetibilidade a movimentos de massa na área urbana de Blumenau, Santa Catarina. *Geografia Ensino & Pesquisa*, 23, e42. <https://doi.org/10.5902/2236499437708>
- Lumb, P. (1975). Slope failures in Hong Kong. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 8(1), 31-65. <https://doi.org/10.1144/GSL.QJEG.1975.008.01.02>
- Mendes, R. M., Andrade, M. R. M. D., Tomasella, J., Moraes, M. A. E. D., Scofield, G. B. (2018). Understanding shallow landslides in Campos do Jordão municipality – Brazil: Disentangling the anthropic effects from natural causes in the disaster of 2000. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(1), 15-30. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-15-2018>
- Mendes, R. M., Valerio Filho, M., Bertoldo, M. A., Silva, M. F. (2015). Estudo de limiares críticos de chuva deflagradores de deslizamentos no município de São José dos Campos/SP (Brasil). *Territorium*, (22), 119-129. https://doi.org/10.14195/1647-7723_22_8
- Mendonça, M., Gonzalez, F., Coelho, G. V. S. (2021). Likelihood of landslide occurrences for definition of rainfall thresholds applied to the Quitandinha river basin, Petrópolis, Brazil. *Landslides*, 18, 583-593. <https://doi.org/10.1007/s10346-020-01515-2>
- Metodiev, D., Andrade, M. R. M., Mendes, R. M., Moraes, M. A. E., Konig, T., Bortolozzo, C. A., Coelho, J. O. M. (2018). Correlation between Rainfall and Mass Movements in North Coast Region of Sao Paulo State, Brazil for 2014-2018. *International Journal of Geosciences*, 9(12), 669-679. <https://doi.org/10.4236/ijg.2018.912040>
- Miardini, A., Dyah Susanti, P. (2020). Determination of cumulative rainfall threshold trigger of landslides in Grindulu watershed as an early warning effort. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 7(2), 2059-2064. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2020.072.2059>
- Molina, E., Cardoso, A., Nogueira, F. (2015). Relação Precipitação-Deslizamento no Município de São Bernardo do Campo - SP. *Ciência e Natura*, 37, 46-54. <https://doi.org/10.5902/2179460X16214>
- Peruccacci, S., Brunetti, M. T., Gariano, S. L., Melillo, M., Rossi, M., Guzzetti, F. (2017). Rainfall thresholds for possible landslide occurrence in Italy. *Geomorphology*, 290, 39-57. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.03.031>
- Peruccacci, S., Brunetti, M. T., Luciani, S., Vennari, C., Guzzetti, F. (2012). Lithological and seasonal control on rainfall thresholds for the possible initiation of landslides in central Italy. *Geomorphology*, 139-140, 79-90. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.10.005>
- Prefeitura de Niterói. (2015). *Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do Município de Niterói*. Niterói: Prefeitura de Niterói. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/plano-diretor-niteroi-rj>. Acesso em: 13 jan. 2018.
- Prefeitura de Niterói. (2019). *Banco de dados interno dos registros de ocorrências da Secretaria Municipal de Defesa Civil e Geotecnia de Niterói, anos 2010-2018*. Niterói: Prefeitura de Niterói.
- Salles, R. O., Amaral, C. (2013). Estudo da Correlação entre Chuvas e Escorregamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro. *VI Conferência Brasileira de Encostas*, 526-530. Angra dos Reis: COBRAE.

- Sandroni, S. S. (1981). Solos residuais gnáissicos, pesquisas realizadas na PUC-RJ. *II Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia*, 7-29. Rio de Janeiro: COPPE – UFRJ.
- Sandroni, S. S. (1991). Young Metamorphic Residual Soils - Special Report. *IX Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1, 1771-1788. Vina del Mar.
- Santoro, J., Mendes, R. M., Pressinotti, M. M. N., Manoel, G. R. (2010). Correlação entre chuvas e deslizamentos ocorridos durante a operação do Plano Preventivo de Defesa Civil em São Paulo, SP. *VII Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, 1-15, Maringá: ABGE.
- Scheevel, C. R., Baum, R. L., Mirus, B. B., Smith, J. B. (2017). Precipitation thresholds for landslide occurrence near Seattle, Mukilteo, and Everett, Washington. *U.S. Geological Survey Open-File Report 2017–1039*. 51 p. <https://doi.org/10.3133/ofr20171039>
- Seabra, V. S., Campos, A. O., Modesto, N. S. A., Neto, D. S., Correia, M. R., Costa, E. C. P., Santos, A. B. (2017). Análise da distribuição da população por diferentes unidades de representação: um estudo de caso para o município de Niterói-RJ. *Espaço & Geografia*, 18(1), 89-120. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/espacoegografia/article/view/40028/31120>. Acesso em: 10 abr. 2020.
- Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC). (2021). *Sistema Integrado de Informações sobre Desastres, anos 2010-2018*. SEDEC. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/>. Acesso em: 13 jul. 2021.
- Serrano-Suárez, B. E. (2005). *Análise Morfotectônica e Morfométrica do Município de Niterói-RJ*. Dissertação (Mestrado). Rio de Janeiro: Instituto de Geociências – UFF. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4809.4480>
- Serrano-Suárez, B. E., Ferrari, A. L. (2008). Análisis Morfotectónico para um Área al Sureste de Brasil. *Engenharia de Pesquisa e Desenvolvimento*, 6(1), 39-49. Disponível em: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/872. Acesso em: 10 abr. 2020.
- Soares, E. P., Marton, E. (2006). Relação entre precipitação e deslizamentos de encostas na região de Angra dos Reis. *XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Florianópolis: SBMET. Disponível em: https://cbmet.com/index_php.html. Acesso em: 4 maio 2020.
- Tatizana, C. O., Ogura, A. T., Cerri, L. E. S., Rocha, M. C. M. (1987a). Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos: serra do mar, município de Cubatão. *V Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, 2, 225-236. São Paulo: ABGE.
- Tatizana, C. O., Ogura, A. T., Cerri, L. E. S., Rocha, M. C. M. (1987b). Modelamento numérico da análise de correlação entre chuvas e deslizamentos aplicados à encosta da serra do mar. *V Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, 2, 237-248. São Paulo: ABGE.
- Vargas Júnior, E. A., Velloso, R. Q., Chávez, L. E., Gusmão, L., Amaral, C. P. (2013). On the effect of thermally induced stresses in failures of some rock slopes in Rio de Janeiro, Brazil. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 46, 123-134. <https://doi.org/10.1007/s00603-012-0247-9>
- Zêzere, J. L. (2002). Landslide susceptibility assessment considering landslide typology. A case study in the area north of Lisbon (Portugal). *Natural Hazards Earth System Sciences*, 2(1-2), 73-82. <https://doi.org/10.5194/nhess-2-73-2002>