

Revisão dos Limiares do Alerta-Rio para Ocorrências de Deslizamentos na Rocinha nos anos de 2010 a 2017

Luiza Freguglia Guedes Soares da Silva

Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, Brasil, freguglia luiza@gmail.com

Marcio Fernandes Leão

Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, Brasil, marcio.leao@puc-rio.br

Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira

Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, Brasil, krishnamurti@puc-rio.br

Raquel Batista Medeiros da Fonseca

Gerente de Monitoramento e Coordenadora do Sistema Alerta Rio, Geo-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, raquel.fonseca@prefeitura.rio

Marcelo Aldaher Magalhães

Engenheiro Civil, Geo-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, marceloaldaher@gmail.com

RESUMO: Segundo o IBGE, a Rocinha possui 72.021 habitantes, sendo a maior favela do Brasil em população e a de maior densidade, com 48.367 hab/km². A ocupação desordenada e a topografia acidentada tornam a área suscetível a escorregamentos, agravados por chuvas intensas. Nesse contexto, os sistemas de alerta precoce (SAP) são fundamentais para mitigar desastres em regiões vulneráveis como o Rio de Janeiro. Este estudo analisa a eficiência dos critérios técnicos para níveis escorregamentos na Rocinha (CTNE), destacando a importância dos SAPs na redução de riscos. A metodologia revisou limiares de precipitação (1h, 24h e 96h) para níveis de alerta, gerando novos critérios para aprimorar a previsão. Avaliou-se a eficiência dos SAPs por meio de correlações entre eventos de chuva, escorregamentos e níveis de alerta, com análise comparativa de precipitação e registros de ocorrências (quantidade, duração, localização e data). Como resultado, redefiniram-se os critérios locais de escorregamento para microterritório da Rocinha, com base em eventos de 2010-2017. Constatou-se a necessidade de atualizar o SAP local, sendo que acumulados de 96h e 24h mostraram-se mais representativos do risco que os de 1h. Assim, a redefinição das correlações chuva x escorregamentos e os novos limiares demonstram potencial para aumentar a segurança na comunidade.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema de alerta precoce, redução de riscos, desastres e Rio de Janeiro.

ABSTRACT: According to the IBGE, Rocinha has 72,021 inhabitants, making it the largest slum in Brazil in terms of population and the most densely populated, with 48,367 inhabitants per square kilometer. Disorderly occupation and rugged topography make the area susceptible to landslides, which are exacerbated by heavy rains. In this context, early warning systems (EWS) are essential for mitigating disasters in vulnerable regions such as Rio de Janeiro. This study analyzes the efficiency of technical criteria for landslide levels in Rocinha (CTNE), highlighting the importance of EWS in risk reduction. The methodology reviewed precipitation thresholds (1h, 24h, and 96h) for alert levels, generating new criteria to improve forecasting. The efficiency of SAPs was evaluated through correlations between rainfall events, landslides, and alert levels, with a comparative analysis of precipitation and occurrence records (quantity, duration, location, and date). As a result, local landslide criteria for the Rocinha microterritory were redefined based on events from 2010 to 2017. The need to update the local SAP was identified, with 96-hour and 24-hour accumulations proving to be more representative of the risk than 1-hour accumulations. Thus, redefinition of rainfall x landslide correlations and the new thresholds demonstrate the potential to increase safety in the community.

KEYWORDS: Early warning system, risk reduction, disasters and Rio de Janeiro.

1 INTRODUÇÃO

A International Strategy for Disaster Reduction (ISDR) define alerta precoce como a disponibilização de informações relevantes e imediatas por instituições reconhecidas, permitindo que a população adote medidas para reduzir riscos e responder de forma eficaz.

Sistemas de Alerta Precoce (SAPs) são fundamentais na mitigação de desastres, sobretudo em centros urbanos vulneráveis como o Rio de Janeiro, onde a ocupação irregular e a variabilidade climática intensificam os impactos de eventos extremos. Destaca-se a Rocinha, maior favela do Brasil segundo o Censo 2022, com 72.021 habitantes e a maior densidade demográfica do país (48.367 hab/km²).

Segundo a ONU, SAPs eficazes salvam vidas e reduzem impactos sociais e econômicos. Em locais sem esses sistemas, a taxa de mortalidade por desastres chega a 4,7 por 100 mil habitantes; já onde os SAPs estão implantados, esse índice cai para 0,6 (Agência Brasil, 2022). Espera-se que agora em 2025 os países estejam mais preparados para responder a esses eventos (UNDRR, 2020).

Esses sistemas são especialmente relevantes nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, onde chuvas intensas, relevo acidentado, solos saturados e baixa cobertura vegetal favorecem instabilidades (Cavalcanti, 2013). Esse cenário também é observado em regiões tropicais, como o Sudeste Asiático e a América Central, no qual monções e ciclones contribuem para instabilidades em áreas montanhosas (Kim et al., 2017; Zhang et al., 2018). A situação se agrava ainda mais em áreas urbanas, devido à impermeabilização do solo e à ocupação desordenada. O risco é ainda maior em assentamentos informais, com alta densidade populacional e infraestrutura precária (Pereira et al., 2020), intensificado pelas mudanças climáticas (IPCC, 2021).

A relação entre chuva e movimentos de massa exige abordagem integrada, que envolva monitoramento geotécnico e climático, planejamento urbano e políticas públicas. Sistemas baseados em dados pluviométricos, como o Alerta-Rio, são essenciais para antecipar instabilidades em encostas. Diante disso, este estudo analisa a eficiência dos critérios técnicos de níveis de escorregamentos (CNTE) entre 2010 e 2017, propondo ajustes compatíveis com a propensão real a escorregamentos no território.

1.1 Sistema Alerta-Rio

1.1.1 Histórico e Estrutura do Sistema

O primeiro sistema de monitoramento automático de chuva no Rio de Janeiro foi implantado no fim da década de 1980 pela Fundação GEO-RIO, sob o nome SIGRA (Sistema de Instrumentação Geotécnica via Rádio). Seu objetivo era acionar alertas sempre que os acumulados pluviométricos ultrapassassem limites críticos, possibilitando o envio de equipes técnicas a áreas de risco.

A partir do final de 2010, o Sistema Alerta-Rio foi reformulado e integrado ao Centro de Operações da Prefeitura do Rio de Janeiro (COR-RIO), passando a contar com radar meteorológico próprio, equipe técnica ampliada e protocolos padronizados para emissão de boletins. Desde então, a GEO-RIO publica relatórios anuais que integram dados pluviométricos e geotécnicos para monitoramento e tomada de decisão (D'orsi, R. N. 2011).

1.1.2 Sistema de Alerta e Alarme Comunitário (A2C2) e Atualizações dos Limiares

O Sistema Alerta-Rio é composto por dois mecanismos complementares: (i) o Sistema de Alerta e Alarme Comunitário para Chuvas Intensas (A2C2), baseado no acionamento de sirenes e protocolos comunitários de evacuação preventiva; e (ii) os critérios técnicos de níveis de escorregamento (CTNE), definidos em 2012, que monitoram acumulados de precipitação em 1h, 24h e 96h, cada um associado a três níveis de alerta (médio, alto e muito alto).

Implantado em 2011 como complemento ao Alerta-Rio, o A2C2 visa possibilitar a evacuação preventiva em áreas de alto risco. O acionamento das sirenes ocorre quando limites de precipitação (40 mm em 1h ou 125 mm em 24h) são atingidos, aliados a previsões meteorológicas de curtíssimo prazo. Esses parâmetros estão organizados em critérios condicionados e obrigatórios (Figura 1a). Atualmente, o sistema conta com 165 sirenes no município, 83 delas ligadas a pluviômetros automáticos que transmitem dados ao COR-RIO a cada 15 minutos. A operação envolve planos de evacuação, alertas por SMS e capacitação comunitária, principalmente por meio de simulados com instruções sobre procedimentos após o disparo, como desligar o gás e

dirigir-se aos pontos de apoio. Além do componente comunitário, em 2012 foram estabelecidos os limiares CTNE com base nos acumulados de 1h, 24h e 96h, cada um associado a três níveis de alerta (médio, alto e muito alto), conforme a Figura 1b. A metodologia dos mecanismos complementares vem sendo calibradas pelo Sistema Alerta-Rio deste então; porém, os critérios permanecem vigentes em toda a cidade, sem ajustes específicos para microterritórios como a Rocinha. Tal metodologia buscava reduzir falsos alarmes de chuvas intensas de curta duração, mas demonstrou limitações na detecção efetiva dos eventos analisados.

PERÍODO / CRITÉRIO	CONDICIONADO*			OBRIGATÓRIO	
	A	B	C	A	B
1H	≥ 40 mm	-		≥ 55 mm	
24H	≥ 125 mm	≥ 6 mm/h ≥ 10 mm/2h	-	≥ 150 mm	≥ 5 mm/h
96H	≥ 200 mm	≥ 40 mm/24h	≥ 10 mm/h ≥ 16 mm/2h ≥ 18 mm/3h ≥ 20 mm/4h	≥ 275 mm	≥ 5 mm/h

* Condicionado a previsão meteorológica de curtíssimo prazo eo/ou de registro(s) de ocorrência(s) de deslizamentos nas últimas horas.

Acumulado	NÍVEL MÉDIO	NÍVEL ALTO	NÍVEL MUITO ALTO
<u>1h</u>	25 a 50 mm	50 a 80 mm	Maior que 80 mm
<u>24h</u>	85 a 140 mm	140 a 220 mm	Maior que 220 mm
<u>96h</u>	140 a 220 mm e 25 a 50 mm/24h	220 a 300 mm e 50 a 100 mm/24h	Maior que 300 mm e Maior que 100 mm/24h

(atualizado em 07/2012)

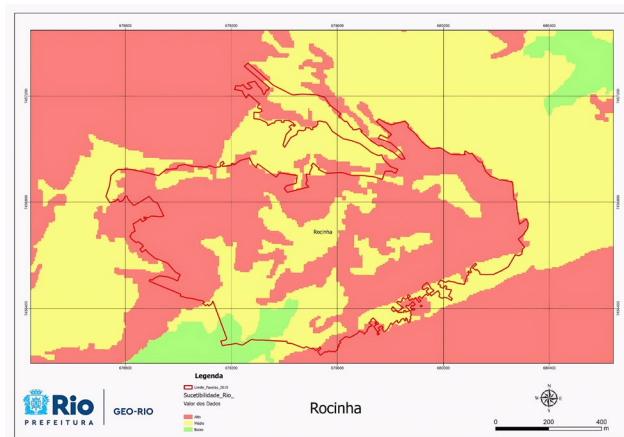
(b)

(a)

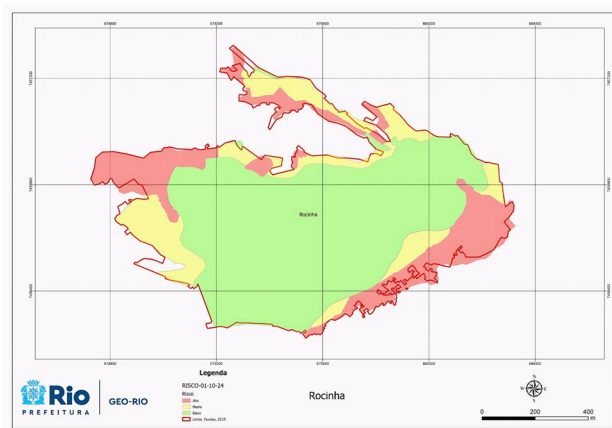
Figura 1. (a) Índices indicativos para acionamento do alarme sonoro A2C2; (b) Critérios Níveis de Escorregamentos (CTNE). Fontes: SUBPDEC (2021); Sistema Alerta-Rio (2018).

2 Suscetibilidade a Deslizamentos na Comunidade da Rocinha

O mapeamento de suscetibilidade da Rocinha, elaborado pela Fundação GEO-RIO, integrou dados geomorfológicos, geológicos, pedológicos e antrópicos. O produto resultou em carta temática na escala 1:5.000, que indica setores com diferentes graus de propensão a escorregamentos. A análise mostra que grande parte do território apresenta suscetibilidade média a alta, evidenciando significativa predisposição a movimentos de massa (Figura 2a).



(a)



(b)

Figura 2. (a) Mapa de suscetibilidade Rocinha, com classes baixa (verde), média (amarelo) e alta (vermelho); (b) Mapa de Risco atualizado, evidenciando setores críticos e áreas mitigadas. Fonte: GEO-RIO (2024).

O mapa de risco atualizado indica redução das áreas críticas após obras de contenção e drenagem (Figura 2b). Contudo, a suscetibilidade da região permanece, e escorregamentos ainda ocorrem em zonas de risco médio ou baixo. A sobreposição dos eventos de 2010 a 2017 confirma esse cenário: parte ocorreu em áreas de alta suscetibilidade e parte em setores médios. O resultado reforça a utilidade do mapeamento como ferramenta preventiva e a necessidade de revisão periódica dos limiares pluviométricos da comunidade.

3 Metodologia de Análise – Revisão dos Critérios de Níveis de Escorregamentos

A eficiência de um sistema de alerta precoce depende de sua capacidade de emitir alertas com precisão, reduzindo falsos positivos e falhas de detecção. Com esse objetivo, esta metodologia revisou os CTNE do Sistema Alerta-Rio aplicados à Rocinha, com base na correlação entre registros pluviométricos e eventos geotécnicos ocorridos entre 2010 e 2017. Foram utilizados três conjuntos de dados: (i) precipitação acumulada registrada pelo pluviômetro da Rocinha; (ii) ocorrências de escorregamentos documentadas pela Fundação GEO-RIO (laudos técnicos), classificadas conforme a precisão temporal; e (iii) os limiares CTNE vigentes desde 2012 no município.

A análise comparou os volumes de chuva registrados nos períodos de 1h, 24h e 96h anteriores aos escorregamentos com os limiares definidos pelo CTNE. Consideraram-se apenas eventos com confiabilidade temporal níveis 1 ou 2. Para cada intervalo, foram gerados gráficos que avaliaram a efetividade dos critérios vigentes na sinalização prévia. Também foram analisados os chamados limiares condicionados (CTNE) para 24h e 96h, que exigem volumes significativos em ambos os períodos para acionar o alerta. Essa abordagem busca representar solos já saturados submetidos a chuvas intensas recentes. Com base na distribuição dos eventos, propuseram-se faixas mais compatíveis com a realidade local.

A aplicação dos critérios revisados permitiu quantificar a sensibilidade dos limiares condicionados em relação aos principais. Os gráficos por nível de alerta (médio, alto e muito alto) indicaram maior número de eventos detectados, especialmente no período de 24h, demonstrando ganho na capacidade preditiva do sistema. Por fim, compararam-se os limiares do A2C2, CTNE e os limiares propostos, visando aprimorar a metodologia de alerta aplicada microterritório da Rocinha.

4 Análise dos Eventos Ocorridos 2010-2017

Foram identificados 32 escorregamentos na Rocinha entre 2010 e 2017, além de um caso adicional de 2009, todos documentados por laudos técnicos da GEO-RIO. Os registros foram classificados segundo a precisão temporal: **Nível 1 (alta confiabilidade)**: 4 eventos, com data e hora confirmadas; **Nível 2 (média confiabilidade)**: 5 eventos, com data precisa e hora estimada; e **Nível 3 (baixa confiabilidade)**: 24 eventos, com lacunas ou imprecisões significativas. Para garantir rigor metodológico, apenas os eventos de **níveis 1 e 2** foram considerados, reduzindo a análise de 33 para 9 casos válidos.

Ressalta-se que a metodologia adotada se baseou exclusivamente em registros oficiais de escorregamentos documentados pela GEO-RIO. Dessa forma, não foram contemplados cenários de chuvas intensas sem ocorrência de deslizamentos, embora sua análise pudesse contribuir para avaliar a especificidade dos limiares. O enfoque deste estudo foi justamente na inconsistência do sistema vigente, isto é, episódios em que escorregamentos ocorreram sem que os limiares CTNE fossem superados. As coordenadas dos eventos foram plotadas sobre os limites da comunidade, integradas ao mapa de suscetibilidade, ao mapa de risco atualizado e à localização das sirenes do A2C2 (Figura 3). Essa composição cartográfica permitiu avaliar a dispersão dos escorregamentos em relação às áreas vulneráveis e à cobertura do sistema de alerta, fornecendo base para os testes metodológicos subsequentes.

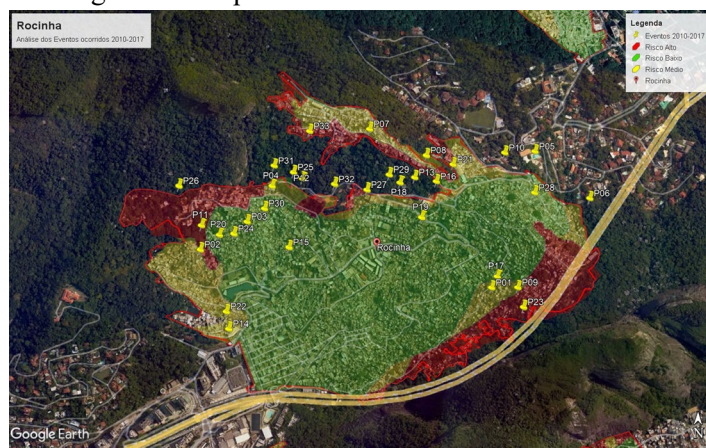


Figura 3. Eventos de escorregamentos (2010–2017) sobrepostos ao mapa de suscetibilidade e de risco atualizado da Rocinha, com a localização das sirenes do sistema A2C2. Fonte: GEO-RIO (2024).

5 Resultados e Discussões

A análise comparou os limiares CTNE do Alerta-Rio com os limiares condicionados do mesmo critério (CTNE) para 24h e 96h, com base em nove eventos geotécnicos de confiabilidade média e alta (níveis 1 e 2) registrados na Rocinha. Embora já utilizados em outras comunidades, os limiares foram aqui adaptados à realidade local.

Para cada evento, foram avaliados os acumulados de chuva nos períodos de 1h, 24h e 96h (Figura 1b), buscando verificar a eficácia do CTNE frente às condições geotécnicas e pluviométricas da área. Como não há limiares condicionados para 1h, a comparação concentrou-se nos períodos de 24h e 96h (Figura 1b). A Figura 4 apresenta os acumulados por evento, evidenciando variações expressivas mesmo entre os registros mais confiáveis, o que reforça a necessidade de ajustes nos limiares.

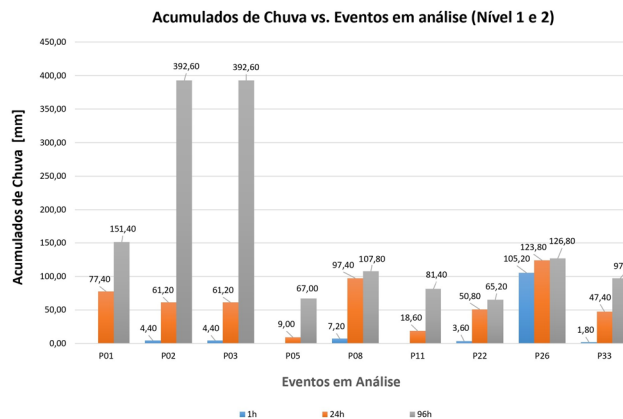
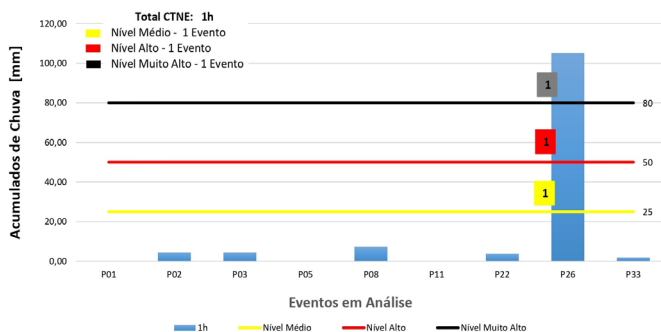
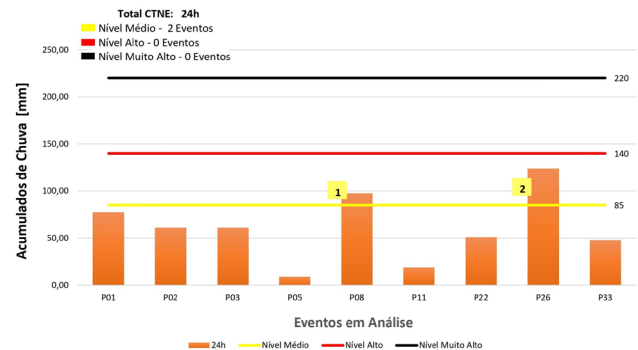


Figura 4. Acumulados de chuva (1h, 24h e 96h) para os eventos analisados (níveis 1 e 2).

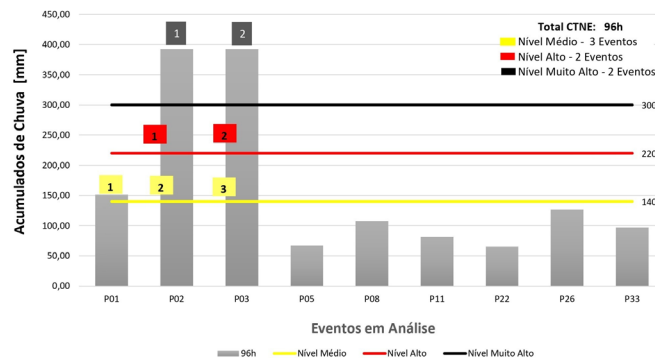
Os resultados com os limiares CTNE mostraram desempenho limitado: apenas um evento (P26) foi detectado em 1h (Figura 5a), dois (P08 e P26) em 24h (Figura 5b) e três (P01, P02 e P03) em 96h (Figura 5c), o que demonstra a baixa capacidade dos limiares atuais em antecipar os deslizamentos ocorridos.



(a)



(b)



(c)

Figura 5. Acumulados de chuva com base nos limiares CTNE: (a) 1h, (b) 24h e (c) 96h.

No período de 1h, apenas o evento P26 superou os três níveis de alerta; os demais apresentaram volumes baixos, confirmando a baixa efetividade desse parâmetro isolado, embora útil em chuvas intensas pontuais. Os acumulados de 24h foram mais sensíveis: sete eventos atingiram o nível médio, cinco o nível alto e um (P26) foi classificado como muito alto, reforçando sua importância para antecipar riscos. O critério de 96h apresentou a melhor cobertura: todos os eventos superaram o nível médio, três atingiram o nível alto e dois (P02 e P03) foram muito altos, evidenciando sua eficácia para representar solos saturados.

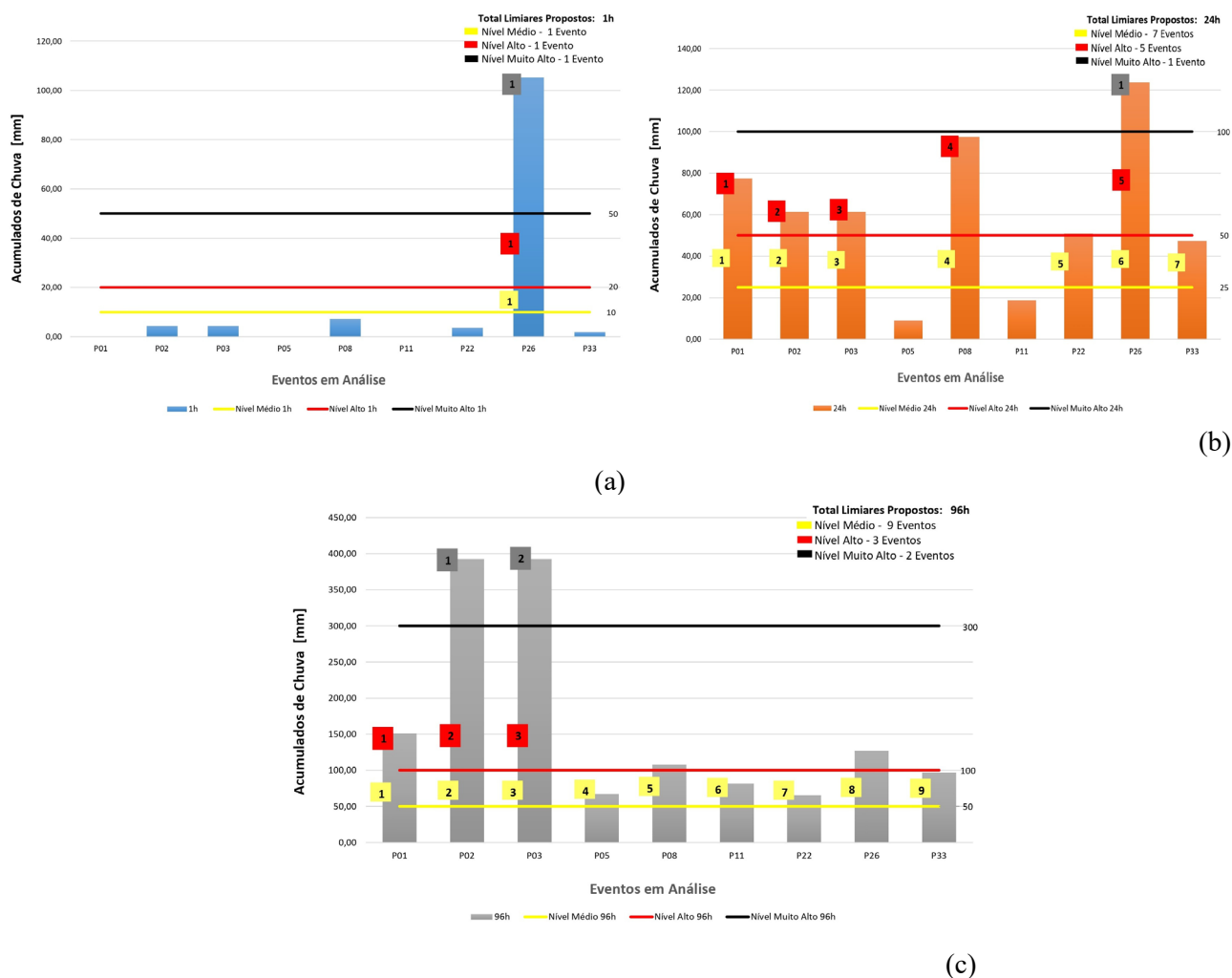


Figura 7. Distribuição dos nove eventos frente aos limiares propostos para (a) 1h, (b) 24h e (c) 96h.

A estratégia mostrou potencial para ampliar a detecção do sistema, assegurando coerência entre os critérios e aderência à distribuição real dos eventos.

Para comparação, a Tabela 1 mostra a análise dos critérios do Sistema Alerta-Rio, desde os limiares operacionais do A2C2, voltados ao acionamento de sirenes, aos critérios técnicos para níveis de escorregamentos (2012) até os novos limiares propostos para microterritório na Rocinha.

Tabela 1. Comparação entre A2C2, critérios de 2012 e novos limiares propostos para a Rocinha.

Acumulado	A2C2 (2011)	Alerta-Rio (2012) Critérios Técnicos			Limiares Propostos Rocinha		
	Sirenes	Níveis de Escorregamentos					
	Cond.*	Nível Médio	Nível Alto	Nível Muito Alto	Nível Médio	Nível Alto	Nível Muito Alto
1h	≥ 40mm	25-50	50-80	>80mm	10	20	>50mm
24h	≥ 125mm	85-140	140-220	>220mm	25	50	>100mm
96h	≥ 200mm	140-220	220-300	>300mm	50	100	>300mm
-	-	(cond. 25-50 /50-100/ >100 mm/24h)			-	-	-

Obs.*: Condicionado à previsão meteorológica de curtíssimo prazo e/ou registros de escorregamentos

6 Conclusões

As análises realizadas indicaram que os limiares de precipitação atualmente utilizados na Rocinha necessitam de atualização. Os resultados mostraram que os acumulados de 24h e 96h apresentaram maior sensibilidade na detecção de risco, enquanto o período de 1h mostrou-se pouco efetivo para antecipar eventos críticos. Os novos limiares propostos, definidos a partir da distribuição dos eventos de 2010 a 2017, mostraram-se mais compatíveis com a realidade local, ampliando a capacidade preditiva do sistema.

Considerando o alto grau de vulnerabilidade da área e a tendência de intensificação dos eventos extremos em função das mudanças climáticas, recomenda-se a adoção de limiares específicos por microterritório. A revisão contínua desses parâmetros, associada ao fortalecimento das estratégias de comunicação e resposta comunitária, é essencial para a redução de riscos e proteção de vidas em áreas urbanas suscetíveis.

A distinção entre risco e suscetibilidade reforça a necessidade de revisar os critérios pluviométricos utilizados atualmente. A aplicação de limiares homogêneos em todo o município pode não representar adequadamente a realidade da Rocinha, cuja configuração geotécnica e social exige parâmetros mais específicos. Por fim, ressalta-se que os novos limiares não incorporaram previsões dos condicionados meteorológicos, diferentemente dos critérios originais do A2C2 (apenas para toque das sirenes) e CTNE. Essa decisão metodológica buscou priorizar a análise estatística de séries históricas observadas, evitando a variabilidade inerente às previsões de curto prazo e assegurando maior robustez aos resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Brasil (2022). ONU: alerta precoce pode reduzir mortalidade em desastres naturais. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2022-10/onu-alerta-precoce-pode-reduzir-mortalidade-em-desastres-naturais>>. Acesso em: 08 dez. 2024.
- Cavalcanti, I. (2013). A ocorrência de deslizamentos de terra no Brasil: análise de sua relação com a precipitação pluviométrica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 6(4), 945–957.
- D'orsi, R. N. (2011). Correlação entre Pluviometria e Escorregamentos no Trecho da Serra dos Órgãos da Rodovia Federal BR-116 RJ (Rio–Teresópolis).
- Fundação GEO-RIO (2024) Mapa de Áreas de Risco; Mapa de Suscetibilidade e Ocorrências Geotécnicas 2010 a 2017 na Rocinha.
- Fundação GEO-RIO (2010) Relatório de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos para a Cidade do Rio de Janeiro. Relatório N°10/2012.
- IBGE. (2022) Censo 2022: Brasil tinha 16,4 milhões de pessoas morando em favelas e comunidades urbanas. Agência IBGE, 2023. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/41797-censo-2022-brasil-tinha-16-4-milhoes-de-pessoas-morando-em-favelas-e-comunidades-urbanas>>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- IPCC. (2021) *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Kim, J.; Lee, J.; Tawfik, A. (2017). Rainfall and landslides: an analysis of monsoonal rain events and their impact on soil stability in Southeast Asia. *Geomorphology*, 285, 156–168.
- Nações Unidas (2006) *Global Survey of Early Warning Systems*.
- Pereira, J.; Martins, F.; Neri, A. (2020). Vulnerabilidade social e movimentos de massa: o caso das favelas em áreas de risco no Rio de Janeiro. *Geografia e Ensino*, 13(1), 82–95.
- Sistema Alerta-Rio (2018). Procedimento 2.5 Mudança para Estágio de Probabilidade Muito Alta de Escorregamento e Posterior Retorno para Alta, Média ou Baixa.
- SUBPDEC (2021). Sirenes Cariocas: a experiência precursora da cidade do Rio de Janeiro na implantação e operação de um sistema de alarme por sirenes para deslizamentos de encostas.
- UNDRR (2020). *The role of early warning systems in disaster risk reduction*.
- UNISDR (2015). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*. Zhang, Q.; Li, H.; Zhou, S. (2018). Climatic factors and their influence on landslide occurrence in mountainous regions: A case study of the Himalayas and Andes. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(5), 1425–1439.