



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Características e comportamento das chuvas como agente potencializador do perigo a escorregamentos em encostas em áreas urbanas de Itabuna e Ilhéus, Bahia

¹Naiara de Lima Silva; ²Ronaldo Lima Gomes

¹ Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Estadual de Santa Cruz, Salobrinho, CEP 45662-900, Ilhéus, Bahia. nls.naiara@gmail.com (autor correspondente). ² Dr. em Geotecnia, Professor Pleno, Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual de Santa Cruz, Salobrinho, CEP 45662-900, Ilhéus, Bahia. rlgomes@uesc.br

Artigo recebido em 29/01/2024 e aceito em 06/11/2024

RESUMO

As cidades de Ilhéus e Itabuna, no sul do estado da Bahia, possuem atributos básicos para o aumento da susceptibilidade a escorregamentos, dada a partir das características do meio físico, somado à ocupação subnormal em encostas. Este trabalho teve como objetivo analisar as características das chuvas e sua relação com a ocorrência de deslizamentos nestas cidades. Para tanto, procedeu-se com a análise de séries históricas de estações pluviométricas localizadas nos centros urbanos e em seu entorno. Foram analisadas as precipitações diárias confrontando-as com os níveis de operação e alerta definidos pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN. Em seguida, foi elaborado um cadastro com ocorrências de escorregamentos, seguido das tentativas de correlação entre precipitação diária e acumulada e os acidentes, para definição dos limiares pluviométricos críticos. Os resultados encontrados demonstram chuvas bem distribuídas ao longo do ano, sem períodos secos e chuvosos acentuados, com o mês de novembro marcando o início do período chuvoso, que se estende até abril. Nesse período foram registradas mais de 80% das ocorrências de escorregamentos. A análise de correlação permitiu determinar os limiares pluviométricos, confirmando a influência da chuva acumulada de 2 dias no desencadeamento dos deslizamentos. Para Ilhéus a equação representativa da curva foi $PD = 54,125PA^{-0,263}$ e para Itabuna, $PD = 29,67PA^{-0,201}$, sendo PD a precipitação diária e PA o acumulado pluviométrico. Considerando a atual situação dos municípios em termos de pequena dimensão das séries de dados e precisão das informações, recomenda-se atualizações futuras dos limiares pluviométricos.

Palavras-chave: Movimentos de massa, Limiar pluviométrico, Precipitação antecedente, Método estatístico, Defesa Civil.

Characteristics and behavior of rain as an agent that increases the risk of landslides on slopes in urban areas of Itabuna and Ilhéus, Bahia

ABSTRACT

The cities of Ilhéus and Itabuna, in the southern state of Bahia, have basic attributes that increase susceptibility to landslides, given the characteristics of the physical environment, combined with informal settlements on slopes. This study aimed to analyze the characteristics of rainfall and its relationship with landslide occurrences in these cities. To do so, historical data from rainfall stations located in urban centers and their surroundings were analyzed. Daily precipitation were compared with the operation and alert levels defined by National Center for Monitoring and Early Warning of Natural Disasters - CEMADEN. Subsequently, a register of landslide occurrences was compiled, followed by attempts to correlate daily and accumulated precipitation with accidents to determine critical rainfall thresholds. The results show well-distributed rainfall throughout the year, with no distinct dry and rainy periods, and November marks the beginning of the rainy season, lasting until April. During this period, over 80% of landslide occurrences were recorded. The correlation analysis allowed the determination of rainfall thresholds, confirming the influence of a 2-day accumulated rainfall on triggering landslides. For Ilhéus, the representative curve equation was $PD = 54.125PA^{-0.263}$, and for Itabuna, $PD = 29.67PA^{-0.201}$, where PD is daily precipitation and PA is the cumulative rainfall. Considering the current situation of the municipalities in terms of the small size of data series and information accuracy, future updates of rainfall thresholds are recommended.

Keywords: Mass movements, Rainfall threshold, Antecedent rainfall, Statistical method, Civil Defense.

Introdução

Movimentos gravitacionais de massa são movimentos de solo, rocha e/ou vegetação ao longo de uma vertente, sob a ação direta da gravidade, e podem ocasionar grandes transformações do relevo em um curto espaço de tempo (Tominaga, 2015a; Gerente *et al.*, 2023).

A redução dos riscos desses processos geomorfológicos é obtida primordialmente pela adoção de medidas preventivas adequadas, que necessitam de estudos prévios dos fatores condicionantes e dos mecanismos dos fenômenos, bem como de uma avaliação do perigo e do risco envolvido (Tominaga, 2015b). As características geomorfológicas, geológicas, pedológicas e climáticas do meio físico, somado à ação da atividade antrópica, por meio do uso e ocupação desordenados do solo, são fatores que condicionam esses processos.

O deslizamento de terra é um tipo de movimento de massa que atua em encostas naturais e taludes projetados em todo o mundo (Pei *et al.*, 2023). Entre os agentes efetivos, diretamente responsáveis por desencadeá-lo, merece destaque a pluviosidade, elemento do clima que provoca as transformações mais rápidas na paisagem no meio tropical e subtropical (Tavares, 2015).

Um certo período de chuva muda o teor de água do solo, e o aumento desta umidade causará uma diminuição nas propriedades intrínsecas do mesmo, como o ângulo de atrito interno e a coesão, o que torna mais fácil a ocorrência de desastres geológicos, como os deslizamentos de terra (Liu e Wang, 2023).

Os escorregamentos podem ser deflagrados tanto por eventos pluviométricos extremos, quanto por um evento chuvoso precedido por dias consecutivos de precipitação. Nesse sentido, vários pesquisadores estabeleceram coeficientes de precipitação que, quando ultrapassados, resultam em movimentos de massa.

Os estudos podem ser divididos em modelos baseados em processos físicos ou simulação numérica (Zhou *et al.*, 2019; Ray *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2022), ou modelos empíricos, a partir de séries históricas de precipitação e/ou bases estatísticas (Rosi *et al.*, 2019; Abbate, Papini e Longoni, 2021; Gariano *et al.*, 2021; Ng *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2023; Song *et al.*, 2024).

Os modelos de base física visam explicar os processos dinâmicos que ocorrem dentro de um talude durante um movimento de massa, necessitando, normalmente, de um volume

significativo de dados que são usados como entradas para a estrutura de modelagem, limitando assim sua aplicabilidade a encostas específicas ou pequenas áreas (Robbins, 2016; Rossi *et al.*, 2017). Além disso, em muitos casos, os dados necessários para tais modelos, geralmente, são difíceis de se obter, o que muitas vezes desencoraja o seu uso (Alam *et al.*, 2023).

Os modelos empíricos, por outro lado, são baseados em uma análise estatística da relação entre as ocorrências de movimentos de massa e os parâmetros pluviométricos, e visam entender esta relação independentemente da tipologia e escala do deslizamento (Chikalamao *et al.*, 2020; Alam *et al.*, 2023). Esses estudos correlacionam a distribuição temporal e espacial dos escorregamentos e as condições de precipitação. A intensidade e a duração das chuvas são os critérios mais comumente utilizados (Rosi *et al.*, 2019; Abbate, Papini e Longoni, 2021; Kim *et al.*, 2021; Alam *et al.*, 2023; Saha e Bera, 2024).

Mesmo que as abordagens empíricas negligenciem a física do problema, elas podem ser metodologias robustas e eficazes, além de necessitarem de poucos dados em comparação com abordagens de base física (Rosi *et al.*, 2019). Entretanto, um fator crítico para a determinação empírica de limiares de precipitação são a disponibilidade de dados históricos detalhados de deslizamentos e dados meteorológicos (Robbins, 2016). Segundo Chikalamao *et al.* (2020), tais restrições são um problema comum em países em desenvolvimento, onde escorregamentos geralmente ocorrem em áreas não monitoradas ou o número de estações pluviométricas disponíveis é limitado e/ou a resolução temporal dos dados, que geralmente estão disponíveis, é diária e não de hora em hora.

Assim sendo, o conhecimento acerca da gênese, frequência e magnitude dos eventos de precipitação são relevantes para o entendimento da dinâmica dos deslizamentos de terra (de Angelo, Fontão e dos Santos, 2022). Ademais, os limiares pluviométricos podem não fornecer estimativas confiáveis se o registro histórico dos escorregamentos não estiver completo ou não estiver documentado na forma de um relatório confiável para o período de tempo selecionado (Alam *et al.*, 2023).

Cabe ainda destacar o atual contexto de mudanças climáticas, com possíveis alterações nos padrões das chuvas. É necessária uma nova abordagem de caracterização desses eventos climáticos extremos que dominam o cenário de desastres no século XXI, aumentando a magnitude e a intensidade dos deslizamentos e criando

implicações ambientais e socioeconômicas para a sociedade (UNDRR, 2020; Sharma *et al.*, 2024).

Os deslizamentos de terra aumentaram significativamente nas últimas décadas, impactando quase 5 milhões de pessoas em todo o mundo entre 2000 e 2019, levando a prejuízos econômicos, danos a propriedades e perda de vidas (UNDRR, 2020; Melo *et al.*, 2021).

O último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021) traça o perfil das consequências do aquecimento mundial, entre as quais, aquelas decorrentes da intensidade e frequência das precipitações extremas, com enormes custos humanos e econômicos. Neste sentido, os estudos devem, cada vez mais, identificar soluções eficazes a partir da investigação de informações úteis disponíveis, informações adicionais necessárias ao desenvolvimento dos trabalhos e quais abordagens deverão ser consideradas em cada local.

Muitas das fatalidades que ocorrem a cada ano em virtude de eventos extremos de precipitação poderiam ser evitadas definindo ações preventivas simples, mas frequentemente não identificadas *a priori* (Montanari e Koutsoyiannis, 2014). Dessa forma, é importante entender como as características fisiográficas de cada área influenciam no modo como o movimento de massa ocorre, assim como seus fatores desencadeantes e socioeconômicos.

Neste contexto, os municípios de Itabuna e Ilhéus, localizados no sul do estado da Bahia, possuem desafios crescentes para a gestão do risco de deslizamentos de terra. As cidades se expandiram através da produção do cacau e a crise da lavoura na década de 80, desencadeou um intenso êxodo rural culminando em um crescimento urbano desordenado. Esta expansão expressiva gerou desequilíbrio social com grande parte da população buscando moradia em locais inapropriados.

Segundo relatórios elaborados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2013; 2019), Ilhéus e Itabuna têm uma ocupação desordenada e irregular das encostas, com construções de moradias sem supervisão técnica, e obras de drenagem e de contenção de taludes mal dimensionadas. Estes trabalhos resultaram na definição de 22 áreas consideradas de risco alto e/ou muito alto a movimento de massa em Ilhéus, e 12 áreas com mesmo grau de risco no município de Itabuna. Além do aspecto relacionado à declividade, as cidades possuem solos pouco espessos, com elevada porosidade e baixa permeabilidade, retendo muita água em períodos

de grande pluviosidade, característicos da região, favorecendo os processos de dinâmica superficial (CPRM, 2013; 2019).

Deste modo, devido às características fisiográficas, condições climáticas e à ação antrópica, estas cidades têm sido associadas a perdas humanas e econômicas causadas por escorregamentos desencadeados por chuvas ao longo do tempo. Por esse motivo, este trabalho parte da hipótese de que existem índices pluviométricos críticos, a partir dos quais os deslizamentos de terra são deflagados, podendo os mesmos serem definidos e utilizados em sistemas de monitoramento e alerta para a população.

A gravidade do problema e a impossibilidade de eliminação do risco em curto prazo, fazem com que esse tipo de diagnóstico seja uma importante ferramenta de auxílio para a comunicação de risco (Rosi *et al.*, 2019; Chikalamoa *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2020; Kim *et al.*, 2021; Yuniawan *et al.*, 2022; Alam *et al.*, 2023; Saha e Bera, 2024). É crucial compreender a relação entre a quantidade de chuva necessária para desencadear deslizamentos de terra como estratégia eficaz de previsão e mitigação, bem como no planejamento do uso do solo (Chinkulkijniwat *et al.*, 2022; Villaça, Santos e Zêzere, 2024; She *et al.*, 2024)

Pesquisas realizadas anteriormente em Ilhéus e Itabuna, a exemplo de Gomes *et al.* (2008), Franco, Menezes e Gomes (2009), CPRM (2013; 2019), já indicavam esta suscetibilidade a escorregamentos, porém, em nenhum deles foram apresentadas informações a respeito do conhecimento das chuvas críticas que deflagram estes processos geomorfológicos. Tal fato se dá em virtude da carência de dados pluviométricos detalhados e do histórico de ocorrências de deslizamentos.

Para este tipo de estudo são necessários dados pluviométricos horários coincidentes com o momento em que foi registrado o escorregamento. Os dados de precipitação devem ainda ser representativos de toda a área, utilizando para isso, uma rede de pluviômetros capaz de coletar registros em vários pontos distintos. No entanto, os municípios de Itabuna e Ilhéus iniciaram seus registros horários de precipitação a partir de meados do ano de 2015, quando estações pluviométricas automáticas foram instaladas pelo Centro Nacional de Monitoramento de Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). Ademais, existe a dificuldade por parte das Defesas Civas destes municípios da organização e manutenção de banco de dados com registros atualizados de ocorrências de escorregamentos que possibilite a

identificação do dia, horário e características dos mesmos, capaz de relacioná-los às chuvas.

Nesse sentido, este trabalho possui o objetivo de analisar o comportamento e as características das chuvas e sua relação com a ocorrência de escorregamentos em encostas nas cidades de Ilhéus e Itabuna. Para tanto, os objetivos específicos e o método a serem seguidos serão embasados em atividades que visam a catalogação temporal da ocorrência de eventos de escorregamentos e correlação entre precipitação diária e acumulada e estes movimentos de massa, para definição dos limiares pluviométricos críticos para as duas cidades.

Material e Métodos

A área estudada

Ilhéus e Itabuna são cidades localizadas no sul do estado da Bahia distantes, aproximadamente, 450 km da capital, Salvador (Figura 1). Constituem polos de desenvolvimento regional, sendo Itabuna a mais populosa com 186.708 habitantes, com área de 401,03 km² e densidade demográfica de 465,57 hab/km². Já Ilhéus possui população de 178.703 pessoas, ocupando uma área de 1.588,56 km² e densidade demográfica de 112,49 hab/km² (IBGE, 2023). Na nova Divisão Regional do Brasil, estas cidades

integram a Região de Influência Imediata composta por vinte e dois municípios (IBGE, 2017), possuindo população predominantemente urbana, tendo os municípios supracitados, respectivamente, 85% e 98% de taxa de urbanização (IBGE, 2019).

Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o clima de Ilhéus e Itabuna é do tipo Af (clima tropical úmido ou superúmido), com valores pluviométricos anuais acima de 1500 mm, com temperaturas médias anuais variando de 22 a 26°C. Este tipo climático é caracterizado por chuvas bem distribuídas ao longo do ano, sem uma estação seca bem definida, com precipitações maiores que 60 mm no mês mais seco.

A precipitação na área de estudo

A pesquisa iniciou-se com o entendimento do comportamento da precipitação na área estudada, a partir do acesso à base de dados de registros de estações pluviométricas localizadas tanto nos centros urbanos, quanto em seu entorno, obtidas através da plataforma HidroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA, 2020) e do Centro Nacional de Monitoramento de Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2023a). As informações dos postos pluviométricos estudados e a sua distribuição espacial podem ser visualizadas na Tabela 1 e na Figura 1.

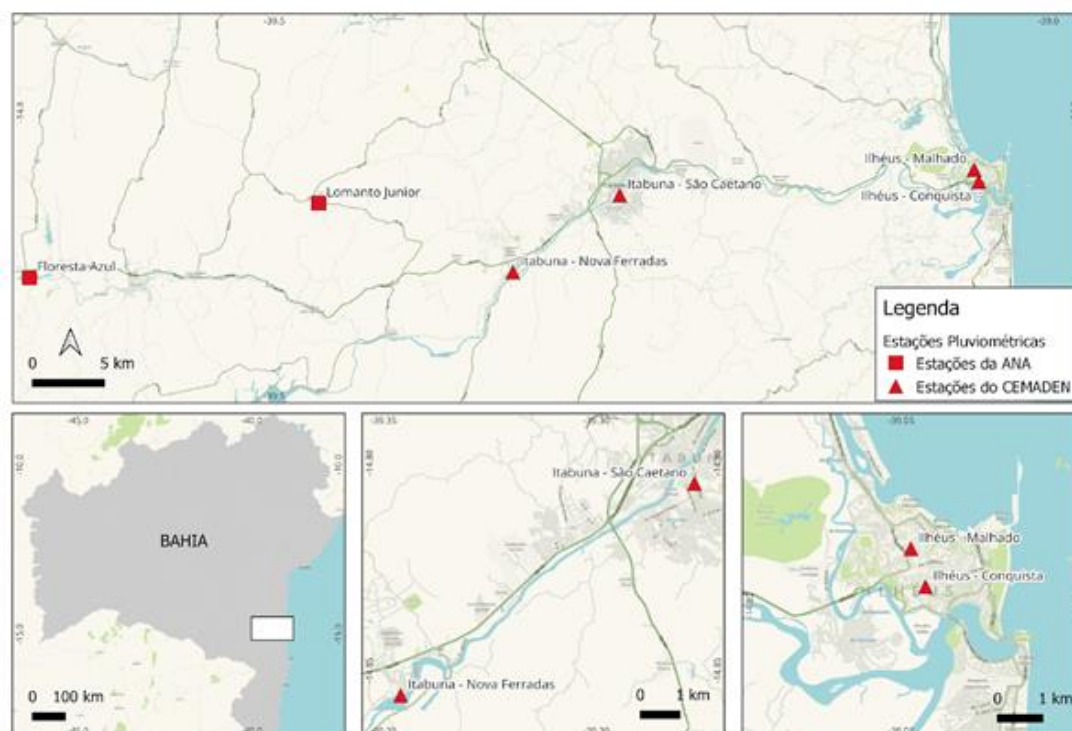


Figura 1. Localização geográfica dos municípios de Ilhéus e Itabuna e distribuição das estações pluviométricas estudadas.

Tabela 1. Estações pluviométricas pertencentes à bacia do rio Cachoeira e ao núcleo das áreas urbanas.

Código	Nome	Início da Série (mês/ano)	Fim da Série (mês/ano)	Duração (anos)	Latitude	Longitude
01439001	ANA - Lomanto Junior	Nov/69	Mar/21	52	-14.8103	-39.4714
01439002	ANA - Floresta Azul	Nov/69	Mar/21	52	-14.8597	-39.6583
291360601A	CEMADEN/Conquista/Ilhéus	Ago/15	Ago/23	8	-14.796	-39.045
291360602A	CEMADEN/Malhado/Ilhéus	Ago/15	Ago/23	8	-14.788	-39.048
291480202H	CEMADEN/Rio Cachoeira/Itabuna	Fev/16	Ago/23	7	-14.7992	-39.2778
291480202A	CEMADEN/São Caetano/Itabuna	Ago/15	Ago/23	8	-14.805	-39.277
291480201A	CEMADEN/Centro/Itabuna	Fev/16	Ago/23	7	-14.79	-39.274
291480203A	CEMADEN/Nova Ferradas/Itabuna	Ago/15	Ago/23	8	-14.856	-39.346

As estações da ANA, Lomanto Júnior e Floresta Azul, localizam-se na zona rural, em um raio de, aproximadamente, 20 e 40 km de Itabuna e 45 e 66 km de Ilhéus, respectivamente. Estas estações foram utilizadas para o reconhecimento do comportamento histórico das chuvas na região visto o longo período de registro de 52 anos. Os dados destas estações possuem registros em nível acumulado de pluviometria diária.

Já os dados das estações pluviométricas automáticas do CEMADEN registram o acumulado pluviométrico a cada hora do dia em uma série temporal de cerca de 8 anos em virtude de sua implantação em meados de 2015. Vale ressaltar que esta rede de observação monitora as condições das áreas de risco, que difere do monitoramento observacional meteorológico e hidrológico convencional realizado pela ANA. A disponibilidade de informações destas estações não é sinônimo de quantidade e qualidade de dados. Nestes registros existem algumas lacunas observacionais devido a problemas de manutenção e logística.

A partir de análise preliminar dos dados pluviométricos, chegou-se à conclusão de que as estações do CEMADEN 291480202H e 291480201A, localizadas no centro de Itabuna, seriam descartadas da análise em virtude da falta significativa de registros mensais que inviabilizam uma análise precisa. Em Ilhéus, das duas estações existentes, considerou-se um menor período de análise para a estação 291360601A – Conquista, que apresenta dados consolidados apenas a partir de abril de 2018. Dessa forma considerou-se aptas para análise as estações 291480203A – Nova Ferradas e 291480202A – São Caetano, em Itabuna, e 291360602A – Malhado e 291360601A – Conquista, para a cidade de Ilhéus.

Com objetivo de sanar possíveis falhas na base de dados das estações restantes do CEMADEN, realizou-se o preenchimento a partir da utilização de métodos de regressão linear

simples (Tucci, 2012). No entanto, para alguns meses foi verificado a ausência de dados para ambas estações inviabilizando este procedimento. Ademais, alguns meses não apresentaram coeficiente de correlação superior a 0,7 entre as estações, valor comumente adotado por outros autores para aplicação do método (Pruski *et al.*, 2004; Barbosa *et al.*, 2005; Oliveira *et al.*, 2010). Nessas situações os dados foram excluídos das estimativas de médias anuais e mensais. Em seguida, a homogeneidade dos dados foi comprovada a partir da comparação com registros de postos pluviométricos vizinhos. Para as séries históricas de precipitação obtidas da ANA não houve necessidade de tratamento dos dados, uma vez que os mesmos, já tratados, foram cedidos por Farias e Gomes (2023).

Com a utilização do *software* Hidro 1.4 (ANA, 2001) e de planilhas eletrônicas, foi possível calcular, para as estações da ANA, as precipitações médias mensal e anual, precipitações diárias e seus acumulados. Para análise de anomalias na série histórica, extraiu-se a média e o desvio padrão da precipitação anual para o período de 1970 a 2020. Com estes dados foi possível obter a normal climatológica com 50 anos de dados. De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM), a normal climatológica corresponde a um número mínimo de 30 anos de dados para que o valor médio seja considerado representativo daquela variável em análise no local considerado. A identificação de anomalia foi obtida a partir do cálculo da variação, que corresponde a diferença entre o evento de chuva analisado e a normal climatológica do período de 1970 a 2020, sendo identificado ou não a anomalia no caso de a variação ser maior que o desvio padrão naquele ano.

A análise descritiva realizada para as séries históricas de precipitação da ANA, permitiu ainda verificar as chuvas diárias máximas

registradas e o número de dias chuvosos (NDC) ao longo dos meses. Já as estações do CEMADEN, além das médias mensal e anual, os dados diários possuem registro horário, o que torna possível a análise dos acumulados dentro do intervalo de 24 horas.

Níveis de operação e alerta do CEMADEN

Após o entendimento do comportamento das chuvas na área em estudo, analisou-se as precipitações diárias registradas pelas estações automáticas, nas cidades de Itabuna e Ilhéus, com o objetivo de confrontar tais chuvas acumuladas em 24 horas, com os níveis de operação e alerta definidos pelo CEMADEN.

Desde dezembro de 2011 o Centro opera, em estado permanente de observação do território brasileiro, acompanhando a atuação de sistemas meteorológicos e a evolução das condições hidrológicas e geodinâmicas, assim como os possíveis impactos socioambientais relacionados à desastres naturais nos municípios monitorados (CEMADEN, 2023b).

Dentro deste procedimento de monitoramento, elaboração e emissão de alertas existem quatro diferentes níveis de operação, sendo eles Observação (verde); Moderado (amarelo); Alto (laranja) e Muito Alto (vermelho). No nível de observação é feito somente o acompanhamento das previsões de chuvas e dos índices pluviométricos. Já no nível moderado podem ocorrer deslizamentos e/ou inundação em virtude da precipitação nas últimas horas e acumulados de chuva nos últimos dias. No nível alto espera-se deslizamentos localizados e alagamentos pontuais enquanto que no nível muito alto espera-se que estes fenômenos ocorram de forma generalizada.

Os dados gerados pelos pluviômetros automáticos estão disponíveis para a sociedade através do Mapa Interativo, acessível pelo *website* do CEMADEN. Ao acessá-lo, a localização dos pluviômetros disponíveis é mostrada para todo o Brasil, bem como suas respectivas taxas de precipitação acumulada nas últimas 24 horas. Da mesma forma, a legenda relativa à pluviometria é mostrada, com os valores das faixas de precipitação associados à escala de cores. A coloração verde é utilizada para acumulados de precipitação inferiores a 10 mm, já a cor amarela para acumulados maiores ou iguais a 10 mm e menores que 30 mm, laranja entre 30 e 70 mm e vermelho acima de 70 mm. Na legenda também é utilizada a cor cinza para aqueles pluviômetros sem registro.

Deste modo, o tratamento dos dados foi feito de forma a determinar os acumulados diários para as estações São Caetano e Nova Ferradas, em Itabuna, e Conquista e Malhado, em Ilhéus. Os registros foram avaliados no período de agosto de 2015 a agosto de 2023, com exceção da estação Conquista cuja análise foi feita de abril de 2018 a agosto de 2023, período a partir do qual os dados se consolidaram. Os valores acumulados foram obtidos contabilizando os dados de 00:00h até 23:59h de cada dia e confrontando-os com as faixas de precipitação associadas à escala de cores definidas pelo CEMADEN. Os dados de precipitação foram separados em eventos que geraram alerta e eventos que não geraram.

Correlação entre precipitação e escorregamentos

Esta etapa se iniciou com uma revisão bibliográfica sobre trabalhos que correlacionam pluviometria e movimentos de massa no Brasil e no mundo. Esta fase é imprescindível, uma vez que não existe metodologia padrão adequada para todas as situações. Concluída a pesquisa bibliográfica, esforços foram concentrados no levantamento de informações sobre as ocorrências de escorregamentos nas áreas urbanas de Ilhéus e Itabuna, entre 2015 e 2023, período coincidente com o de monitoramento das chuvas pelo CEMADEN, na região. Para a obtenção da correlação entre a pluviosidade e os deslizamentos, o período de informações coletadas para ambos deve ser idêntico devido a interdependência entre os mesmos.

Dessa forma, foi elaborado um cadastro a partir de laudos expedidos pela Defesa Civil dos dois municípios, registros fornecidos pelo Corpo de Bombeiros da cidade de Itabuna, além de notícias em *blogs* e *sites*, disponíveis na internet. As informações disponibilizadas pelo Corpo de Bombeiros apresentavam apenas o quantitativo de escorregamentos por mês e ano, impossibilitando a utilização dos mesmos na etapa de correlação devido à importância do conhecimento mínimo do dia e local em que o evento foi deflagrado. Já os boletins cedidos pela Defesa Civil de Itabuna registraram apenas informações a partir de 2022, período coincidente ao início das atividades da atual gestão. A Prefeitura Municipal não possui registros históricos dos acidentes ocorridos nos anos anteriores. Por último, o material disponível na internet não pôde ser utilizado em sua totalidade devido a presença de muitos dados vagos e/ou ambíguos.

As informações levantadas foram organizadas em planilhas eletrônicas, seguindo

uma estrutura que considerou a cidade, o bairro, o logradouro onde ocorreu o fenômeno; o ano, mês e o dia do evento, além do pluviômetro automático mais próximo para a correlação posterior. Não foi possível analisar os acidentes a partir do horário em que ocorreram, uma vez que no boletim de ocorrência esta informação não é mencionada. Normalmente a ausência desse dado ocorre devido à falta de testemunhas preocupadas em registrar o horário da deflagração do escorregamento, falta de um profissional específico nas Defesas Cíveis municipais para realizar essas investigações, necessidade prioritária em prestar socorro aos atingidos, pelo risco no acesso às áreas afetadas e pela possibilidade de eventos secundários.

Uma triagem dos dados de eventos foi realizada na sequência, uma vez que a confiabilidade da correlação depende da quantidade e da precisão dos mesmos. Inicialmente foram excluídas ocorrências não relacionadas a deslizamentos de terra, como recalques, erosão, alagamentos, inundação, etc. Também foram descartadas ocorrências fora do período de monitoramento da precipitação pelo CEMADEN.

Ademais, os boletins de ocorrências de Ilhéus registram o dia da solicitação feita pelos moradores e não necessariamente a data exata do evento, sendo este chamado, muitas vezes, feito dias após o desastre. Já Itabuna, os boletins registram o dia da vistoria feita pela Defesa Civil, que também pode ocorrer nos dias seguintes ao evento. Portanto, também foram excluídos acidentes cujas datas não puderam ser verificadas ou estimadas.

Para Ilhéus, também foi percebido a necessidade de excluir alguns chamados em que os moradores contataram mais de uma vez o órgão municipal até receberem a vistoria, e aquelas ocorrências mais recentes, com status de pendente, ou seja, chamado ainda não atendido pela Defesa Civil. Nestes casos, como a visita dos técnicos ainda não havia acontecido, pode ter ocorrido uma classificação equivocada do evento pela falta de compreensão da situação de risco pela população vulnerável, conferindo uma incerteza ao chamado. Acidentes como recalques, podem ser relatados como deslizamentos de terra, por exemplo.

Também foram descartadas ocorrências com informações pouco aprofundadas ou endereço incompleto/incorreto que inviabilizou a avaliação quantitativa dos eventos. Em muitas situações não foi possível verificar se os chamados estavam relacionados a um único

deslizamento que atingiu várias residências, ou se cada um desses chamados estava associado a um escorregamento.

Em seguida, foram excluídos registros não relacionados diretamente à precipitação, uma vez que, em algumas situações, os acidentes podem estar associados a outras causas, como irregularidades na construção civil, execução de cortes e aterros instáveis, rompimento de tubulações de água e esgoto, lançamento de águas servidas, depósito de lixo entre outros. Assim sendo, foram descartados registros de escorregamentos em datas sem nenhum evento de chuva.

Por último, foi feita uma análise das informações objetivando um melhor entendimento da distribuição dos acidentes no tempo e no espaço e sua relação com a precipitação e os níveis de operação e alerta do CEMADEN.

A pesquisa prosseguiu com a verificação da possibilidade de se determinar a correlação entre pluviometria e deslizamentos para os municípios estudados. A correlação consiste na comparação entre os valores de precipitação que causaram os movimentos de massa e os que não causaram. Para esta análise, as ocorrências consideradas no cadastro final deste trabalho, foram classificadas em eventos simples (único escorregamento no dia) ou generalizados (mais de um escorregamento no mesmo dia), objetivando melhoria dos resultados. Foram ainda excluídos dados de precipitação de anos sem monitoramento dos acidentes geotécnicos, uma vez que esta lacuna nas informações impede a análise se tal evento de chuva provocou ou não ocorrências.

Em planilhas eletrônicas, foram elaborados gráficos de dispersão cruzando dados de chuva diária pela chuva acumulada em dias antecedentes, devido à importância desse parâmetro para a saturação dos solos, e os pontos com e sem escorregamentos. Foram experimentados os valores acumulados de 2 a 7 dias na tentativa de identificar o gráfico de menor número de dias de chuva acumulada onde estes pontos apresentasse uma separação mais evidente e permitisse a definição de uma linha de tendência e sua respectiva equação. Esta equação se caracteriza como a relação numérica entre as duas variáveis e a partir da qual pode ser definido limiares pluviométricos críticos.

A análise dos dados e as tentativas de correlação foram realizadas para Itabuna e Ilhéus separadamente, devido às características morfológicas distintas, além da disponibilidade de dados para estes municípios. Considerando a atual situação em termos de pequena dimensão dos

dados, de chuva e eventos, e ausência de informação sobre o horário preciso dos acidentes, a aplicação de metodologias que utilizam correlações da intensidade da chuva no momento do escorregamento foi impossibilitada.

Resultados e discussão

Quanto ao comportamento da precipitação na área em estudo

Farias e Gomes (2023), estudaram o regime pluviométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira (BHRC), que engloba as sedes municipais estudadas, e atestaram que a mesma possui precipitação média anual de 1.088,72 mm, com variabilidade espacial das chuvas entre as porções oeste e leste da bacia. A porção oeste apresentou períodos secos e chuvosos mais acentuados, enquanto a mais litorânea, a leste, onde se encontram as cidades de Itabuna e Ilhéus, não possuem uma diferença tão significativa entre esses períodos.

Santos, Barros e Ferreira (2023), também apontaram uma gradual redução dos índices pluviométricos no estado de Sergipe à medida que se afasta da costa, com períodos chuvosos menores e crescente irregularidade na distribuição pluviométrica anual, como reflexo dos efeitos da continentalidade sobre o clima. De modo similar, Gomes *et al.* (2021), identificaram grande variação espacial da pluviometria na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, evidenciada por fatores como a altitude, maritimidade e

continentalidade.

Segundo Farias e Gomes (2023), o mês de novembro marca o início do período de chuvas na BHRC que se estende até o mês de abril. Das estações pluviométricas estudadas pelos autores, Lomanto Júnior e Floresta Azul são as que mais se aproximam das áreas urbanas de Itabuna e Ilhéus e registraram precipitações médias anuais de 1419,7 mm e 1035,4 mm respectivamente. Historicamente houve uma tendência de decréscimo do volume médio precipitado na bacia, no entanto, não tem deixado de ocorrer os eventos extremos de precipitação.

A partir das informações obtidas diretamente da ANA, foi possível analisar neste estudo a precipitação das estações Lomanto Júnior e Floresta Azul. A Figura 2 apresenta os totais de precipitação anual observados, ao longo do período de 1970 e 2020, nas duas estações meteorológicas. Verifica-se que os valores na estação Lomanto Júnior são significativamente mais elevados que os de Floresta Azul devido à localização geográfica das estações, visto que a primeira está mais próxima do litoral, fato que contribui com a maior presença de umidade para a formação de chuvas.

Na estação Lomanto Júnior a precipitação máxima (2.206 mm) foi observada no ano de 1980 e a mínima (388,9 mm) ocorreu em 1971, ou seja, uma amplitude de 1817,1 mm. Já na estação Floresta Azul, a máxima (1478,6 mm) e a mínima (580,9 mm) foram registradas em 1970 e 2019 respectivamente, com menor amplitude, de 897,7 mm, como pode-se observar na Tabela 2.

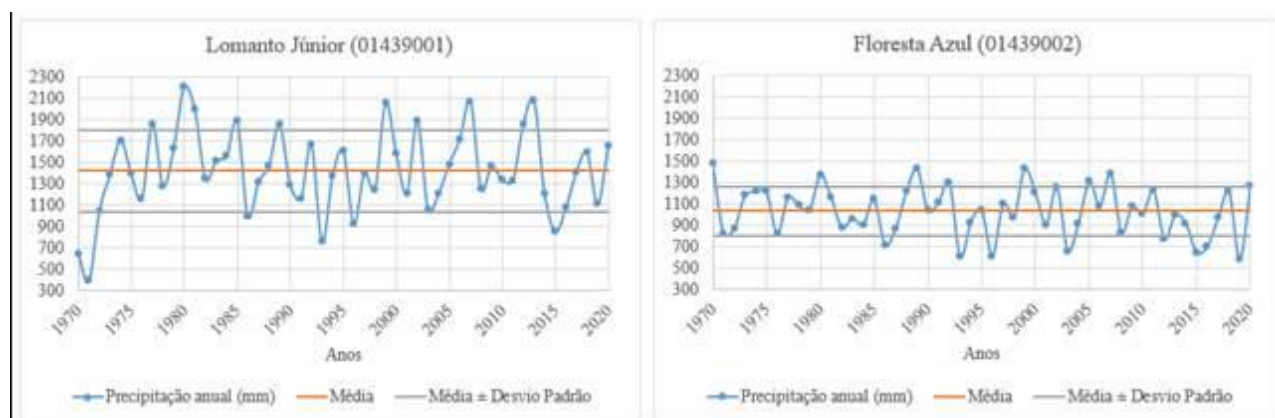


Figura 2. Precipitação anual ao longo do período de 1970 e 2020.

Tabela 2. Estatística descritiva para precipitação média anual no período de 1970 a 2020.

Estações	Média (mm)	D.P. (mm)	C.V. (%)	Máx. (mm)	Mín. (mm)	Amplitude (mm)
Lomanto Júnior	1419,7	385,0	27,1	2206,0	388,9	1817,1
Floresta Azul	1032,9	234,2	22,7	1478,6	580,9	897,7

Legenda: D.P.: Desvio Padrão, C.V.: Coeficiente de Variação, Máx.: Máxima; Mín.: Mínima

Foram observadas anomalias nas precipitações anuais para ambas as estações nos anos de 1980, 1989, 1999 e 2007, caracterizados como períodos chuvosos, e períodos com déficit de precipitação em 1986, 1993, 1996 e 2015. A partir de informações do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE, 2023), verificou-se que, nos anos de 1989, 1999 e 2007, o fenômeno *La Niña* estava atuante no oceano Pacífico, favorecendo chuvas acima da média na região Nordeste do Brasil. Em contrapartida, nos anos de 1986, 1993 e 2015, o *El Niño* estava atuante, portanto, reduzindo as chuvas em toda a região.

Demais pesquisadores também identificaram variação de padrões de precipitação em outras regiões, em decorrência da atuação desses fenômenos atmosférico-oceânico (Pedreira Junior *et al.*, 2020; Kist e Pacheco Gebert, 2022; Santos, Ferreira e Santana, 2023).

Mensalmente, as precipitações nas duas estações apresentam coeficientes de variação superior ao observado anualmente, como pode ser visto na Tabela 3. O mês com maior média de precipitação registrada na série histórica para a estação Lomanto Júnior é março (140,2 mm) e o menor é setembro (83,5 mm). Os meses com maior coeficiente de variação foram dezembro (91,1%), agosto (86,3%), fevereiro (79,7%) e janeiro (70,9%). A maior amplitude ocorreu em dezembro (696,7 mm) e a menor, em setembro (238,9 mm).

Já para a estação Floresta Azul, o mês com maior média de precipitação é novembro (120,6 mm), e com a menor média registrada também em setembro (51,8 mm). Os meses com maior coeficiente de variação foram dezembro (88,5%), fevereiro (79,9%) e janeiro (67,5%). A maior amplitude ocorreu no mês de dezembro (576,2 mm) e a menor, em setembro (131,0 mm), assim como na estação vizinha.

Tabela 3. Estatística descritiva para a precipitação média mensal das estações estudadas.

Mês	Lomanto Júnior						Floresta Azul					
	Média (mm)	D.P. (mm)	C.V. (%)	Máx. (mm)	Mín. (mm)	Ampl. (mm)	Média (mm)	D.P. (mm)	C.V. (%)	Máx. (mm)	Mín. (mm)	Ampl. (mm)
Jan	117,8	83,5	70,9	412,1	17,6	394,5	93,2	63,0	67,5	285,1	1,3	283,8
Fev	130,3	103,9	79,7	603,9	16,7	587,2	90,8	72,5	79,9	321,7	0,0	321,7
Mar	140,2	84,7	60,4	492,4	18,6	473,8	108,7	68,5	63,0	345,6	8,8	336,8
Abr	123,8	60,1	48,5	275,7	22,1	253,6	97,1	51,7	53,3	248,9	0,0	248,9
Mai	106,8	65,1	60,9	314,2	5,4	308,8	66,8	37,5	56,2	178,8	6,0	172,8
Jun	108,9	61,5	56,4	337,3	18,1	319,2	76,5	33,5	43,8	157,7	18,6	139,1
Jul	122,6	69,6	56,8	343,6	4,0	339,6	82,7	38,5	46,5	188,5	22,7	165,8
Ago	109,1	94,1	86,3	644,0	0,0	644,0	64,6	39,3	60,9	165,1	6,5	158,6
Set	83,5	50,3	60,3	241,6	2,7	238,9	51,8	32,8	63,4	131,0	0,0	131,0
Out	108,8	59,4	54,6	271,6	19,6	252,0	79,9	46,5	58,2	184,1	14,2	169,9
Nov	136,4	84,4	61,9	453,0	3,3	449,7	120,6	70,6	58,5	279,4	0,0	279,4
Dez	131,2	119,6	91,1	701,7	5,0	696,7	101,9	90,2	88,5	576,2	0,0	576,2

Legenda: D.P.: Desvio Padrão, C.V.: Coeficiente de Variação, Máx.: Máxima; Mín.: Mínima, Ampl.: Amplitude

A análise descritiva realizada para as séries históricas de precipitação, permitiu ainda verificar as chuvas diárias máximas registradas e o número de dias chuvosos (NDC) ao longo dos meses, uma vez que as precipitações de grande intensidade e a quantidade de dias consecutivos de chuva têm importância significativa na deflagração de movimentos de massa.

Para a estação Lomanto Júnior, as médias do NDC foram próximas para todos os meses do

ano, sendo os maiores em julho (17 dias) e abril (15 dias) e o menor em dezembro (12 dias), fato que pode indicar precipitações mais intensas neste último, uma vez a média mensal para o mês é a terceira maior. Este comportamento foi semelhante na estação Floresta Azul, onde a maior média de NDC também foi observada em julho (13 dias) e a menor em dezembro (9 dias) (Tabela 4).

Na estação Lomanto Júnior, o maior NDC

observado em um mês da série histórica analisada foi de 29 dias, em julho de 1994 e dezembro de 1989; seguido de 28 dias em março de 1997. Afora estes valores, registraram-se, ainda, 26 dias nos meses de fevereiro de 1992 e agosto de 1975. Destes anos apenas 1989 foi considerado muito chuvoso. Na série de dados foi registrado ainda período sem nenhuma chuva em agosto de 1971. O menor NDC observado em um mês foi de 1 dia, em novembro de 2015, ano este caracterizado com déficit hídrico. Ainda se observaram apenas 2 dias com precipitação no mês de julho de 1971.

Na estação Floresta Azul, o maior NDC observado em um mês na série de dados foi de 28 dias, em dezembro de 1989; seguido de 23 dias em fevereiro e maio de 1980, e outubro de 1990. Os períodos sem nenhuma chuva registrada foram dezembro de 2012, abril, setembro, novembro e dezembro de 2015 e fevereiro de 2016 e 2019. Cabe aqui mencionar que todos estes anos foram caracterizados por baixo índice pluviométrico. O menor NDC observado em um mês foi de 1 dia, em outubro de 2015 e janeiro de 2003 e 2017.

Tabela 4. Média mensal do número de dias chuvosos (NDC) nas estações Floresta Azul e Lomanto Júnior, no período de 1970 a 2020.

Lomanto Júnior													
Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Média	13	13	14	15	13	14	17	14	13	13	13	12	169
D.P.	5,1	5,9	5,6	5,2	4,4	5,7	5,3	6,0	5,4	4,9	5,2	6,0	34,5
C.V.	38,9	45,2	39,4	34,1	33,4	39,7	31,2	41,6	41,2	37,4	39,1	51,4	20,4

Floresta Azul													
Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Média	10	10	12	12	10	12	13	11	9	10	11	9	129
D.P.	4,8	5,6	4,4	4,8	4,6	4,1	3,6	4,8	4,2	4,2	4,5	5,4	26,4
C.V.	46,1	54,2	37,2	41,8	45,2	34,9	26,6	43,3	49,5	42,9	40,8	58,8	20,4

Legenda: NDC: Número de dias com chuva, D.P.: Desvio Padrão, C.V.: Coeficiente de Variação

As Figuras 3 e 4 apresentam as distribuições de frequência do número de dias com chuva ao longo dos meses nas estações Lomanto Júnior e Floresta Azul, respectivamente, no período de 1970 a 2020. Notadamente, há distribuição irregular de NDC ao longo do ano. Em relação à frequência de ocorrência de dias chuvosos mensais verificou-se ampla variação dos intervalos de classes de cada mês analisado.

Em relação às precipitações diárias registradas no período de 1970 a 2020, para as

estações Lomanto Júnior e Floresta Azul, a Tabela 5 apresenta os seus valores máximos, mínimos, médios e coeficiente de variação. Para a primeira estação, as maiores médias de chuva em um único dia foram observadas para os meses de março, novembro, dezembro, fevereiro e janeiro, em ordem decrescente. Já para segunda estação, foram registradas em novembro, dezembro, abril e janeiro. De acordo com Farias e Gomes (2023), esses são os meses que caracterizam o período chuvoso na bacia do rio Cachoeira.

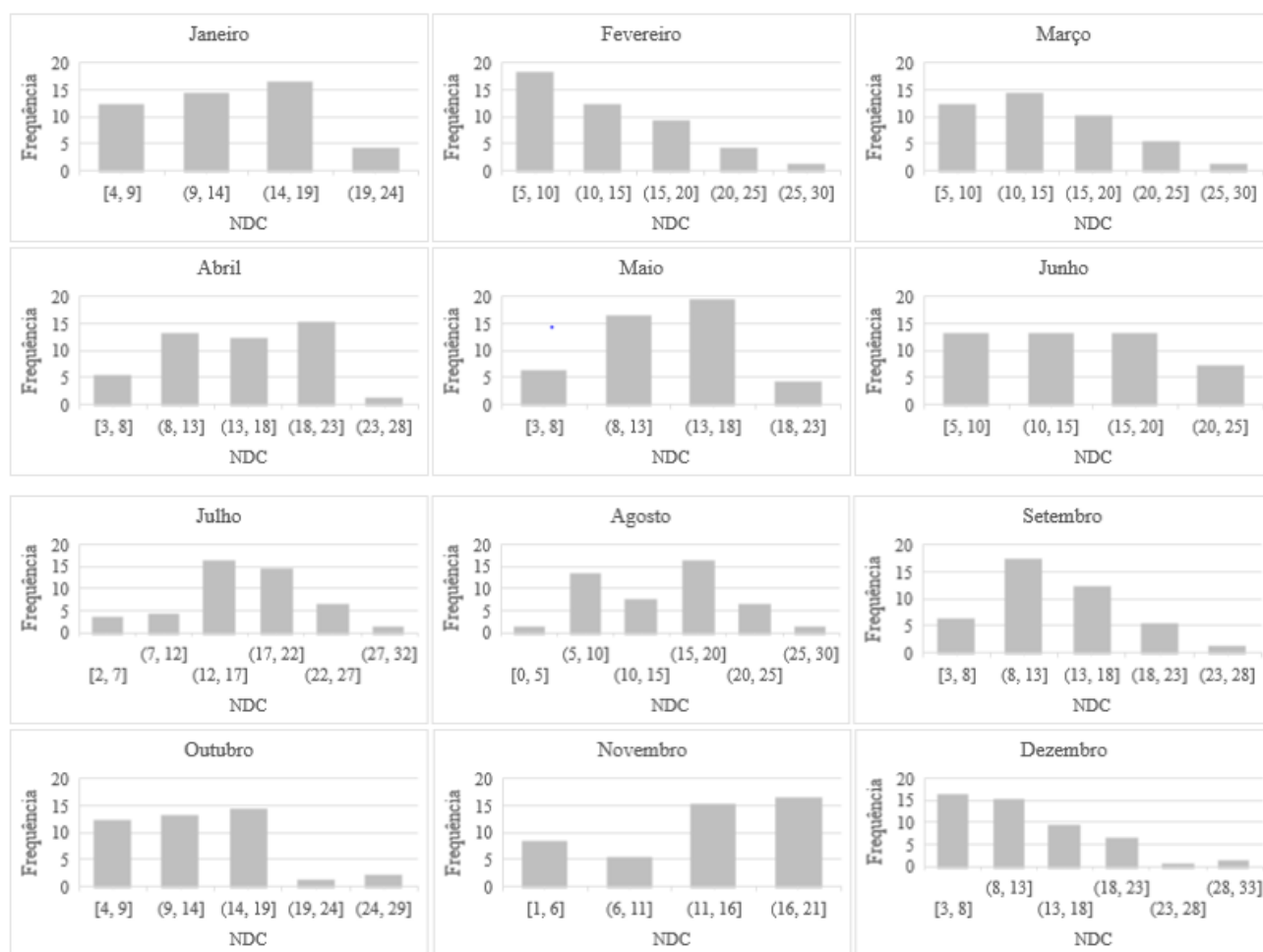


Figura 3. Distribuição da frequência do NDC na estação Lomanto Júnior, no período de 1970 a 2020.

Os maiores registros de precipitação diária no período, para a estação Lomanto Júnior, são apresentados na Figura 5. Em fevereiro de 2007 choveu 198,7 mm em um único dia, sendo a precipitação total do mês de 603,9 mm ao longo de 22 dias. Já em dezembro de 2018, 49,4% da precipitação registrada no mês foi computada em apenas um dia. Neste mês foi verificado a ocorrência de 11 dias chuvosos. Em novembro de 1998, houve 20 dias chuvosos, totalizando 453 mm, dos quais 116,9 mm em um dia. Para março de 1996, a máxima diária (107,6 mm) representou 71,7% da precipitação do mês.

Na estação Floresta Azul (Figura 6), em abril/1988, outubro/1998 e maio/2005, as chuvas máximas diárias registradas representaram mais de 50% da precipitação mensal. Em janeiro/2002, março/1981, junho/2020, agosto/2012 e outubro/1998, as chuvas máximas em um único

dia foram verificadas no mesmo ano em que se teve os maiores acumulados mensais de precipitação para estes meses. As máximas diárias registradas em janeiro, outubro e dezembro, ao longo da série histórica, representaram mais de 90% das suas respectivas precipitações médias mensais.

Chuvas intensas como estas podem desempenhar um papel importante na ocorrência de movimentos de massa. Cabe destacar que a ocorrência destes eventos não depende apenas da intensidade das chuvas, mas também de outros fatores, como a natureza do solo, a topografia da área, a vegetação e a atividade humana. Todos esses fatores podem interagir de maneira complexa e influenciar a probabilidade e a magnitude dos movimentos de massa em resposta às chuvas intensas.

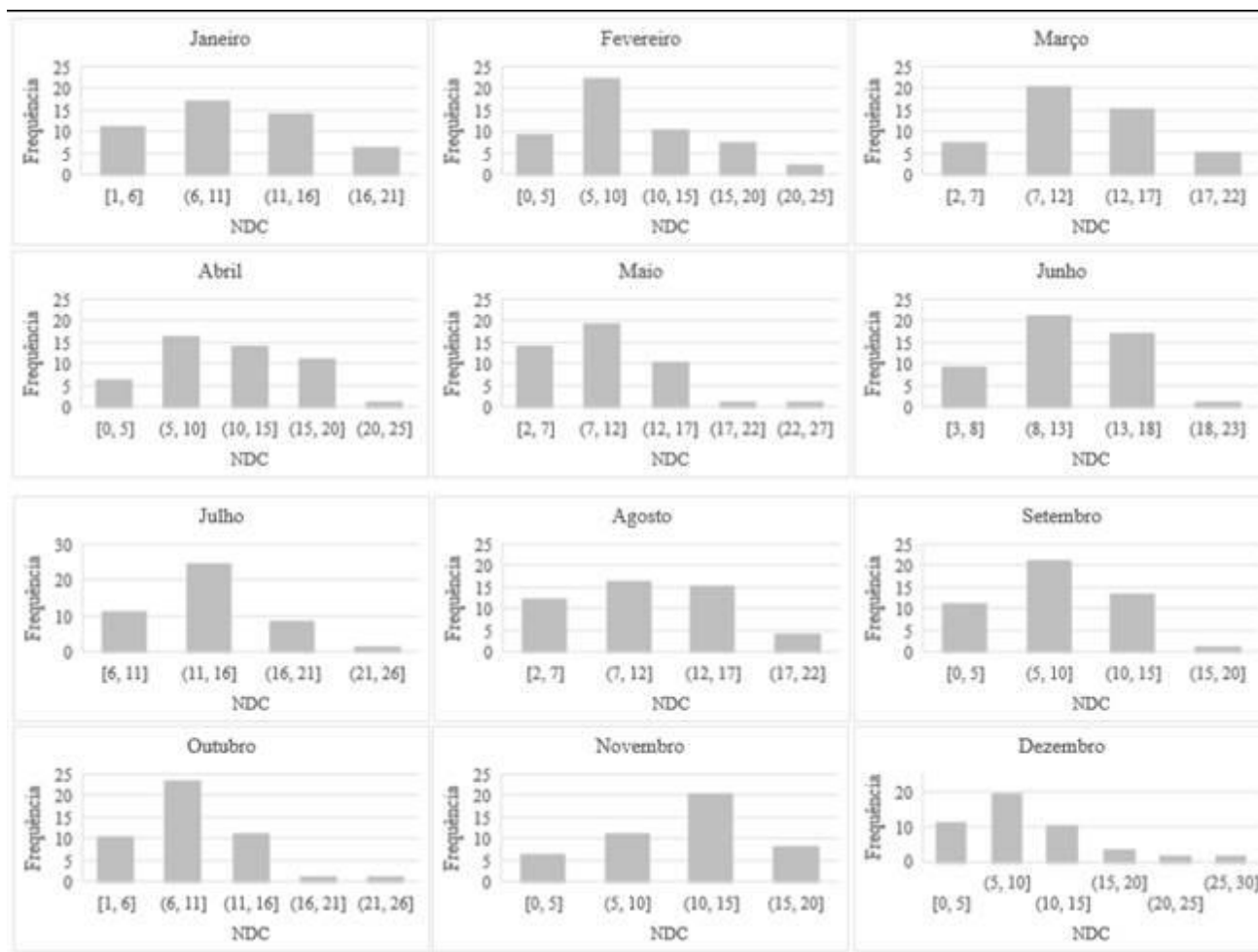


Figura 4. Distribuição da frequência do NDC na estação Floresta Azul, no período de 1970 a 2020.

Tabela 5. Precipitações diárias na estação Lomanto Júnior e Floresta Azul, entre 1970 a 2020.

Lomanto Júnior												
Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máximo	85,6	198,7	107,6	97,5	102,8	58,8	100,5	60,0	71,0	73,8	116,9	138,7
Mínimo	3,2	6,8	4,2	7,0	2,8	6,0	2,0	0,0	1,5	4,2	3,3	2,8
Média	30,7	32,1	39,7	29,6	26,6	25,2	26,2	24,0	21,7	29,9	36,1	35,9
C.V.	71,1	91,3	65,2	68,0	68,7	49,5	66,6	53,9	67,8	61,8	68,0	75,2
Floresta Azul												
Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máximo	91,3	76,5	75,3	86,2	54,2	58,3	59,0	37,5	43,7	103,7	90,2	114,5
Mínimo	1,3	0,0	2,6	0,0	2,7	7,0	7,0	4,5	0,0	5,1	0,0	0,0
Média	29,0	24,9	28,8	29,2	21,9	19,9	19,9	16,4	17,3	26,8	35,8	33,0
C.V.	69,5	75,3	64,5	59,8	56,3	50,4	55,6	57,9	56,1	69,3	55,1	73,4

Legenda: C.V.: Coeficiente de Variação

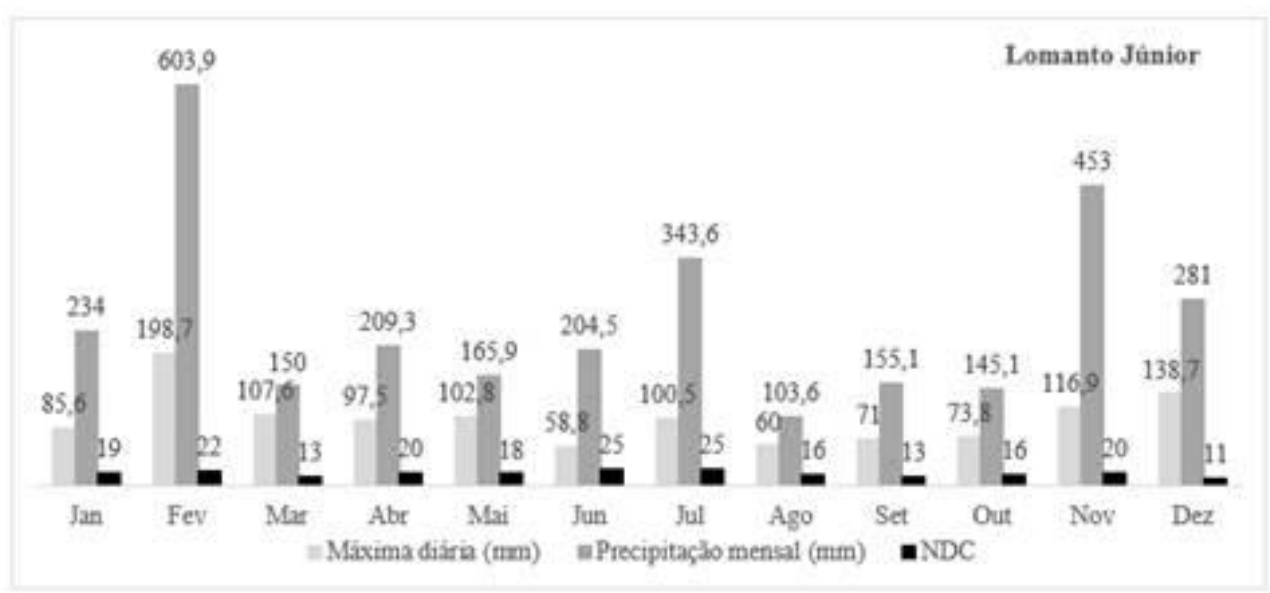


Figura 5. Máximas precipitações diárias registradas na estação Lomanto Júnior no período de 1970 a 2020.

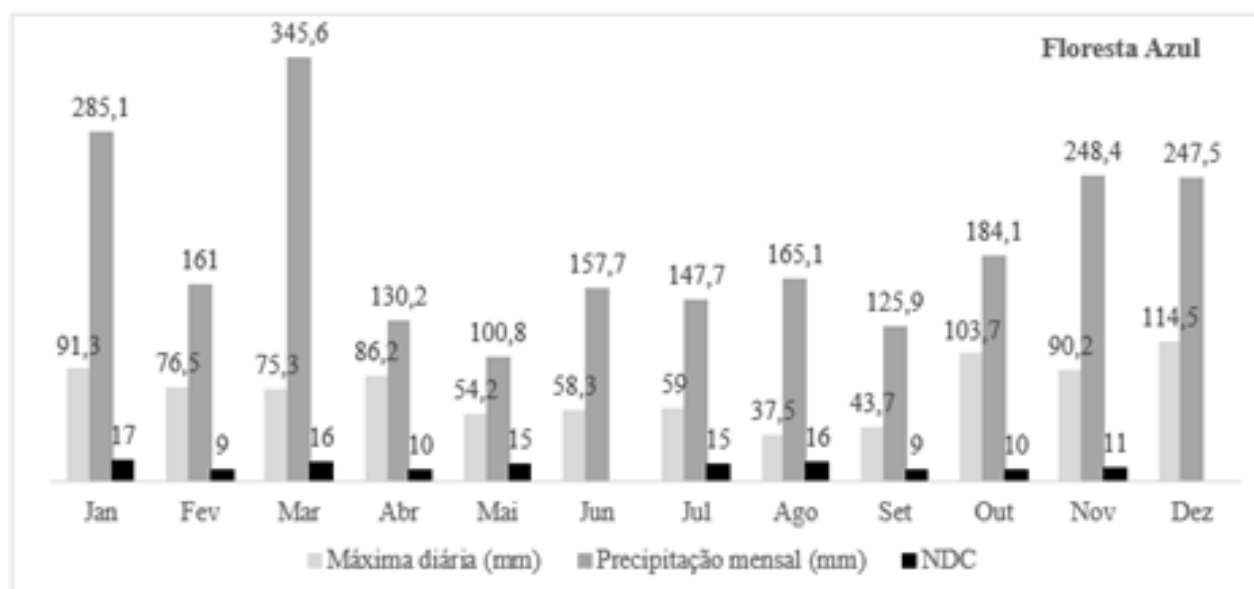


Figura 6. Máximas precipitações diárias registradas na estação Floresta Azul no período de 1970 a 2020.

Após a análise das duas estações da ANA, realizou-se a avaliação dos dados das estações do CEMADEN. Apesar desta base de dados, da rede de monitoramento automática, ser de um período menor (2015 a 2023), a mesma também foi utilizada na caracterização das chuvas nas áreas urbanas de Itabuna e Ilhéus. Nesse sentido, a Tabela 6 apresenta a precipitação média anual obtida entre 2015 e 2023 para as estações Nova Ferradas, São Caetano e Malhado e, entre 2018 e 2023 para a estação Conquista. Depreende-se que o ano com maior índice pluviométrico registrado no período, pelas estações de Itabuna foi 2022, já

em Ilhéus foi o ano de 2021.

Analisando a precipitação ao longo dos meses, fica claro que há uma variabilidade tanto no volume precipitado como nos meses mais e menos chuvosos (Figura 7). Os meses com maior pluviosidade se iniciam em novembro e se estendem até abril. O período menos chuvoso vai de maio a outubro. Este comportamento reforça o regime de precipitação verificado através das séries históricas de dados das estações Lomanto Júnior e Floresta Azul.

Tabela 6. Estatística descritiva para precipitação média anual nas estações do CEMADEN.

Município	Estações	Média (mm)	D.P. (mm)	C.V. (%)	Máx. (mm)	Mín. (mm)	Amplitude (mm)
Itabuna	Nova Ferradas	1341,8	167,7	12,5	1510,3	1081,4	428,9
Itabuna	São Caetano	1498,9	127,0	8,5	1682,5	1341,7	340,8
Ilhéus	Malhado	1736,4	280,9	16,2	2010,3	1420,9	589,4
Ilhéus	Conquista	2134,4	76,0	3,6	2219,5	2073,2	146,3

Legenda: D.P.: Desvio Padrão, C.V.: Coeficiente de Variação, Máx.: Máxima; Mín.: Mínima

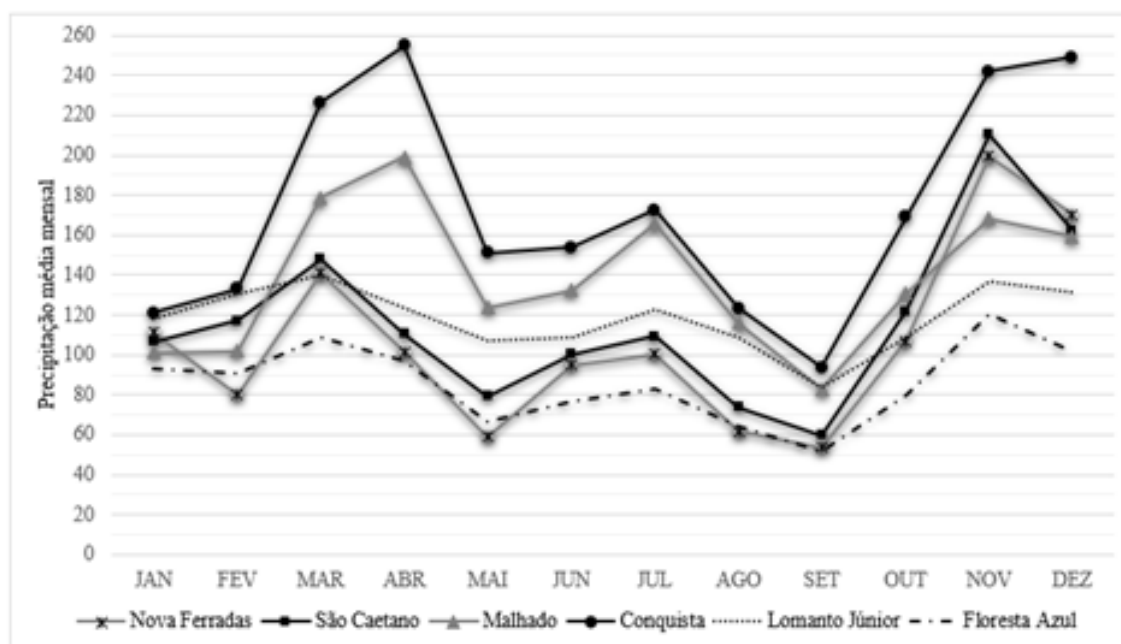


Figura 7. Precipitação média mensal das estações do CEMADEN e da ANA.

Como mostra a Tabela 7, o mês com maior média de precipitação registrada para a estação Nova Ferradas é novembro (199,4 mm) e o menor é setembro (53,4 mm), corroborando com os resultados encontrados para a estação São Caetano, com novembro registrando média de

210,4 mm e setembro 59,8 mm. Já para as estações Conquista e Malhado, localizadas em Ilhéus, a maior média de precipitação foi para o mês de abril, com 254,9 mm e 199,1 mm respectivamente, e a menor também em setembro com 93,8 mm e 82,9 mm.

Tabela 7. Estatística descritiva para precipitação média mensal no período de 2015 a 2023.

Estações		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Nova Ferradas	Média	111,1	80,2	141,1	101,5	59,1	95,0	100,5	61,8	53,4	107,1	199,4	170,1
	D.P.	66,7	53,1	84,4	30,3	40,8	60,2	43,4	37,8	36,1	72,5	95,0	136,1
	C.V.	60,0	66,3	59,8	29,8	68,9	63,4	43,2	61,2	67,7	67,7	47,7	80,0
São Caetano	Média	106,5	117,2	148,1	110,6	79,2	100,4	109,3	73,8	59,8	122,0	210,4	162,2
	D.P.	58,4	76,6	73,4	21,1	52,2	65,5	43,0	31,9	34,4	80,5	129,9	126,7
	C.V.	54,8	65,3	49,5	19,0	66,0	64,7	39,4	43,1	57,5	66,0	61,8	78,1
Conquista	Média	121,2	132,9	226,4	254,9	151,2	153,9	172,5	123,2	93,8	168,9	242,0	249,2
	D.P.	33,5	52,8	106,7	50,2	78,9	67,5	43,4	83,6	35,2	27,0	24,5	237,0
	C.V.	27,7	39,7	47,1	19,7	52,2	43,9	25,2	67,9	37,6	16,0	10,1	95,1
Malhado	Média	101,1	101,8	178,8	199,1	123,7	132,2	165,7	115,8	82,9	131,0	168,2	159,2
	D.P.	39,4	74,0	75,9	66,4	64,6	57,1	36,5	64,6	42,4	70,6	79,9	180,8
	C.V.	39,0	72,7	42,4	33,4	52,2	43,2	22,0	55,8	51,2	53,9	47,5	113,6

Legenda: D.P.: Desvio Padrão, C.V.: Coeficiente de Variação

Para o período de dados analisado merece destaque a precipitação no mês de dezembro de 2021 que representou aproximadamente 30% da pluviosidade do referido ano, para todas as estações supracitadas. Nas estações Nova Ferradas, São Caetano, Malhado e Conquista foram registrados 401,7 mm, 394,1 mm, 567,7 mm e 638,5 mm de chuva respectivamente.

Marengo *et al.* (2023), afirmam que as fortes chuvas no sul da Bahia em novembro e dezembro de 2021 tiveram tempo e intensidade atípicos. Para os autores, embora as precipitações tenham alternado na região entre estes dois meses, a chuva mais forte caiu no sul da Bahia durante a última semana de dezembro, entre os dias 22 e 29. A saturação do solo causada por chuvas intensas anteriores culminou em desastres.

Fazendo uma análise de correlação entre as precipitações médias mensais verificadas em todas as estações utilizadas neste estudo, observou-se que os dados de Lomanto Júnior e Floresta Azul apresentaram um coeficiente de determinação (R^2) de 0,85 e o R múltiplo de 0,92. Os mesmos valores foram encontrados para estes coeficientes nas estações Conquista e Malhado, em Ilhéus. Já o R^2 e R múltiplo entre as estações Nova Ferradas e São Caetano, em Itabuna, são de 0,94 e 0,97, respectivamente. Os valores encontrados denotam uma boa concordância entre os dados das estações, em virtude da proximidade entre as mesmas.

Como esperado, fazendo uma análise das médias mensais de precipitação das estações da ANA e do CEMADEN, obteve-se menores valores de correlação. O coeficiente de determinação e o R múltiplo entre o posto

Lomanto Júnior e as estações de Itabuna foram de 0,67 e 0,82, e em relação às estações de Ilhéus foram de 0,53 e 0,73, respectivamente. Entretanto, apesar de mais distante das zonas urbanas, a estação Floresta Azul apresentou melhor correlação com as estações de responsabilidade do CEMADEN. Em relação aos postos Nova Ferradas e São Caetano foi observado um R^2 de 0,85 e R múltiplo de 0,92. Já em relação às estações Conquista e Malhado o R^2 foi de 0,65 e o R múltiplo de 0,81.

Níveis de operação e alerta do CEMADEN e as precipitações diárias em Itabuna e Ilhéus

A partir da análise das precipitações diárias registradas pelas estações automáticas em Itabuna e Ilhéus, e confrontando estes dados com os níveis de operação e alerta definidos pelo CEMADEN, foi possível verificar os eventos de chuva que se enquadraram nos níveis de observação (verde); moderado (amarelo); alto (laranja) e muito alto (vermelho).

A avaliação foi realizada no período de agosto de 2015 a agosto de 2023, totalizando 2953 dias, para as estações Malhado, São Caetano e Nova Ferradas, e de abril de 2018 a agosto de 2023, para a estação Conquista, totalizando 1971 dias. Neste intervalo foram registrados mais de 50% de dias com algum volume de precipitação em todas as estações e os dias nos quais não foram realizadas medições constituem 0,7% para as estações localizadas em Ilhéus, 0,5 % para o posto São Caetano e 1,0% para Nova Ferradas (Tabela 8).

Tabela 8. Precipitações diárias em Itabuna e Ilhéus e os níveis de operação e alerta do CEMADEN.

Municípios	Ilhéus				Itabuna			
	Conquista		Malhado		São Caetano		Nova Ferradas	
	Ocorrências	%	Ocorrências	%	Ocorrências	%	Ocorrências	%
Estações Pluviométricas								
Dias Monitorados	1971	100	2953	100	2953	100	2953	100
Dias chuvosos	1160	58,9	1608	54,5	1630	55,2	1478	50,1
Dias sem dados	14	0,7	21	0,7	15	0,5	30	1,0
Dias com Nível Verde (<10 mm/24 horas)	838	42,5	1238	41,9	1315	44,5	1212	41,0
Dias com Alerta Amarelo (10 - < 30 mm/24 horas)	232	11,8	290	9,8	246	8,3	203	6,9
Dias com Alerta Laranja (30 - 70 mm/24 horas)	78	4,0	75	2,5	60	2,0	58	2,0
Dias com Alerta Vermelho (>70 mm/24 horas)	12	0,6	5	0,2	9	0,3	5	0,2

Depreende-se da Tabela 8 que, quando avaliadas as quatro estações estudadas, as ocorrências do nível de alerta verde, com chuvas de intensidade inferior a 10mm/24 horas, representam uma média de 42,5% dos dias chuvosos registrados nas quatro estações. A faixa de alerta amarelo (10 - <30 mm/24 horas) ocorre, em média, em cerca de 10,8% dos dias chuvosos nas estações de Ilhéus e cerca de 7,6% nos dias de chuva em Itabuna. Já a faixa de alerta Laranja ocorre em 3,3% dos dias chuvosos em Ilhéus e em 2,0% dos dias chuvosos em Itabuna. Por sua vez, menos de 1% dos dias chuvosos foram classificados em alerta vermelho nas 4 estações analisadas.

Para um maior detalhamento, a Tabela 9 apresenta os valores de precipitação maiores que 70 mm registrados em 24 horas (nível muito alto – alerta vermelho). É possível observar uma maior quantidade de registros de chuvas intensas no mês de dezembro, com 4 eventos nas estações Conquista e São Caetano e 3 nas estações Malhado e Nova Ferradas. Na sequência, os meses de março, abril e novembro foram os que mais registraram acumulados acima de 70 mm/24 horas. As chuvas mais intensas nestes meses são consistentes com a climatologia de precipitação, no qual o maior número de episódios concentrou-se no período de maior pluviosidade da região, como verificado anteriormente.

Tabela 9. Precipitações acima de 70 mm em 24 horas (Alerta Vermelho).

Nova Ferradas		São Caetano		Conquista		Malhado	
Data	Valor (mm)	Data	Valor (mm)	Data	Valor (mm)	Data	Valor (mm)
06/03/2020	89,1	06/03/2020	75,7	21/03/2019	116,9	21/03/2019	109,2
21/11/2020	103,6	01/11/2020	78,8	11/04/2019	73,2	11/04/2019	86,5
24/12/2021	79,2	21/11/2020	75,0	05/08/2019	73,4	09/12/2021	104,5
25/12/2021	79,9	10/12/2021	88,6	28/02/2021	72,4	10/12/2021	100,1
02/12/2022	109,5	24/12/2021	78,6	20/04/2021	73,2	24/12/2021	110,8
		25/12/2021	72,5	09/12/2021	118,7		
		15/11/2022	71,0	10/12/2021	116,9		
		02/12/2022	93,8	24/12/2021	124,1		
		06/03/2023	72,3	25/12/2021	73,6		
				03/03/2022	83,2		
				24/10/2022	77,1		
				21/04/2023	186,7		

Das estações pluviométricas avaliadas, as localizadas em Itabuna registraram os maiores acumulados diários em dezembro de 2022. Os valores foram de 109,5 mm (Nova Ferradas) e 93,8 mm (São Caetano). Já as estações localizadas em Ilhéus tiveram seus maiores acumulados diários em dezembro de 2021 na estação Malhado (110,8 mm) e abril de 2023 na estação Conquista (186,7 mm). Fazendo uma avaliação por ano, o número de eventos acima de 70 mm/24 horas em Ilhéus foi maior em 2021. Já em Itabuna, 2020 e 2021 tiveram maior número de ocorrências e ambos apresentaram a mesma quantidade de eventos para cada estação.

A análise dos eventos que se enquadraram no alerta laranja evidenciou maior frequência nas estações Conquista e Malhado, em Ilhéus, com 78 e 75 ocorrências respectivamente. Em Itabuna, a estação São Caetano registrou 60 eventos e Nova Ferradas 58. Este fato se associa à localização geográfica das mesmas e a proximidade do litoral

que contribui com a maior presença de umidade para a formação de chuvas.

O maior número de eventos diários entre 30 e 70 mm foi verificado no mês de novembro para Itabuna, com 14 na estação São Caetano e 11 em Nova Ferradas, e em abril para Ilhéus, com 11 no posto Conquista e 9 no posto Malhado. Cabe destacar que esta última estação registrou a mesma frequência para abril, outubro, novembro e dezembro. A menor ocorrência destes eventos se deu majoritariamente entre junho e setembro, meses considerados mais secos na região (Figura 8).

O ano de 2020 apresentou maior frequência de alertas laranja em Ilhéus, com 20 no posto Conquista e 17 no posto Malhado. Os anos de 2022 e 2021 ficaram em segundo e terceiro lugar, respectivamente. Já na estação São Caetano, em Itabuna, 2018 teve o maior número deste alerta totalizando 12 ocorrências, enquanto que em Nova Ferradas foi em 2022 com 11.

Já os eventos diários maiores ou iguais a 10 mm e menores que 30 mm (alerta amarelo) apresentaram uma maior variabilidade em sua distribuição mensal para os postos avaliados (Figura 9). Não houve um padrão entre as estações localizadas nestes municípios no que tange ao mês com maior frequência deste alerta. Enquanto no posto Conquista os meses com maior ocorrência foram, em ordem decrescente, abril,

julho e março, para o posto Malhado foi julho, junho e agosto. Já na estação São Caetano, a maior frequência se deu em março, dezembro e abril, e em Nova Ferradas ocorreram em dezembro, abril e junho. A análise permitiu verificar que tais chuvas mais fracas ocorrem de modo relevante nos meses que constituem o período seco.

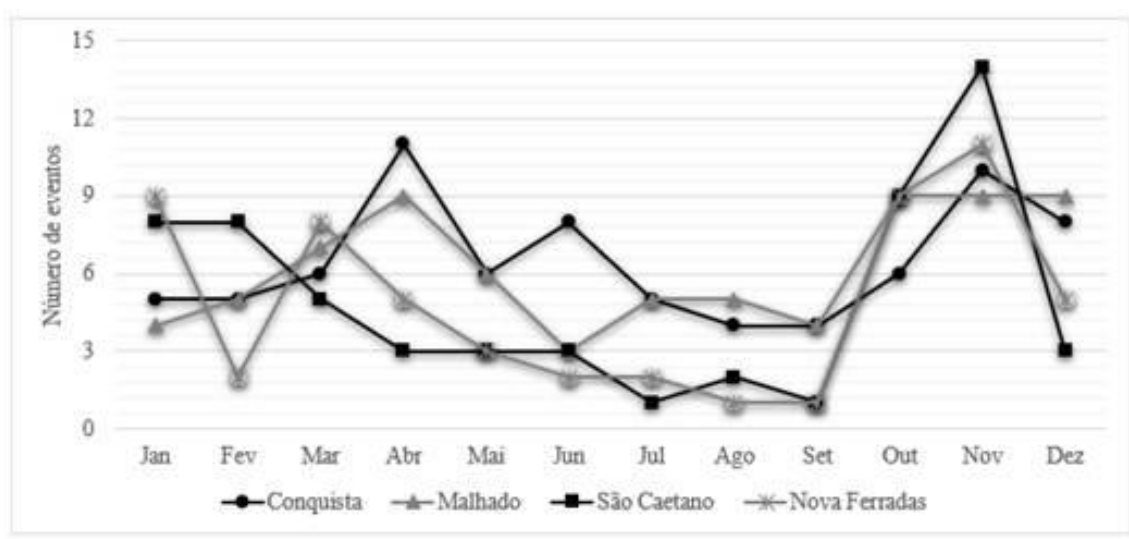


Figura 8. Eventos de precipitações entre 30 e 70 mm em 24 horas (Alerta Laranja).

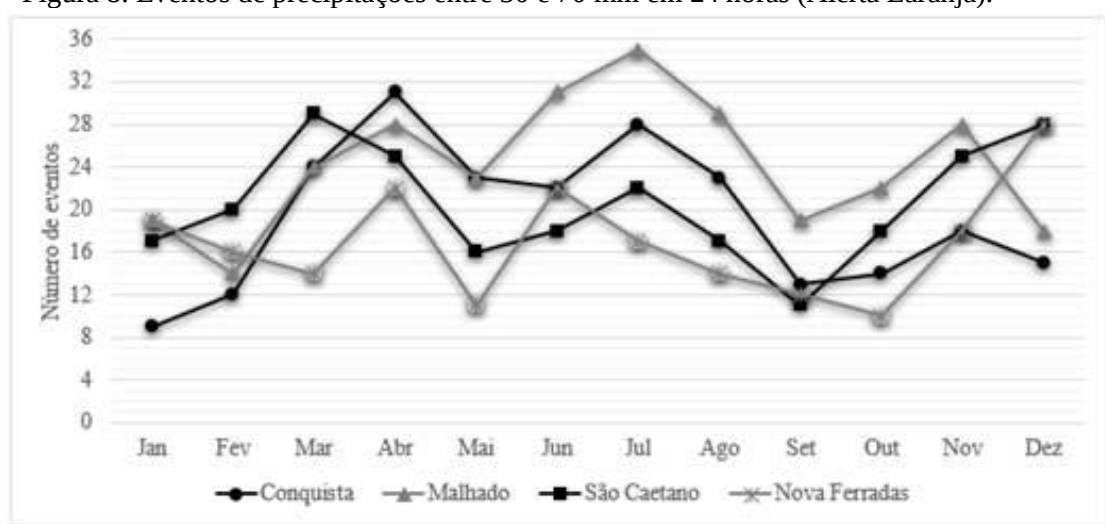


Figura 9. Eventos de precipitações maiores ou iguais a 10 mm e menores que 30 mm em 24 horas (Alerta Amarelo).

Quanto ao registro de escorregamentos em encosta na área em estudo

O cadastro final de escorregamentos deste trabalho consta dos registros levantados junto às Defesas Cíveis dos municípios estudados e notícias disponíveis em sites na internet. Após a triagem inicial, restaram 248 ocorrências, sendo 213 de Ilhéus e 35 de Itabuna, ocorridas em 34 e 17 datas distintas, respectivamente. O número de

deslizamentos que ocorreram no período da pesquisa, provavelmente é maior do que os cadastrados. No entanto, a falta de sistematização de informações, pelas instituições responsáveis, gerou lacunas nos bancos de dados, impossibilitando um levantamento mais fidedigno.

Os escorregamentos avaliados foram mais frequentes nos meses abril (38%) e dezembro (26%) em Ilhéus, e novembro (43%) e dezembro

(31%) em Itabuna, sendo facilmente compreendido pelo fato destes meses apresentarem as maiores médias de precipitação, como visto anteriormente. No período de chuvas, considerado de novembro a abril, foram registradas 84% das ocorrências de Ilhéus e 89% de Itabuna, confirmando a teoria de que a precipitação é o desencadeador imediato destes processos.

Confrontando as chuvas acumuladas em 24 horas nos dias das ocorrências com os níveis de operação e alerta definidos pelo CEMADEN, foi possível observar que, em Ilhéus, 58,7% dos deslizamentos aconteceram em dias com precipitações superiores a 70 mm (alerta vermelho), seguido de 27,7% em dias com chuvas entre 30 e 70 mm (alerta laranja). Já em Itabuna, o maior percentual de eventos (34,3%) ocorreu em dias de alerta laranja, seguido de 31,4% e 25,7% nos dias de alerta amarelo e vermelho, respectivamente. No nível de observação (verde) foram registrados apenas eventos simples, ou seja, um único escorregamento no dia, para ambas as cidades (Tabela 10). Nestes casos, normalmente, o acidente não está diretamente associado à chuva, mas a ações antrópicas como construção civil

irregular, execução de cortes e aterros instáveis, rompimento de tubulações de água e esgoto, lançamento de águas servidas, depósito de lixo, etc.

Para Ilhéus verificou-se a importância das chuvas concentradas na suscetibilidade aos escorregamentos. Resultados similares foram obtidos por Song *et al.* (2024), que estudaram deslizamentos de terra na área de Qinling, na província de Shaanxi, na China, e chegaram à conclusão que cerca de 92% dos eventos foram induzidos por chuva, entre os quais, aproximadamente 47% foram deflagrados diretamente por chuvas intensas, indicando que este tipo de precipitação foi a principal causa dos movimentos de massa. Para Lazzari e Piccarreta (2018), qualquer tipo de deslizamento de terra pode ser desencadeado por chuvas de alta intensidade.

Já em Itabuna, o fato de o banco de dados só ter sido consolidado e informatizado a partir de 2022 impossibilita a afirmação de que os eventos, neste município, sejam deflagrados majoritariamente nestas condições, necessitando de registros de um período de tempo maior.

Tabela 10. Precipitações nos dias dos escorregamentos em Itabuna e Ilhéus e os níveis de operação e alerta do CEMADEN.

Níveis de operação e alerta do CEMADEN	Ilhéus		Itabuna	
	Ocorrências	%	Ocorrências	%
Nível Verde (<10 mm/24h)	8	3,8	3	8,6
Alerta Amarelo (10 - < 30 mm/24h)	21	9,9	11	31,4
Alerta Laranja (30 - 70 mm/24h)	59	27,7	12	34,3
Alerta Vermelho (>70 mm/24 h)	125	58,7	9	25,7
Total	213		35	

As chuvas como elemento desencadeador de escorregamentos na área em estudo

Para a correlação entre pluviosidade e escorregamentos foram elaborados os gráficos de dispersão combinando precipitações diárias e acumuladas de dois a sete dias antecedentes, e os pares de pontos pluviométricos com e sem ocorrências, na tentativa de se delimitar a fronteira entre estas duas situações. Como os gráficos não apresentaram este comportamento nítido, aplicou-se uma classificação dos deslizamentos em simples e generalizados, objetivando melhorar a correlação, uma vez que os eventos isolados têm, muitas vezes, causas antrópicas.

Yuniawan *et al.* (2022), analisando precipitação diária versus precipitação

anterior, para ocorrência de deslizamentos na Indonésia, também encontraram melhores resultados ao traçar o limiar pluviométrico considerando apenas grandes deslizamentos de terra, fornecendo uma boa previsão dos eventos e baixo valor de erro. Igualmente, Mendes *et al.* (2015) encontraram um padrão melhor de separação das precipitações com e sem escorregamento utilizando casos de mais de uma ocorrência por dia. Os autores associaram a obtenção de limiares críticos de chuva baixos na deflagração de escorregamentos em São José dos Campos/SP, ao adensamento urbano nas áreas de risco.

Em seguida, foram definidas linhas de tendência do tipo potencial e suas respectivas equações, ajustadas aos pontos correspondentes

aos dias com acidentes generalizados. Diversos autores, que realizaram igualmente estudos de correlação, também definiram curvas potenciais como melhor ajuste aos dados. Desde pesquisas pioneiras sobre o tema até trabalhos mais recentes (Caine, 1980; Tatizana *et al.*, 1987; Salles e Amaral, 2013; Ma *et al.*, 2014; Rosi *et al.*, 2019; Huang *et al.*, 2023; Saha e Bera, 2024).

De modo geral, a dispersão dos dados nos gráficos gerados inviabilizou a definição de uma fronteira nítida isolando a zona segura da insegura quanto à deflagração de eventos, apesar dos critérios de filtragem utilizados para seleção dos escorregamentos. A separação definida pela linha de tendência não foi precisa, com muitos pontos abaixo da curva associados aos deslizamentos generalizados e pontos acima não associados.

Como as curvas não apresentaram um bom ajuste ao universo de dados, novas linhas de tendência foram desenhadas conectando pontos referentes às menores precipitações que provocaram deslizamentos, definindo-se um limite inferior de risco. Para isto, buscou-se definir curvas com coeficiente de determinação (R^2) satisfatórios. Deste modo, para ambas as cidades, os dados de precipitação relacionados a mais de um escorregamento localizaram-se predominantemente acima da curva.

Chikalamao *et al.* (2020), na bacia hidrográfica de Bogowonto, Indonésia, também ajustaram manualmente a curva de separação das chuvas com e sem escorregamentos, em seus gráficos de dispersão. Os autores relatam que as incertezas associadas aos dados de precipitação, à confiabilidade da data do deslizamento registrada no inventário, além possibilidade de alguns eventos não terem sido relatados, definiram a adoção desse procedimento. Maturidi *et al.* (2021), afirmam que a definição dos limiares pluviométricos requer, dos pesquisadores, uma análise crítica e métodos compatíveis dentro das limitações de cada local.

A Figura 10 mostra os gráficos resultantes para 2, 3 e 4 dias de chuva acumulada gerados para Ilhéus. Para acumulados a partir de 5 dias, a dispersão foi ainda maior e, portanto, não foram apresentados. Pode-se observar, em todos os gráficos, que o aumento no valor acumulado de precipitação implica em menor precipitação diária necessária para deflagrar os escorregamentos. Já em períodos com baixas precipitações acumuladas nos dias anteriores, os escorregamentos tendem a ocorrer com precipitações diárias maiores.

O papel do evento cumulativo de chuva é significativo porque irá saturar a camada de solo e, conseqüentemente, reduzir seus parâmetros de

resistência (coesão e ângulo de atrito), o que eventualmente desencadeia os acidentes mesmo a uma precipitação diária menor (Molina, Cardoso e Nogueira, 2015; Naidu *et al.*, 2018; Maturidi *et al.*, 2021).

O gráfico de 2 dias de chuva acumulada apresentou melhor padrão de separação para Ilhéus. A equação encontrada para correlação foi $PD = 54,125PA^{-0,263}$ sendo “PD” a precipitação diária e “PA” a acumulada pluviométrica. Foi possível verificar, também, que alguns pontos de deslizamentos estão situados sobre o eixo y, mostrando que a chuva diária desempenha influência significativa para a deflagração dos acidentes. Acumulados diários em torno de 60 mm, ocasionaram escorregamentos no município mesmo sem registro de chuva nos dias anteriores. Acumulados de chuva a partir de 15 mm em 2 dias se mostraram suficientes para deflagrar os eventos generalizados em dias com precipitações de 10 mm. Ademais, precipitações diárias de 40 mm causaram deslizamentos mesmo com precipitações acumuladas inferiores a 10 mm.

Os métodos que relacionam precipitação diária e antecedente têm sido amplamente utilizados para definir limiares pluviométricos críticos, uma vez que tanto uma chuva intensa quanto um evento chuvoso prolongado nos dias anteriores, podem causar deslizamentos.

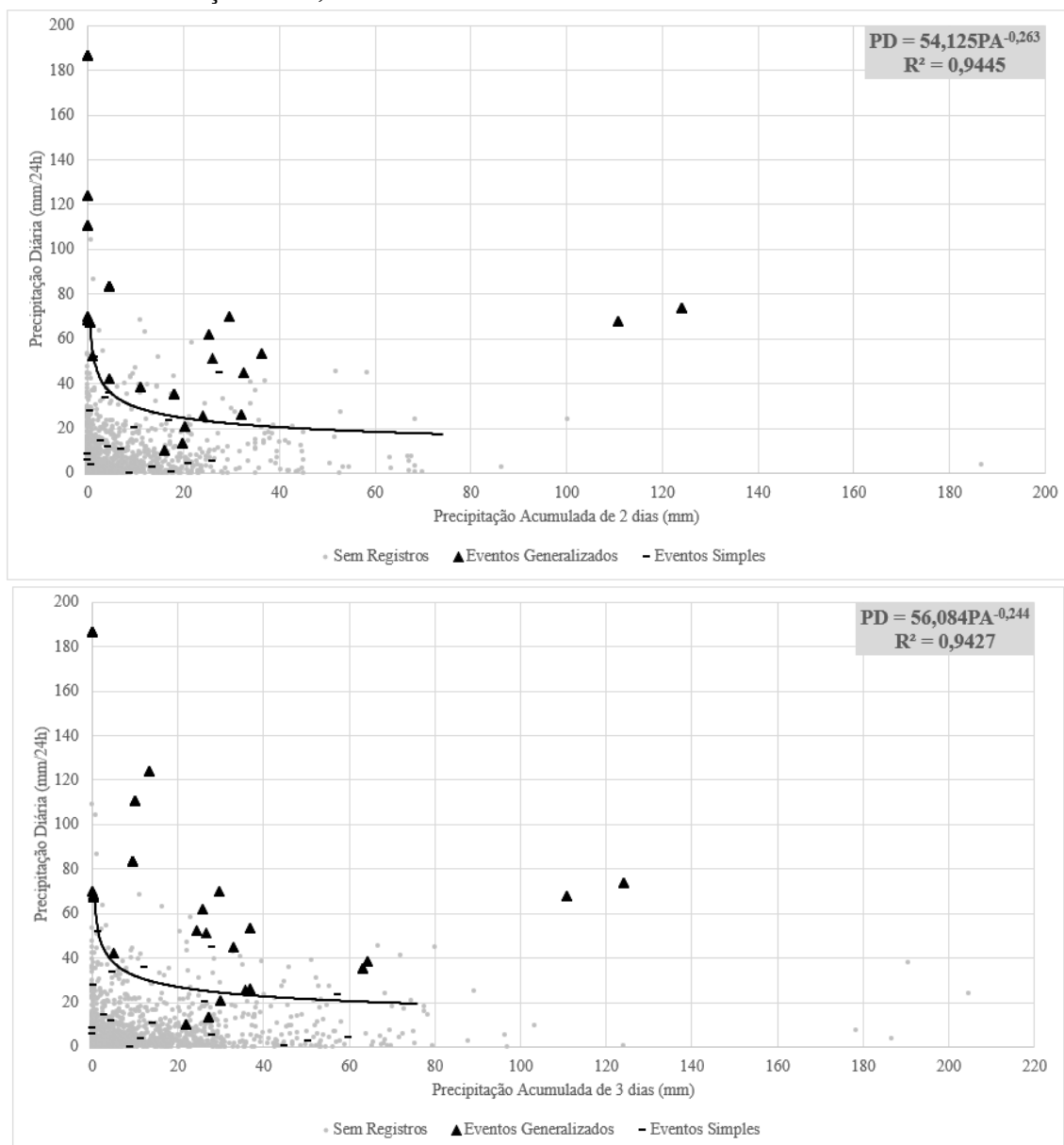
Naidu *et al.* (2018), em Amboori, na Índia, identificaram que a chuva antecedente de 5 dias *versus* a precipitação diária forneceu o melhor ajuste aos dados. Huang *et al.* (2023), observaram que deslizamentos de terra, na cidade de Bazhong na China, são induzidos, principalmente, por chuvas fracas no dia do evento precedidas de chuvas moderadas em 6 a 10 dias antecedentes. Já Chikalamao *et al.* (2020), encontraram a combinação de precipitação diária e 15 dias de precipitação antecedente como a melhor previsão para escorregamentos em bacia hidrográfica da Indonésia.

Em contrapartida, Kim *et al.* (2021), revelaram que a maioria dos deslizamentos de terra na Coreia do Sul foram influenciados por precipitações intensas, sendo apenas 5% destes movimentos de massa desencadeados por precipitação antecedente. Do mesmo modo, Ng *et al.* (2021), constataram que as tempestades severas desempenham papel mais importante para a previsão de deslizamentos em Hong Kong, do as chuvas antecedentes, já que a maioria dos deslizamentos são classificados como rasos.

A Figura 11 mostra os gráficos para 2, 3 e 4 dias de chuva acumulada gerados para Itabuna. Assim como para Ilhéus, para acumulados a partir

de 5 dias, a dispersão foi ainda maior e também não foram apresentados neste trabalho. O gráfico de 2 dias, ainda que não satisfatório, também apresentou melhor padrão de separação. A equação definida para a cidade foi $PD = 29,67PA^{-0,201}$. O gráfico de 4 dias, apesar de apontar um coeficiente de determinação maior, teve sua curva

ajustada a menos pontos, em virtude da grande dispersão. A análise dos dados disponíveis concluiu que os escorregamentos generalizados ocorreram quando os volumes de chuva superaram 40 mm em 24 horas e quando ocorreram cerca de 20 mm para acumulados menores que 10 mm em 2 dias.



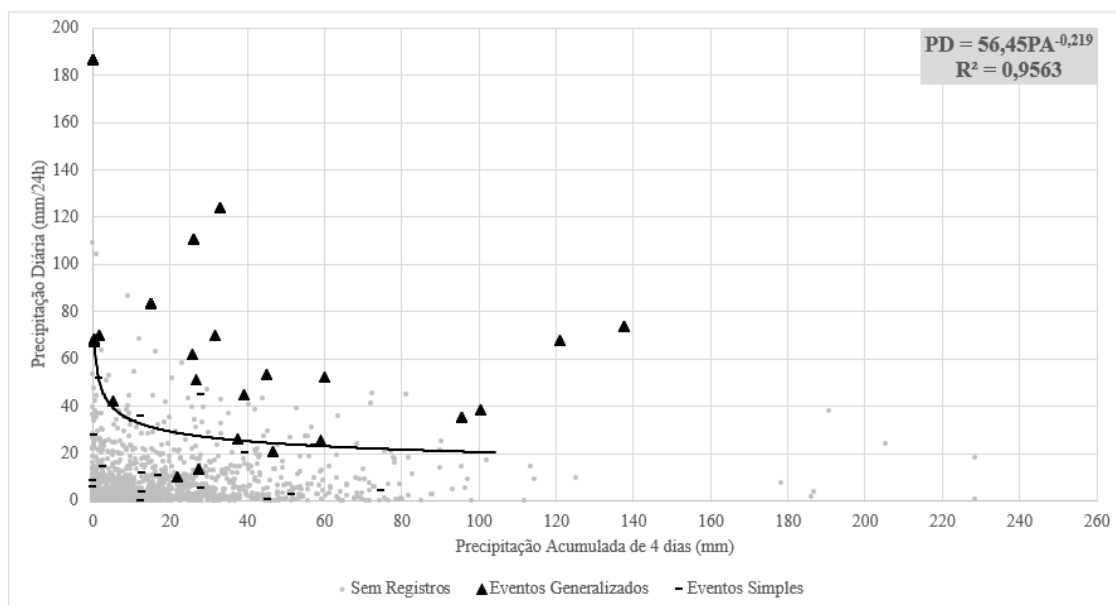
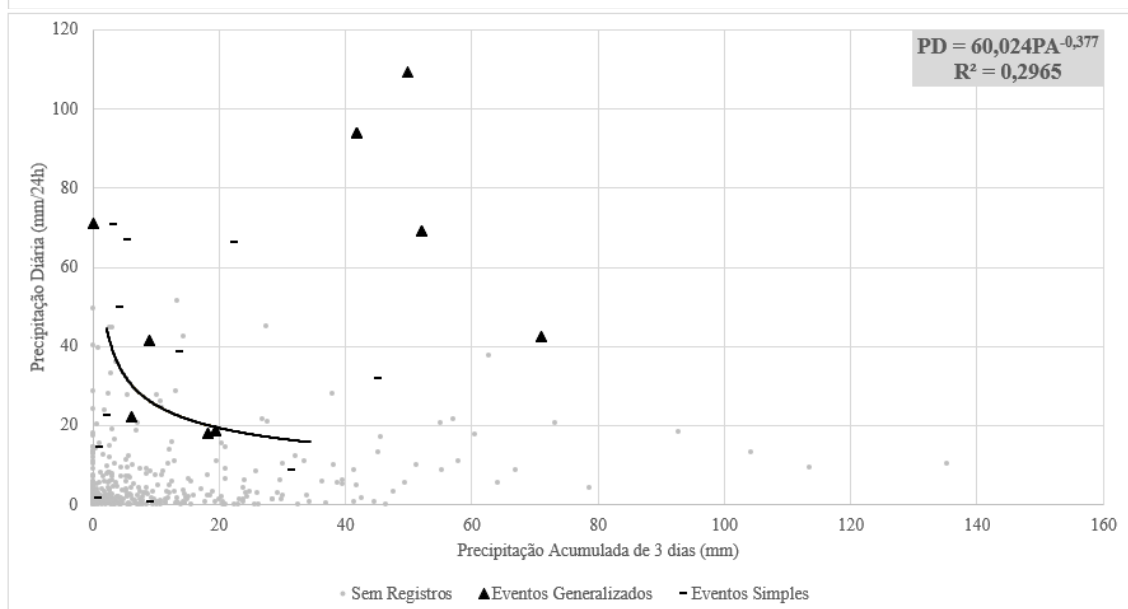
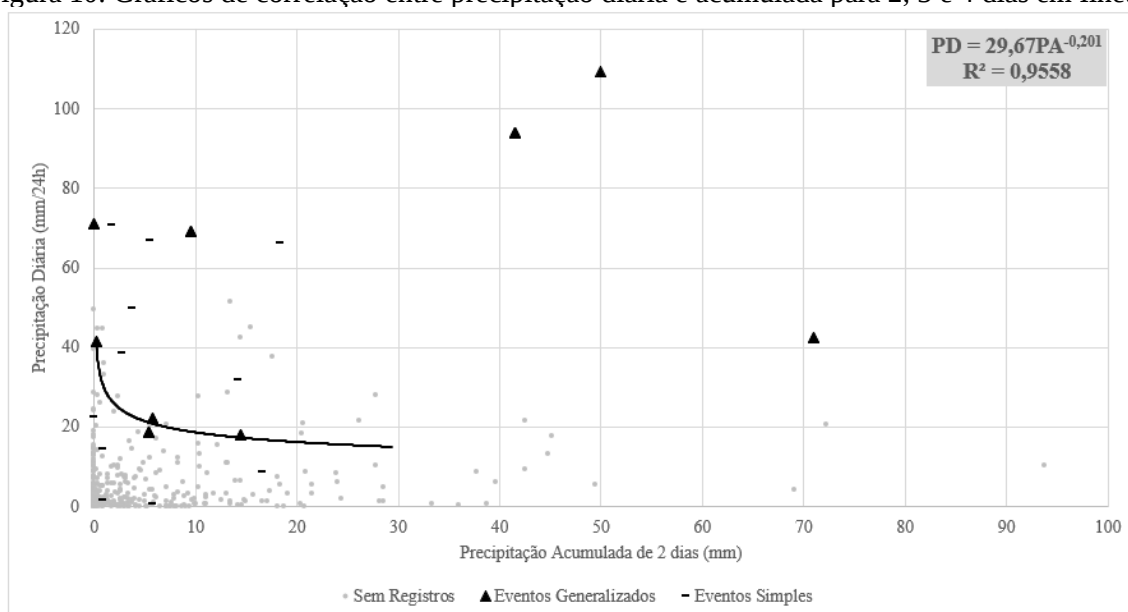


Figura 10. Gráficos de correlação entre precipitação diária e acumulada para 2, 3 e 4 dias em Ilheus.



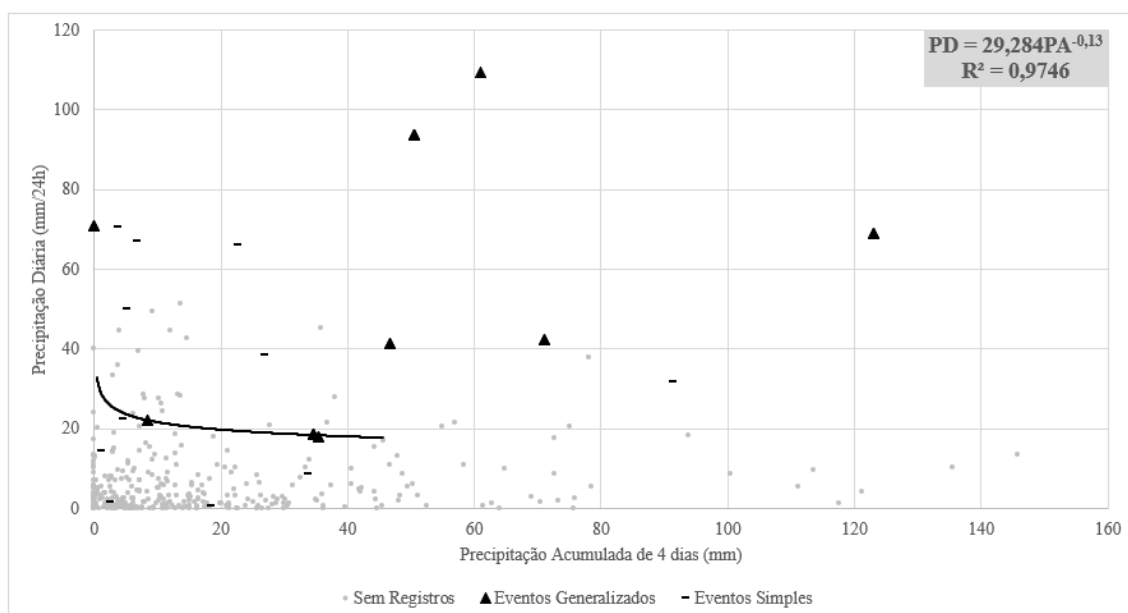


Figura 11. Gráficos de correlação entre precipitação diária e acumulada para 2, 3 e 4 dias em Itabuna.

Não foi possível encontrar uma relação satisfatória entre precipitação diária e acumulada para Itabuna, em virtude do cadastro de escorregamentos. Os problemas associados aos resultados desta análise são decorrentes da ausência de um histórico dos acidentes consistente e ininterruptos dos anos anteriores e o registro da data real e o horário exato das ocorrências. Estas informações são essenciais para a identificação de séries temporais de precipitação precisas e representativas que precedem o escorregamento.

Um requisito importante para esse tipo de trabalho é que as séries de dados sejam suficientemente longas e representativas, tanto do ponto de vista qualitativo quanto quantitativo. A precisão do limiar dependerá fortemente da exatidão com que se conhece o horário dos eventos, informação cuja coleta depende fundamentalmente da Defesa Civil Municipal (CEMADEN, 2018; Gariano *et al.*, 2021). Ademais, Magrì *et al.* (2024) ressaltam a importância da atualização contínua do banco de dados, com as informações combinadas sobre precipitação e registros de deslizamentos ocorridos, tornando possível melhorar a calibração dos modelos.

Conclusões

O estudo do regime pluviométrico em Itabuna e Ilhéus mostrou chuvas bem distribuídas ao longo do ano, sem períodos secos e chuvosos acentuados. O mês de novembro marca o início do período das chuvas na região, que se estende até abril. O mês de setembro apresentou a menor média registrada nas séries históricas. Também foi

verificada a influência litorânea no comportamento pluviométrico, com as estações mais a leste apresentando maiores registros de precipitação devido a maior presença de umidade.

Analisando as chuvas diárias, as ocorrências de escorregamentos e confrontando estas informações com os níveis de operação e alerta definidos pelo CEMADEN, verificou que mais de 40% dos dias chuvosos, nos municípios estudados, registraram menos de 10 mm, índice pluviométrico enquadrado no nível de observação (verde). Nestas situações foram computados apenas escorregamentos isolados. Em contrapartida, mais de 80% dos deslizamentos, nas duas cidades, se deram durante o período chuvoso, confirmando que a precipitação é o desencadeador imediato destes processos.

Em Ilhéus, cerca de 59%, 28% e 21% dos deslizamentos aconteceram em dias de alerta vermelho (acima de 70 mm/24h), laranja (30 – 70 mm/24h) e amarelo (10 – <30 mm/24h), respectivamente, confirmando a importância das chuvas intensas na suscetibilidade aos eventos. Os meses de abril e dezembro, que estão entre as maiores médias mensais de precipitação, apresentaram a maior frequência destas ocorrências.

Já em Itabuna, o maior percentual de eventos ocorreu nos meses de novembro e dezembro, também considerados mais chuvosos, em dias de alerta laranja (34,3%) e amarelo (31,4%). Nos dias de chuvas intensas (alerta vermelho) foram registradas 25,7% dos acidentes. Entretanto, o período curto de dados, utilizado para análise, impossibilita a afirmação de que os eventos, neste município, sejam deflagrados

majoritariamente nestas condições.

O estudo de correlação entre pluviosidade e movimentos de massa mostrou-se pouco conclusivo, com grande dispersão dos dados, em virtude da quantidade e qualidade das informações. Neste contexto, com o refinamento dos acidentes e utilização dos eventos generalizados para análise, chegou-se a uma melhor relação com a precipitação, considerando que os eventos simples estão, possivelmente, relacionados à ação antrópica.

Os gráficos de correlação, utilizando mais de uma ocorrência por dia, permitiram determinar os limiares pluviométricos a partir dos quais é maior a probabilidade de ocorrência de escorregamentos nas áreas urbanas de Ilhéus e Itabuna. Tais limiares foram definidos, confirmando a influência mais efetiva da chuva acumulada de dois dias. Para Ilhéus a equação representativa da curva de separação dos pontos com e sem deslizamentos foi $PD = 54,125PA^{-0,263}$. Já Itabuna a equação foi $PD = 29,67PA^{-0,201}$, sendo PD a precipitação diária e PA o acumulado pluviométrico.

Cabe mencionar que o ajuste manual dos limiares é uma deficiência que acarreta incertezas aos resultados. No entanto, considerando a atual situação dos municípios, em termos de pequena dimensão das séries de dados e precisão das informações, o método proposto apresentou os melhores resultados na definição da relação para previsão dos escorregamentos.

Desta forma, recomenda-se atualizações futuras inserindo-se novos casos de deslizamentos de terra e ampliando a amostra de dados de chuva, além da coleta de outras informações igualmente importantes para revisão dos limiares, como o horário exato do acidente, o local com coordenadas geográficas, os danos humanos e materiais, volume de material mobilizado, entre outros. Por tratar-se de um método estatístico, a falta de informação limita a avaliação do impacto das variações pluviométricas na frequência e distribuição dos escorregamentos e consequentemente a confiabilidade dos limiares.

Agradecimentos

Às Defesas Cíveis de Itabuna e Ilhéus pelo fornecimento dos cadastros de escorregamentos.

Referências

Abbate, A., Papini, M., Longoni, L., 2021. Analysis of meteorological parameters triggering rainfall-induced landslide: a

review of 70 years in Valtellina. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 21, 2041–2058. Disponível: <https://doi.org/10.5194/nhess-21-2041-2021>. Acesso: 15 jan. 2024.

Alam, A., Ahmed, B., Sammonds, P., Maksud Kamal, A.S.M., 2023. Applying rainfall threshold estimates and frequency ratio model for landslide hazard assessment in the coastal mountain setting of South Asia. *Natural Hazards Research* 3(3), 531-545. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.08.002>. Acesso: 15 ago. 2024.

ANA. Agência Nacional de Águas, 2001. Hidro 1.4 – Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos. Disponível: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/sistemas>. Acesso: 07 jun. 2023.

ANA. Agência Nacional de Águas, 2020. Hidroweb – Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos. Disponível: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso: 07 jun. 2023.

Barbosa, S.E.S., Barbosa Júnior, A.R., Silva, G.Q., Campos, E.N.B., Rodrigues, V.C., 2005. Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a bacia do Rio do Carmo, Minas Gerais. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental* 10(1), 64-71.

Caine, N., 1980. The Rainfall Intensity - Duration Control of Shallow Landslides and Debris Flows. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 62(1-2), 23-27. Disponível: <https://doi.org/10.1080/04353676.1980.11879996>. Acesso: 30 nov. 2023.

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais, 2023b. Sala de situação. São José dos Campos, SP. Disponível: <http://www2.cemaden.gov.br/sala-de-operacao/>. Acesso: 04 set. 2023.

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais, 2023a. Mapa Interativo. São José dos Campos, SP. Disponível: <http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/>

. Acesso: 06 mar. 2023.

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais, 2018. Manual Técnico para Elaboração, Transmissão e Uso de Alertas de Risco de Movimentos de Massa – Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Desastres Naturais – Projeto GIDES. São José dos Campos, SP. Disponível: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/Volume1-ManualTecnicoParaMapeamentodePerigoRiscoMovimentos_CPRM.pdf. Acesso: 09 out. 2023.

Chikalamao, E.E., Mavroulib, O.C., Ettema, J., Van Westen, C.J., Muntohar, A.S., Mustofa, A., 2020. Satellite-derived rainfall thresholds for landslide early warning in Bogowonto Catchment, Central Java, Indonesia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 89. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102093>. Acesso: 24 jul. 2023.

Chinkulkijniwat, A., Salee, R., Horpibulsuk, S., Arulrajah, A., & Hoy, M., 2022. Landslide rainfall threshold for landslide warning in Northern Thailand. *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 13(1), 2425–2441. Disponível: <https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2120833>. Acesso: 17 ago. 2024.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil, 2013. Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa. Ilhéus, Bahia. Departamento de Gestão Territorial – DEGET. Disponível: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18881>. Acesso: 11 set. 2022.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil, 2019. Setorização de áreas em alto e muito alto risco a movimentos de massa, enchentes e inundações. Itabuna, Bahia. Departamento de Gestão Territorial – DEGET. Disponível: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18883.2>. Acesso: 11 set. 2022.

CPTEC/INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2023. Condições atuais

do ENOS. Disponível: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso: 24 jun. 2023.

De Angelo, A.C.S., Breda Fontão, P.A., dos Santos, I., 2022. Águas de março: origem e excepcionalidade de evento extremo de precipitação ocorrido na Serra do Mar paranaense. *Revista Brasileira De Climatologia* 31(18), 332–361. Disponível: <https://doi.org/10.55761/abclima.v31i18.15556>. Acesso: 24 jul. 2023.

Farias, E.S., Gomes, R.L., 2023. Comportamento histórico de chuvas e vazões na bacia hidrográfica do rio Cachoeira e suas implicações na ocorrência de eventos de inundações na cidade de Itabuna-BA. *Revista Brasileira de Geografia Física* 16(2), 847-872. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.2.p847-872>. Acesso: 02 jun. 2023.

Franco, G.B., Menezes A.A., Gomes, R.L., 2009. Reconhecimento e caracterização de áreas de risco de escorregamento em Ilhéus – BA. *Revista Geografia* 34(3), 411-425.

Gariano, S.L., Verini Supplizi, G., Ardizzone, F., Salvati, P., Bianchi, C., Morbidelli, R., Saltalippi, C., 2021. Long-term analysis of rainfall-induced landslides in Umbria, central Italy. *Natural Hazards* 106, 2207–2225. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04539-6>. Acesso: 27 nov. 2023.

Gerente, J., Luiz, E.L., Gomes Junior, F.C., Providelo, L.A., Marchiori, G., 2023. Utilização de diferentes derivações do modelo Shalstab como ferramenta de auxílio ao monitoramento da suscetibilidade de movimento de massa em bacias hidrográficas com presença de ativos de transmissão de energia. *Revista do Departamento de Geografia* 43, 196408. Disponível: <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2023.196408>. Acesso: 14 ago. 2024.

Gomes, F.B.R., Vargas, I.S., Procópio, A.S., Castro, S.R., Ribeiro, C.B.M., 2021. Estudo da variabilidade espaço-temporal e tendências de precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. *Revista Brasileira De Climatologia* 28, 365–390. Disponível:

<https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14571>. Acesso: 16 ago. 2024.

- Gomes, R.L., Franco, G.B., Teixeira, N.N., Menezes, A.A., 2008. Avaliação da susceptibilidade e delimitação de áreas de risco ao escorregamento em encostas do sítio urbano de Ilhéus-Ba, Brasil. *Geotecnia* 114, 91-112.
- Huang, Y., Zhao, C., Jin, X., Zhu, Y., Peng, M., Chen, Z., 2023. Case study of a landslide continuous probability rainfall threshold analysis based on the prediction interval principle. *Scientific Reports* 13, 2434. Disponível: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29625-6>. Acesso: 16 ago. 2023.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias 2017. Coordenação de Geografia. - Rio de Janeiro. Disponível: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100600.pdf>. Acesso: 23 maio 2023.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. Cidades. Disponível: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso: 23 maio 2023.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023. Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro. Disponível: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso: 23 maio 2023.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021. Climate change 2021: IPCC Sixth Assessment Report. [S.l.: s.n.]. Disponível: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso: 07 abr. 2023.
- Kim, S.W., Chun, K.W., Kim, M., Catani, F., Choi, B., Seo, J.I., 2021. Effect of antecedent rainfall conditions and their variations on shallow landslide-triggering rainfall thresholds in South Korea. *Landslides* 18, 569–582. Disponível: <https://doi.org/ez427.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10346-020-01505-4>. Acesso: 15 ago. 2024.
- Kist, A., Pacheco Gebert, D.M., 2022. Contribuição aos estudos da influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação no Estado do Paraná. *Revista Brasileira De Climatologia* 31(18), 207–229. Disponível: <https://doi.org/10.55761/abclima.v31i18.15743>. Acesso: 18 ago. 2024.
- Lazzari, M., Piccarreta, M., 2018 Landslide disasters triggered by extreme rainfall events: The case of montescaglioso (Basilicata, Southern Italy). *Geosciences* 8(10), 377. Disponível: <https://doi.org/10.3390/geosciences8100377>. Acesso: 13 nov. 2023.
- Li, C., Chen, G., Guo, L., Gao, J., Peng, X., Yu, P., 2022. Slope stability and post-failure analysis of soil-rock-mixture using the modified 2D DDA-SPH method. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 157. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2022.105170>. Acesso: 15 jan. 2024.
- Liu, X., Wang, Y., 2023. Analytical solutions for annual probability of slope failure induced by rainfall at a specific slope using bivariate distribution of rainfall intensity and duration. *Engineering Geology* 313, 106969. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2022.106969>. Acesso: 14 ago. 2024.
- Ma, T., Li, C., Lu, Z., Wang, B., 2014. An effective antecedent precipitation model derived from the power-law relationship between landslide occurrence and rainfall level. *Geomorphology* 216, 187-192. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.03.033>. Acesso: 30 nov. 2023.
- Magri, S., Solimano, M., Delogu, F., Giudice, T. D., Quagliat, M., Cicoria, M., Silvestro, F., 2024. Modelling rainfall-induced landslides at a regional scale, a machine learning based approach. *Landslides* 21, 573–582. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s10346-023-02173-w>. Acesso: 15 ago. 2024.
- Marengo, J.A., Seluchi, M.E., Cunha, A.P., Cuartas, L.A., Gonçalves, D., Sperling, V.B., Ramos, A.M., Dolif, G., Saito, S., Bender, F., Lopes, T.R., Alvares, R.C., Moraes, O.L., 2023. Heavy rainfall associated with floods in southeastern Brazil in November–December 2021. *Natural Hazards* 116, 3617–

3644. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11069-023-05827-z>. Acesso: 25 jun. 2023.
- Maturidi, A.M.A.M., Kasim, N., Taib, K.A., Azahar, W.N.A.W., 2021. Rainfall-Induced Landslide Thresholds Development by Considering Different Rainfall Parameters: A Review. *Journal of Ecological Engineering* 22(10), 85–97. Disponível: <https://doi.org/10.12911/22998993/142183>. Acesso: 13 nov. 2023.
- Melo, C.M., Kobiyama, M., Michel, G.P., de Brito, M.M., 2021. The Relevance of Geotechnical-Unit Characterization for Landslide-Susceptibility Mapping with SHALSTAB. *GeoHazards* 2(4), 383–397. Disponível: <https://doi.org/10.3390/geohazards2040021>. Acesso: 14 ago. 2024.
- Mendes, R.M., Valerío 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: Revista Internacional de Riscos* 22. Disponível: https://doi.org/10.14195/1647-7723_22_8. Acesso: 28 nov. 2023.
- Molina, E., Cardoso, A., Nogueira, F., 2015. Relação Precipitação-Deslizamento no Município de São Bernardo do Campo - SP. *Ciência & Natura* 37, 46-54. Disponível: <https://doi.org/10.5902/2179460X16214>. Acesso: 30 nov. 2023.
- Montanari, A., Koutsoyiannis, D., 2014. Modeling and mitigating natural hazards: Stationarity is immortal! *Water Resources Research* 50(12), 9748-9756. Disponível: <https://doi.org/10.1002/2014WR016092>. Acesso: 09 abr. 2023.
- Naidu, S., Sajinkumar, K.S., Oommen, T., Anuja, V.J., Samuel, R.A., Muraleedharan, C., 2018. Early warning system for shallow landslides using rainfall threshold and slope stability analysis. *Geoscience Frontiers* 9(6), 2018, 1871-1882. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.10.008>. Acesso: 17 ago. 2024.
- Ng, C.W.W., Yang, B., Liu, Z.Q., Kwan, J.S.H., Chen, L., 2021. Spatiotemporal modelling of rainfall-induced landslides using machine learning. *Landslides* 18, 2499–2514. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s10346-021-01662-0>. Acesso: 15 jan. 2024.
- Oliveira, L.F.C., Fioreze, A.P., Medeiros, A.M.M., Silva, M.A.S., 2010. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14(11), 1186-1192.
- Pedreira Junior, A.L., Querino, C.A.S., Biudes, M.S., Machado, N.G., dos Santos, L.O.F., Ivo, I.O., 2020. Influence of El Niño and La Niña phenomena on seasonality of the relative frequency of rainfall in southern Amazonas mesoregion. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 25(24). Disponível: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190152>. Acesso: 18 ago. 2024.
- Pei, Y., Qiu, H., Zhu, Y., Wang, J., Yang, D., Tang, B., Wang, F., Cao, M., 2023. Elevation dependence of landslide activity induced by climate change in the eastern Pamirs. *Landslides* 20, 1115–1133. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s10346-023-02030-w>. Acesso: 14 ago. 2024.
- Pruski, F.F., Pereira, S.B., Novaes, L.F., Silva, D.D., Ramos, M.M., 2004. Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração, na Bacia do São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 8(2), 247-253.
- Ray, A., Kumar, V., Kumar, A., Rai, R., Khandelwal, M., Singh, T.N., 2020. Stability prediction of Himalayan residual soil slope using artificial neural network. *Natural Hazards* 103, 3523–3540. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04141-2>. Acesso: 15 jan. 2024.
- Robbins, J.C., 2016. A probabilistic approach for assessing landslide-triggering event rainfall in Papua New Guinea, using TRMM satellite precipitation estimates. *Journal of Hydrology* 541, 296–309. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.06.052>. Acesso: 24 jul. 2023.
- Rosi, A., Canavesi, V., Segoni, S., Dias Nery, T., Catani, F., Casagli, N., 2019. Landslides in the mountain region of Rio de Janeiro: a

- proposal for the semi-automated definition of multiple rainfall thresholds. *Geosciences* 9(5), 203. Disponível: <https://doi.org/10.3390/geosciences9050203>. Acesso: 24 jul. 2023.
- Rossi, M., Kirschbaum, D., Valigi, D., Mondini, A., Guzzetti, F., 2017. Comparison of satellite rainfall estimates and rain gauge measurements in Italy, and impact on landslide modeling. *Climate* 5(4), 90. Disponível: <https://doi.org/10.3390/cli5040090>. Acesso: 24 jul. 2023.
- Saha, S., Bera, B., 2024. Rainfall threshold for prediction of shallow landslides in the Garhwal Himalaya, India. *Geosystems and Geoenvironment* 3(3), 100285. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2024.100285>. Acesso: 18 ago. 2024.
- Salles, R.O., Amaral, C.P., 2013. Estudo da Correlação entre Chuvas e Escorregamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro. In: 6ª Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas (6ª COBRAE). Angra dos Reis. Anais. Rio de Janeiro.
- Santos, P.H.N., Barros, G.V.P., Ferreira, W.S., 2023. Perfil climático e cobertura do solo: o cenário do estado de Sergipe. *Revista Brasileira de Geografia Física* 16(1), 101-115. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.1.p101-115>. Acesso: 16 ago. 2024.
- Santos, P.H.N., Ferreira, W.S., Santana, B.L.P., 2023. Repercussões do El Niño e La Niña na precipitação do estado de Sergipe - Brasil. *Revista Brasileira De Climatologia* 33(19), 409-437. Disponível: <https://doi.org/10.55761/abclima.v33i19.17395>. Acesso: 18 ago. 2024.
- Sharma, A., Sajjad, H., Roshani, Rahaman, Md H., 2024. A systematic review for assessing the impact of climate change on landslides: research gaps and directions for future research. *Spatial Information Research* 32, 165-185. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s41324-023-00551-z>. Acesso: 14 ago. 2024.
- She, X.; Li, D.; Yang, S.; Xie, X.; Sun, Y.; Zhao, W., 2024. Landslide Hazard Assessment for Wanzhou Considering the Correlation of Rainfall and Surface Deformation. *Remote Sensing* 16, 1587. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs16091587>. Acesso: 17 ago. 2024.
- Song Y., Fan W., Zuo C., Yu N., Tao H., 2024. The optimal rainfall thresholds selection based on sensitivity analysis[J]. *Journal of Engineering Geology*, 32(2): 529-544. Disponível: <http://en.dzcx.org/article/doi/10.13544/j.cnki.jeg.2022-0054>. Acesso: 15 ago. 2024.
- Tatizana, C., Ogura, A.T., Cerri, L.E.S., Rocha, M.C.M., 1987. Modelamento numérico da análise de correlação entre Chuvas e Escorregamentos aplicado às encostas da Serra do Mar. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 5. São Paulo. Anais. São Paulo: ABGE. v.2.
- Tavares, R., 2015. Clima, tempo e desastres. In: Tominaga, L. K.; Santoro, J.; Amaral, R. (orgs.) *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. 3. ed. São Paulo: Instituto Geológico. Cap. 8, p. 111-146.
- Tominaga, L.K., 2015a. Escorregamentos. In: Tominaga, L.K.; Santoro, J.; Amaral, R. (orgs.) *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. 3. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2015. Cap. 2, p. 25-38.
- Tominaga, L.K., 2015b. Análise e mapeamento de risco. In: Tominaga, L.K.; Santoro, J.; Amaral, R. (orgs.) *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. 3. ed. São Paulo: Instituto Geológico. Cap. 9, p. 147-160.
- Tucci, C.E.M., 2012. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: ABRH.
- UNDRR. United Nations Disaster Risk Reduction, 2020. The human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000-2019). Disponível: <https://www.undrr.org/publication/human-cost-disasters-overview-last-20-years-2000-2019#:~:text=In%20the%20period%202000%20to,over%20the%20previous%20twenty%20years>. Acesso: 14 ago. 2024.
- Villaça, C., Santos, P., Zêzere, J., 2024. Modelling the rainfall threshold for shallow landslides considering the landslide predisposing factors in Portugal. *Landslides* 21, 2119-2133. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s10346-1605>

024-02284-y. Acesso: 15 ago. 2024.

Yang, H., Wei, F., Ma, Z., Guo, H., Su, P., Zhang, S., 2020. Rainfall threshold for landslide activity in Dazhou, southwest China. *Landslides* 17, 61–77. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s10346-019-01270-z>. Acesso: 17 ago. 2024.

Yang, Y., Xia, Y., Zheng, H., Liu, Z., 2021. Investigation of rock slope stability using a 3D nonlinear strength-reduction numerical manifold method. *Engineering Geology* 292. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.10628> 5. Acesso: 15 jan. 2024.

Yuniawan, R.A., Rifa'i, A., Faris, F., Subiyantoro, A., Satyaningsih, R., Hidayah, A.N., Hidayat, R., Mushthofa, A., Ridwan, B.W., Priangga,

E., Muntohar, A.S., Jetten, V.G., Westen, C.J. van, Bout, B.V. den, Sutanto, S.J., 2022. Revised Rainfall Threshold in the Indonesian Landslide Early Warning System. *Geosciences* 12, 129. Disponível: <https://doi.org/10.3390/geosciences12030129> . Acesso: 17 ago. 2024.

Zhou, J., Li, E., Yang, S., Wang, M., Shi, X., Yao, S., Mitri, H.S., 2019. Slope stability prediction for circular mode failure using gradient boosting machine approach based on an updated database of case histories. *Safety Science* 118, 505-518. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.05.046>. Acesso: 15 jan. 2024.