



Classificação da Precipitação Diária numa Região Litorânea de Santa Catarina e Relação com Ocorrências de Deslizamentos

Isabel Cristina Salah

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, isabelcsalah@gmail.com

Letícia Maria Oenning

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, leleoening@gmail.com

Marianne Bayerl Neves

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, mariannebneves@hotmail.com

Andrés Miguel González Acevedo

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, andresmgonzaleza@gmail.com

Liamara Paglia Sestrem

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, lpsestrem@gmail.com

Alessander Christopher Morales Kormann

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, alessander@ufpr.br

Vítor Pereira Faro

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, vpfaro@ufpr.br

RESUMO: Análises de dados de precipitação são fundamentais para a correlação com movimentos de massa. No intuito de se obter uma classificação quanto aos eventos de precipitações pluviométricas, foram processados os dados obtidos a partir da série histórica de um pluviógrafo localizado na região do Morro do Boi, no estado de Santa Catarina, Brasil. Esta classificação foi baseada na técnica dos quantis, com dados de monitoramento entre janeiro de 2015 e dezembro de 2018, e comparada com a classificação obtida para dados de outros dois pluviógrafos próximos. Os resultados obtidos foram confrontados com as ocorrências de deslizamentos registradas na região, servindo como ferramenta de auxílio da interpretação do limiar pluviométrico proposto para o local. Concluiu-se que, a associação da técnica dos quantis a um limiar pluviométrico ajuda no entendimento da distribuição de frequência das chuvas deflagradores de escorregamentos.

PALAVRAS-CHAVE: Classificação de Precipitação, Movimentos de Massa, Quantis, Limiar Pluviométrico.

1 INTRODUÇÃO

Precipitações podem causar impactos em diversos setores da sociedade, pois quando em excesso, estão associadas a enchentes,

alagamentos, movimentos de massa, entre outros, sendo uma das variáveis meteorológicas mais importantes para estudos climáticos. Uma observação cuidadosa dos registros de precipitação fornece base para o conhecimento



de tendências e suas causas potenciais (Souza *et al.*, 2012).

Os movimentos de massa ocasionados por chuvas são frequentes em regiões de clima tropical. Diferentes características de precipitação podem desencadear os deslizamentos, como intensidade máxima horária, chuvas contínuas ou chuvas antecedentes. Algumas características de curto prazo, como alta intensidade em curto período de tempo, possuem influência na infiltração de água no solo, em função de sua condutividade hidráulica. Essas características influenciam também na geração de escoamento superficial, ocasionando um pico de descarga de água nas drenagens naturais da encosta. Já as características de longo prazo estão relacionadas à saturação do solo devido à infiltração e consequente redução dos valores de poropressão negativa pelo aumento gradual da umidade no solo. As análises de dados que permitam o entendimento da distribuição temporal dos eventos de precipitação são, portanto, fundamentais para a associação entre as ocorrências de movimentos de massa e a pluviometria. (Zêzere *et al.*, 2014; Vasu *et al.*, 2016).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi estabelecer classes de precipitação, de acordo com sua intensidade e frequência de ocorrência, através da técnica dos quantis, e associar aos movimentos de massa registrados dentro da área de influência de um pluviômetro localizado no estado de Santa Catarina.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Descrição da área de estudo

A área de estudo localiza-se entre os municípios de Balneário Camboriú e Itapema, na BR-101, em Santa Catarina. Um pluviômetro foi instalado no km 140 + 700 m, na região conhecida como Morro do Boi, e o local é

monitorado desde março de 2012. A área de influência desse pluviômetro é determinada pela área de contribuição da bacia hidrográfica do local, conforme Figura 1, e localiza-se entre os quilômetros 135 e 151 da rodovia.

A região apresenta um histórico de deslizamentos induzidos por chuva, os quais podem ocasionar acúmulo de detritos sobre a rodovia e interrupção do tráfego. Em particular, movimentos de massa de grandes porções ocorreram em 2008, após eventos de precipitação de muito alta intensidade (Sestrem; Kormann, 2013).

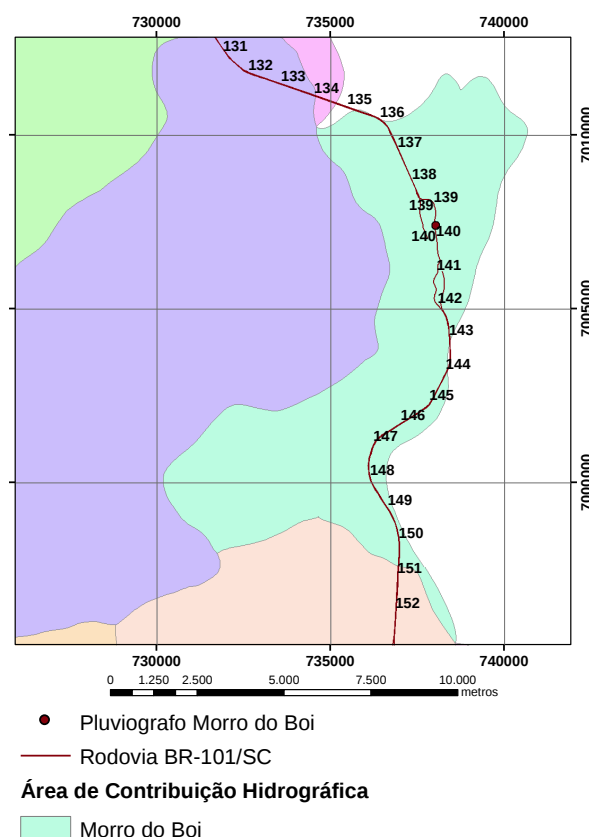


Figura 1. Área de contribuição da bacia hidrográfica do Morro do Boi.

2.2 Dados de precipitação e deslizamentos

Foram analisados dados de precipitação do pluviômetro localizado no Morro do Boi e os resultados comparados aos registros de precipitação de outros dois pluviômetros próximos: um localizado na cidade de Itajaí e



outro localizado na cidade de Navegantes. O período de monitoramento estudado compreende janeiro de 2015 a dezembro de 2018, com exceção do pluviôgrafo de Itajaí que entrou em operação em outubro de 2015. A localização dos dois pluviôgrafos e distância entre eles e o pluviôgrafo do Morro do Boi é apresentada na Figura 2.



Figura 2. Localização dos pluviôgrafos do Morro do Boi, Itajaí e Navegantes.

Em relação aos dados de movimentos de massa, foram considerados os registros nesse mesmo período. No total, 14 deslizamentos ocorreram em cinco diferentes datas. A Tabela 1 apresenta as datas de ocorrência e o número de registros em cada uma delas.

Tabela 1. Número de deslizamentos dentro da área de influência do pluviôgrafo do Morro do Boi.

Data	Número de registros
28-09-2015	2
14-10-2015	1
25-03-2016	1
13-04-2016	9
10-01-2018	1

2.3 Classificação da precipitação

Quando se trata de escorregamentos deflagrados por chuvas, o entendimento da distribuição temporal dos eventos de precipitação se torna importante para a criação e utilização de ferramentas de gestão da segurança de taludes baseados em registros de precipitação (Naidu *et al.*, 2018). Para tanto, os dados adquiridos pelos pluviôgrafos podem ser interpretados de forma a se estabelecer classes para os eventos de chuvas, de acordo com sua intensidade e frequência de ocorrência. Essa interpretação pode ser feita por meio da técnica dos quantis que parte do princípio de relativização estatística, onde os valores de precipitação são avaliados com relação a toda série histórica de dados (Souza *et al.*, 2012; Alves *et al.*, 2000).

Um quantil Q_p , em termos climatológicos relacionados à precipitação, é definido como o limite de um intervalo uma variável aleatória X , tal que a probabilidade de essa variável aleatória ser inferior a Q_p seja igual a p , conforme apresentado na Equação 1 (Alves *et al.*, 2000).

$$\text{Prob}(X \leq Q_p) = p \quad (1)$$

De acordo com Gouvea *et al.* (2018), os eventos pluviométricos podem ser agrupados como eventos que variam de Extremamente Secos ($Q_{0,05}$) a Extremamente Chuvosos ($Q_{0,95}$). O INMET (2019), por sua vez, utiliza-se da mesma metodologia de classificação com nomenclatura de classes semelhantes, no entanto estabelece outros valores de quantis para a separação de classes.

Disconzi *et al.* (2016) emprega os quartis da distribuição de probabilidade para a delimitação entre classes, ou seja, um quarto da probabilidade máxima (0,25) como incrementos que separam uma classe da outra.

Os limites adotados entre classes de chuva no presente trabalho se encontram na Tabela 2. Eles consistem em uma modificação da proposta apresentada por Disconzi *et al.* (2016), com a inserção de duas novas classes para a devida consideração dos eventos extremos em



relação à série histórica disponível.

Tabela 2. Classificação por ordens quantílicas.

Nome da Categoria	Quantil
Muito Seco	$p < Q_{0,05}$
Seco	$Q_{0,05} \leq p < Q_{0,25}$
Normal	$Q_{0,25} \leq p < Q_{0,50}$
Chuvoso	$Q_{0,50} \leq p < Q_{0,75}$
Muito Chuvoso	$Q_{0,75} \leq p < Q_{0,95}$
Excessivamente Chuvoso	$Q_{0,95} \leq p < Q_{0,975}$
Extremo 1	$Q_{0,975} \leq p < Q_{0,99}$
Extremo 2	$p \geq Q_{0,99}$

Para efeitos de análise da série histórica de precipitação, consideram-se dias de chuva, aqueles cujos registros pluviométricos superam o valor de 2 mm. Análises de evapotranspiração desenvolvidas com dados climatológicos da estação Itajaí mostraram que o potencial de evapotranspiração possui uma tendência sazonal de aumento no verão e decréscimo no inverno, no entanto a média gira em torno de 2 mm (Joly *et al.*, 2016). Dessa forma, por meio do balanço hídrico, é possível dizer que registros de precipitação inferiores a esse valor têm pouca influência no aumento da umidade do solo, já que o solo estaria perdendo água majoritariamente.

2.4 Limiar pluviométrico

Um número significativo de correlações entre precipitação e deslizamento foi desenvolvido na literatura (Kanji *et al.*, 1997; D’Orsi, 2011; Naidu *et al.*, 2018). Para o pluviógrafo do Morro do Boi, um limiar pluviométrico baseado na metodologia de D’Orsi (2011) foi desenvolvido como ferramenta de gerenciamento de risco para a rodovia BR-101/SC no trecho em questão.

Nessa metodologia, valores de precipitação horária (mm/h) ou diária (mm/24h) são fixados e correlacionados a diferentes cenários de precipitação acumulada para encontrar a melhor configuração de curva que separa os eventos de precipitação que podem causar deslizamentos

daqueles que não possuem a tendência a isso. Com os dados de precipitação e os registros de escorregamentos dentro da área de influência do pluviógrafo, a melhor configuração encontrada foi a de precipitação acumulada diária (mm/24h) e precipitação acumulada em três dias (mm/72h). Além disso, foram definidos quatro cenários dentro do gráfico que correspondem a criticidade da combinação entre os acumulados no desencadeamento de movimentos de massa. Tais cenários foram delimitados com base no número de pontos com ou sem deslizamento em cada região.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A técnica dos quantis para a classificação da precipitação diária foi realizada para os três pluviógrafos: Morro do Boi, Itajaí e Navegantes. Os dados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação da precipitação para os pluviógrafos estudados.

Quantil	Morro do Boi	Itajaí	Navegantes
$Q_{0,05}$	2,4	2,4	3,0
$Q_{0,25}$	4,6	4,4	5,0
$Q_{0,50}$	10,4	8,0	12,0
$Q_{0,75}$	18,2	18,8	23,0
$Q_{0,95}$	49,9	39,2	54,0
$Q_{0,975}$	73,2	54,0	77,4
$Q_{0,99}$	105,1	70,1	106,1

Observa-se que os valores de precipitação acumulada diária no Morro do Boi são superiores aos registrados pelo instrumento de Itajaí. Em relação ao pluviógrafo de Navegantes, a classificação da precipitação apresentou valores próximos de chuvas diárias, no entanto ligeiramente superiores, aos do Morro do Boi. A análise dos dados mostra também que a média do número de dias secos é inferior para o pluviógrafo do Morro do Boi em relação a Navegantes, o que pode indicar que o



solo no Morro do Boi contém um teor de umidade maior.

Em meses com registro de ocorrência de movimento de massa o pluviôgrafo do Morro do Boi registrou intensidades de precipitação diária superiores aos demais instrumentos. A Figura 3 apresenta essa comparação. Os símbolos representam os meses com registro de deslizamento.

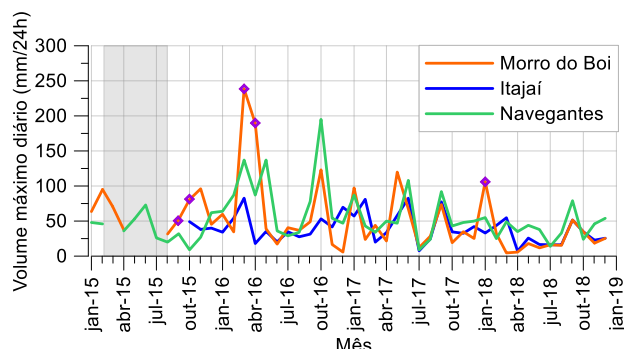


Figura 3. Intensidades máximas diárias para os pluviôgrafos estudados.

Observa-se que para os cinco meses em que ocorreram movimentos, o volume máximo de precipitação diária foi superior para o pluviôgrafo do Morro do Boi. Valores elevados de precipitação diária, associados com o relevo local, consistem em fatores predisponentes para a ocorrência de movimentos de massa (Zuquette, 2018). Além desses fatores, um elevado número de dias com algum registro de precipitação tende a manter o solo úmido, dificultando a recuperação da sucção matricial, parcela importante na estabilidade de solos não saturados (Joly *et al.*, 2016). Todas essas características são encontradas no Morro do Boi, de forma que o monitoramento da precipitação e o uso de critérios de monitoramento, como é o caso de limiares pluviométricos, se tornam importante para o gerenciamento da segurança deste local.

A abordagem quantílica pode ser estendida para acumulados de chuva de 72 horas, permitindo a implementação das classes de precipitação em conjunto com o limiar pluviométrico elaborado para o Morro do Boi.

Os valores quantílicos para os acumulados de 72 horas se encontram na Tabela 4.

Tabela 4. Classificação da precipitação acumulada em 72 horas no pluviôgrafo do Morro do Boi

Quantil	Morro do Boi (72 horas)
$Q_{0,05}$	2,8
$Q_{0,25}$	7,6
$Q_{0,50}$	17,2
$Q_{0,75}$	34,0
$Q_{0,95}$	93,5
$Q_{0,975}$	124,0
$Q_{0,99}$	175,0

A Figura 4 apresenta a combinação entre o limiar pluviométrico e a classificação da precipitação pelos quantis e a Tabela 5 apresenta as características de cada evento com ocorrência de deslizamento.

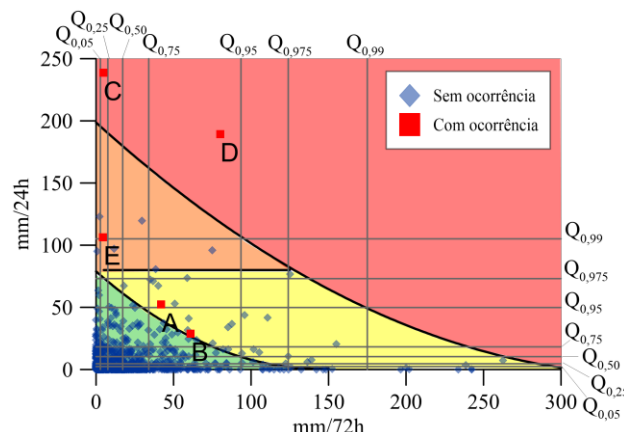


Figura 4. Limiar pluviométrico associado à classificação da precipitação pelos quantis.

Tabela 5. Características dos eventos com ocorrência.

Data da ocorrência	Nomenclatura	Acumulado em 24h (mm)	Acumulado em 72h (mm)
28-09-2015	A	52,2	42,0
14-10-2015	B	28,8	61,0
25-03-2016	C	238,6	4,8
13-04-2016	D	189,2	80,2
10-01-2018	E	106,2	4,4

Observa-se que o limite entre os cenários amarelo e laranja praticamente coincide com o



quantil $Q_{0,975}$. A maioria dos pontos de escorregamentos se encontra em regiões do limiar delimitadas por chuvas de baixa probabilidade de ocorrência. As ocorrências A e B estão relacionadas a precipitações acumuladas em 72h classificadas como muito chuvosas e acumuladas em 24h classificadas como excessivamente chuvosa e muito chuvosa, respectivamente. Já as ocorrências C e E estão relacionadas a eventos de precipitação normais para acumulados de 72h, mas eventos extremos para acumulados em 24h, conferindo a eles uma imprevisibilidade. A ocorrência D está relacionada a cenários de precipitação acumulada em 72h e 24h classificados como muito chuvoso e extremo 2.

Em relação aos eventos pluviométricos mais críticos, há 34 eventos de precipitação que se enquadram nas características do cenário amarelo do limiar pluviométrico, correspondendo a 2,85% em relação ao total de eventos, sendo dois deles com registro de ocorrência; 7 eventos de precipitação se encontram no cenário laranja, 0,54% em relação ao total, com 1 registro de ocorrência; e 2 eventos no cenário vermelho, ambos com registro de ocorrência de deslizamento. O cenário vermelho corresponde a apenas 0,15% dos eventos de chuva em relação ao total. Já na classificação pelos quantis, há 21 eventos classificados como excessivamente chuvosos, extremo 1 e extremo 2, os quais correspondem a 1,57% de todos os eventos classificados.

Em relação aos eventos que não tendem a causar movimentos de massa, no cenário verde do limiar pluviométrico encontram-se 96,46% dos pontos e na classificação pelos quantis, 84,74% dos eventos de precipitação estão classificados como muito seco, seco ou normal.

A comparação entre os eventos de precipitação e sua classificação para os pluviógrafos do Morro do Boi, Itajaí e Navegantes mostra que os eventos de precipitação registrados no Morro do Boi, aliados às características do relevo da região, tornam o monitoramento da precipitação e o uso de ferramentas de gerenciamento de risco importantes para a segurança do local, quando se trata de deslizamentos ocasionados por chuvas.

As correlações entre precipitação e movimentos de massa, permitindo a definição de limiares pluviométricos, são muito abordadas na literatura e um limiar já foi desenvolvido para o pluviógrafo em questão. A determinação da curva que separa os eventos que tendem a deflagrar deslizamentos daqueles que não tendem, entretanto, é feita de forma empírica, apenas com base nas ocorrências registradas ao longo do período de monitoramento.

O uso da classificação pela técnica dos quantis permite compreender a distribuição da precipitação em relação à intensidade e frequência de ocorrência. Dessa forma, aliando o limiar pluviométrico à classificação da precipitação foi possível identificar que a probabilidade de ocorrência das chuvas está estritamente relacionada aos eventos de criticidade do limiar pluviométrico, sendo que as ocorrências de deslizamentos estão relacionadas aos eventos de precipitação de baixa probabilidade de ocorrência, como esperado.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio dos Recursos para Desenvolvimento Tecnológico - RDT, da Autopista Litoral Sul – Grupo Arteris, sob regulação da Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT.

Os autores gostariam de agradecer à CAPES e à UFPR pelo incentivo e possibilidade de realização do presente trabalho.



REFERÊNCIAS

- Alves, J. M. B.; Xavier, T. M. B. S.; Ferreira, A. G.; Mello, N. G. S. Verificação de prognósticos sazonais de precipitação no estado do Ceará utilizando a técnica dos quantis. *Revista Brasileira de Meteorologia* 15, p. 73-85, 2000.
- D'Orsi, R. N. (2011). Correlação entre pluviometria e escorregamentos no trecho da Serra dos órgãos da rodovia federal BR-116 RJ (Rio – Teresópolis). Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 287 p.
- Disconzi, P. B.; Teixeira-Gandra, C. F. A.; Damé, R. C. F.; Couto, R. S.; Dorneles, V. R. Caracterização da precipitação no município de Bagé/RS utilizando a técnica dos quantis. XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Aracaju, 2016.
- Instituto Nacional De Meteorologia (INMET). Carta de produtos/serviços ao cidadão: Precipitação por quantis. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=informacoes/cartaProdutoServicoCidadaoView&id=22>>. Acesso em: 17 mai. 2019.
- Joly, N. H.; Kormann, A. C. M.; Sestrem, L. P.; Faro, V. P.; González Acevedo, A. M. (2016). Análise da influência da evapotranspiração em uma encosta litorânea rodoviária, Congresso Brasileiro de Mecânica dos solos e Engenharia Geotécnica, Belo Horizonte.
- Kanji, M. A.; Cruz, P. T.; Massad, F.; Araujo, F. H. A. (1997). Basic and Common Characteristics of Debris Flows, Pan-American Symposium on Landslides, Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, COBRAE, ABMS, Rio de Janeiro, Vol. 10, p. 223-231.
- Naidu, S.; Sanjinkumar, 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*, Vol. 9.
- Sestrem, L. P.; Kormann, A. C. M. (2013). Implantação de um sistema de monitoramento automatizado para monitoramento de uma encosta litorânea rodoviária, 8º Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões, Santos.
- Souza, W. M.; De Azevedo, P. V.; De Araújo, L. E. (2012). Classificação da Precipitação Diária e Impactos Decorrentes dos Desastres Associados às Chuvas na Cidade do Recife-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Vol. 5, n. 2, p. 250-268.
- Vasu, N. N.; Lee, S. R.; Pradhan, A. M. S.; Kim, Y. T.; Kang, S. H.; Lee, D. H. (2016). A new approach to temporal modelling for landslide hazard assessment using an extreme rainfall induced-landslide index. *Engineering Geology*, Vol. 215, p. 36-49.
- Zêzere, J. L.; Vaz, S.; Pereira, S.; Oliveira, S. C.; Marques, R.; Garcia, R. A. C. (2015). Rainfall thresholds for landslide activity in Portugal: a state of the art. *Environmental Earth Sciences*, Vol. 73, p. 2917-2936.
- Zuquette, L. V. Riscos, desastres e eventos naturais perigosos: aspectos conceituais na análise e estimativa de riscos. 1. Ed. Elsevier: Rio de Janeiro, 2018.