

Artigo apresentado no 17º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental

DEFINIÇÃO DE COEFICIENTES DE PRECIPITAÇÃO CRÍTICA (CPC) PARA EMISSÃO DE ALERTAS DE ESCORREGAMENTO NAS RODOVIAS SP-055 E SP-098, LITORAL NORTE PAULISTA

DEFINITION OF CRITICAL PRECIPITATION COEFFICIENTS (CPC) FOR ISSUE OF LANDSIDE ALERTS ON SP-055 AND SP-098 HIGHWAYS, NORTH COAST OF SÃO PAULO STATE

GUILHERME NUNES FERNANDEZ

Geólogo, REGEA Geologia, Engenharia e Estudos Ambientais, guilherme@regea.com.br

PEDRO MACHADO SIMÕES

Geólogo, REGEA Geologia, Engenharia e Estudos Ambientais, pedro.simoes@regea.com.br

FERNANDO MACHADO ALVES

Geólogo, REGEA Geologia, Engenharia e Estudos Ambientais, fernando@regea.com.br

TOBIAS REHDER DA CUNHA PATUCI

Engenheiro, REGEA Geologia, Engenharia e Estudos Ambientais, tobias.rehder@regea.com.br

CLAUDIO JOSÉ FERREIRA

Geólogo, Instituto de Pesquisas Ambientais, cferreira@sp.gov.br

FERNANDO FACCIOLLA KERTZMAN

Geólogo, GEOTEC Consultoria Ambiental, fernando@geotecbr.com.br

RESUMO ABSTRACT

Os recentes episódios de ocorrências de escorregamentos nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo e Bahia demonstram a necessidade do aumento do entendimento entre a correlação entre a deflagração destes processos geológicos e a incidência de chuvas, tanto com relação aos índices acumulados quanto em relação à sua intensidade sobre os locais afetados. As rodovias SP-055 (Rio-Santos) e SP-098 (Mogi-Bertioga), localizadas no Litoral Norte do estado de São Paulo, apresentam largo histórico de ocorrências destes eventos. Com o objetivo de definir parâmetros que auxiliem na gestão destes cenários de risco geológico, foram levantados e sistematizados os dados de chuva e de escorregamentos ocorridos entre os anos de 1993 e 2020 nestas rodovias. A partir deste histórico foram identificados os episódios de chuvas

The recent episodes of landslides in the states of São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, and Bahia show the need to increase the acknowledgment of the correlation between the triggering of these geological processes and the incidence of rainfall, such as the accumulated ratios as much as the intensity on the affected sites. The SP-055 (Rio-Santos) and SP-098 (Mogi-Bertioga) highways, located on the North Coast of the state of São Paulo, have a long history of occurrences of these events. In order to define parameters that help in the management of these geological risk scenarios, data on rainfall and landslides that occurred between 1993 and 2020 on these highways were collected and systematized. From this historic, the episodes of rain with triggering or absence of landslide events were identified, from

com deflagração ou ausência de eventos de escorregamentos, a partir dos quais foi possível calcular a probabilidade de ocorrências deste tipo. Também foram definidas quatro regiões das rodovias em função do comportamento semelhante para a deflagração de escorregamentos por chuvas, e para cada trecho foram definidas as equações que descrevem os respectivos Coeficientes de Precipitação Crítica (CPC). Foram estabelecidas faixas de CPC que apresentam maior ou menor probabilidade de ocorrência de escorregamentos, servindo como importante ferramenta para a gestão de risco das rodovias, evitando que futuros escorregamentos acarretem perdas de vidas e maiores prejuízos econômicos e sociais.

Palavras-Chave – Coeficientes de Precipitação Crítica; Risco Geológico, Escorregamentos; Pluviometria; Gestão de Riscos.

1 INTRODUÇÃO

O modelo de correlação entre chuvas e escorregamentos aqui apresentado é parte do projeto de “Elaboração de Planos de Contingência frente a riscos de eventos geodinâmicos em trechos rodoviários selecionados das Unidades Básicas de Atendimento (UBA) do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER/SP) de Caraguatatuba, Mogi das Cruzes e São Vicente”, parte do Programa Transporte, Logística e Meio Ambiente do Projeto Transporte Sustentável de São Paulo, implementado pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER/SP. Este projeto foi elaborado pela REGEA em parceria com a GEOTEC e OPT GIS, sob a supervisão técnica do Instituto Geológico (IG), atualmente Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA) da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

A etapa do projeto relativa à definição da correlação entre chuvas e escorregamentos foi iniciada com a revisão bibliográfica para seleção da metodologia a ser utilizada. Subsequentemente, foram realizadas as análises de pluviometria e de registros de escorregamentos ocorridos na área de

which it was possible to calculate the probability of occurrences of this type. There were also defined four regions of the highways, due to the similar behavior for the triggering of landslides by rain, and for each of these sections, the equations that describe the respective Critical Precipitation Coefficients (CPC) were defined. The CPC ranges established present a greater or lesser probability of the occurrence of landslides, serving as an important tool for the risk management of the highways, preventing future landslides from causing loss of life and greater economic and social losses.

Keywords – Critical Precipitation Coefficients; Geological Hazard, Landslides; Pluviometry; Risk Management.

estudo, culminando na correlação entre chuvas e os eventos de escorregamentos. Esta correlação estabeleceu os limiares críticos de precipitação que foram utilizados no Plano de Contingência e para definir os alertas emitidos a partir do Sistema Automatizado de Análise, Monitoramento e Alerta de Risco de Eventos Geodinâmicos, elaborados para o projeto.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A área de estudo se localiza ao longo das Rodovias Mogi-Bertioga (SP-098) e Rio-Santos (SP-055), no litoral norte do Estado de São Paulo, compreendendo trechos das rodovias SP-055 (km 53+600 ao km 248+100) e SP-098 (km 62+900 ao km 98+100) que totalizam 229,7 km de extensão (**Figura 1**), em uma faixa de 1 km de largura a partir do eixo das rodovias.

As UBAs responsáveis pela conservação de cada trecho são: UBA 06.04, Caraguatatuba (SP-055, km 53+600 ao km 127+800), UBA 05.04, São Vicente (SP-055, km 127+800 ao km 248+100), e UBA 10.04, Mogi das Cruzes (SP-098, km 62+900 ao km 98+100).

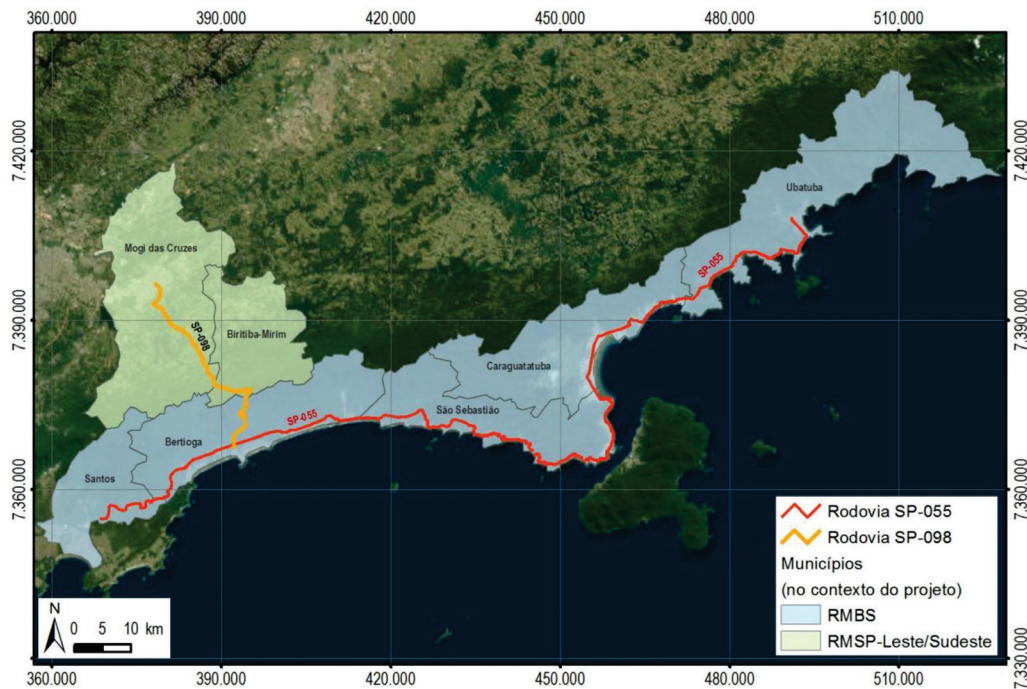


Figura 1. Localização da área de estudo do projeto.

3. METODOLOGIA

Diferentes estudos realizados no Brasil e em outros países procuram expressar a relação matemática entre chuvas e escorregamentos. Em cada um destes estudos, são propostos diversos parâmetros e períodos de abrangência de pluviosidade acumulada, visando estabelecer uma relação consistente que permita uma melhor previsibilidade de deflagração de escorregamentos para as diferentes localidades analisadas (Fernandez, 2018).

Para definição da correlação entre chuvas e escorregamentos, a maior parte dos trabalhos indica análises de chuvas instantâneas ou de poucas horas, avaliadas em conjunto com intervalos de 72h ou de 96h, sendo este último adotado por Tatizana et al. (1987a, b) para a análise do CPC - Coeficiente de Precipitação Crítica em Cubatão (SP) na região da Serra do Mar.

Em seu trabalho Tatizana correlaciona um histórico de 30 anos de escorregamentos, com dados pluviométricos de intensidade horária e acumulado de chuva nas 96h anteriores ao evento, e propõe funções matemáticas que descrevem as curvas que delimitam a envoltória de deflagração de movimentos de massa.

4. BANCO DE DADOS

Foram adquiridos e sistematizados dados relativos à ocorrência de eventos geodinâmicos na área de estudo, assim como dados de pluviometria disponíveis no período avaliado. Assim, constitui-se um banco de dados que possibilitou a elaboração do modelo correlação entre dados de chuva e escorregamentos.

4.1 Cadastro e seleção de dados de escorregamentos

A partir dos dados levantados foram inicialmente coletados 9.285 registros de eventos geodinâmicos, dos quais 8.224 registros de eventos ocorridos entre 1993 e 2019 nos municípios da área de estudo, oriundos dos projetos de cadastramento de eventos e de mapeamentos de risco realizados pelo sob supervisão técnica do IG (2017a, 2020).

Dados específicos das rodovias SP-055 e SP-098 registraram 224 registros de eventos geodinâmicos, ocorridos entre 2002 e 2020. Estes registros foram disponibilizados nas sedes das DRs - Divisões Regionais e das UBAs. Somaram-se ainda, 837 registros e informações oriundos do Sistema de Gestão de Atendimento (SIGA) e do Sistema

de Acidentes de Transporte (SAT), ambos do DER, sobre acidentes de trânsito em períodos de chuva intensa entre 2018 e 2020.

Os registros de eventos geodinâmicos, que compreendem eventos geológicos, hidrológicos e meteorológicos, foram sistematizados e organizados em um Banco de Dados, cadastrados de acordo com a origem da informação, e com o grupo e tipo de evento geodinâmico (**Figura 2**). A partir deste banco de dados, foram selecionados apenas aqueles que permitiram maior correlação entre os dados pluviométricos disponíveis e sua influência nas faixas de domínio das rodovias.

Desta forma, foram estabelecidos critérios de seleção e validação de dados, visando estabelecer correlações bem definidas entre a incidência de chuvas e a ocorrência de escorregamentos. Os registros selecionados localização definida e próxima às rodovias, descrição de evento condizente com eventos de escorregamento, e indicação de data e hora de ocorrência. Após essa validação, foram excluídos registros duplicados de um mesmo evento.

Como resultado deste processo, foram selecionados 281 registros de eventos de escorrega-

mento no período de 1993 a 2020, associados às rodovias SP-055 e SP-098. Subsequentemente, estes eventos foram correlacionados com os dados de chuva disponíveis para o período de análise.

A coleta dos dados fornecidos pela rede pluviométrica do CEMADEN tem início a partir de 2013, e são conectados à rede de telemetria de transmissão automática de dados oriundos de pluviógrafos, desta forma, seus registros são mais detalhados que os registros históricos oriundos das outras fontes de dados, pois a partir de seus dados pode-se mensurar a intensidade horária das chuvas.

Para que fosse possível comparar e avaliar os valores de chuva necessários para a deflagração de escorregamentos, foram coletados dados de chuvas que não causaram estas deflagrações. Os dados analisados são relativos às ocorrências de chuvas com registros de pluviosidade acumulada superiores à 40 mm / 24h. Dentre os dados das estações pluviométricas, foram selecionados dados de 2.073 ocorrências de chuvas sem a deflagração de escorregamentos.

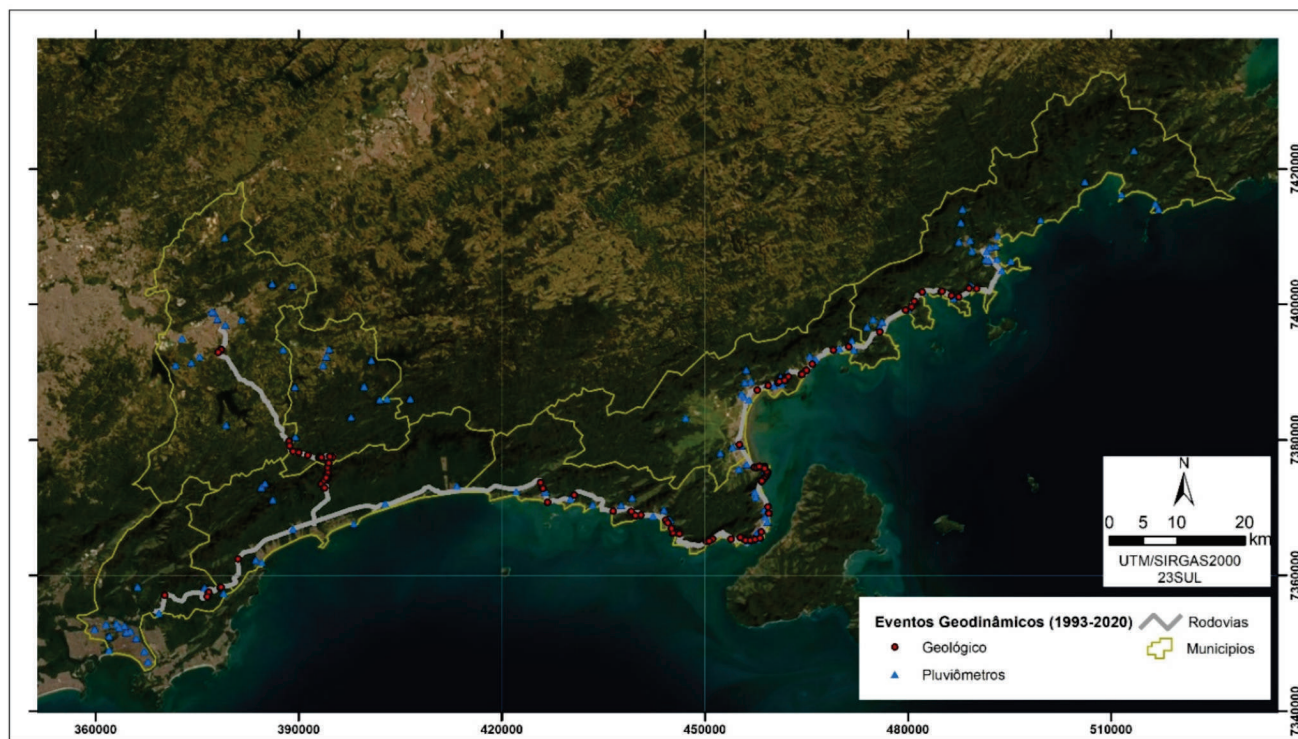


Figura 2. Localização dos pluviômetros, e dos eventos geológicos ocorridos nas rodovias entre 1993-2020, após processo de seleção a partir dos critérios estabelecidos para o projeto. (Fonte: REGEA, 2021).

4.2 Dados de chuva

Os dados de chuva foram levantados para o período de 1993 a 2020, sendo coletados a partir dos pluviômetros e pluviógrafos próximos à área de estudo, situados nos municípios interceptados pelas rodovias nos trechos avaliados.

Estes dados estão organizados e disponibilizados no portal HidroWeb, uma ferramenta do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), oferecendo acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), reunindo dados de chuvas, níveis fluviais, vazões, climatologia e qualidade da água.

Esta base de dados compreende dados de chuva coletados pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, e Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN. Para o período de 1993 a 2020 foram avaliados ao todo, 104 pluviômetros e pluviógrafos na área de estudo (**Figura 2**).

5. ANÁLISE DOS DADOS E DETERMINAÇÃO DAS ENVOLTÓRIAS E DOS ÍNDICES DE PRECIPITAÇÃO CRÍTICA

Após a seleção da metodologia e dos dados que seriam utilizados para análise, os dados de pluviosidade acumulada e respectivos escorregamentos deflagrados foram ponderados para o estabelecimento da expressão matemática que permitisse a separação entre os eventos pluviométricos com ocorrência de escorregamentos daqueles sem a ocorrência destes eventos.

De maneira qualitativa, essa correlação pode ser explicada como: quanto menor a pluviosidade acumulada anterior, maior a necessidade de eventos instantâneos de chuva de altíssima intensidade para a deflagração de processos geodinâmicos; por outro lado, quanto maior o valor de acumulado de chuva, menor será o valor de intensidade horária de chuva necessária para a deflagração dos processos geodinâmicos.

A definição dos índices de precipitação crítica visa estabelecer a suscetibilidade a um escorregamento em função dos índices de chuvas, agregando intensidade e acumulado, resultando em envoltórias para deflagração de cada grupo de evento geodinâmico e sua extensão de danos.

5.1 Definição do intervalo pluviométrico

Com o intuito de prevenir eventuais omissões de dados em intervalos superiores, procedeu-se com a coleta de dados em intervalos de até 240h (10 dias) anteriores à data de ocorrência dos escorregamentos selecionados. Utilizando-se gráficos de dispersão, foram analisados os dados para verificação de relação entre eventos geológicos registrados e a intensidade de chuva e a chuva acumulada para os intervalos de 24h, 48h, 72h, 96h, 120h, 144h, 168h, 192h, 216h e 240h.

Com a análise destes dados, foi possível confirmar que os eventos geológicos têm maior correlação quando são combinadas as informações de intensidade instantânea de chuva aos intervalos de 96h de chuva acumulada.

5.2 Análise espacial dos dados de chuvas e de escorregamentos

Uma vez determinados os intervalos de chuva a serem avaliados, os eventos que compõem o banco de dados foram classificados com base na correlação entre os parâmetros de análise, como meio físico, sua distribuição espacial e a ocorrência ou ausência eventos de escorregamentos. Dentre os diversos parâmetros analisados, apenas aqueles relacionados à quantidade de ocorrências registradas em uma única data, e a separação espacial de eventos de chuva com ou sem registros de escorregamentos separados por rodovias e municípios apresentaram bons resultados. Estes resultados permitiram a separação em quatro grupos de análises, denominados como Regiões, representados na **Figura 3**.

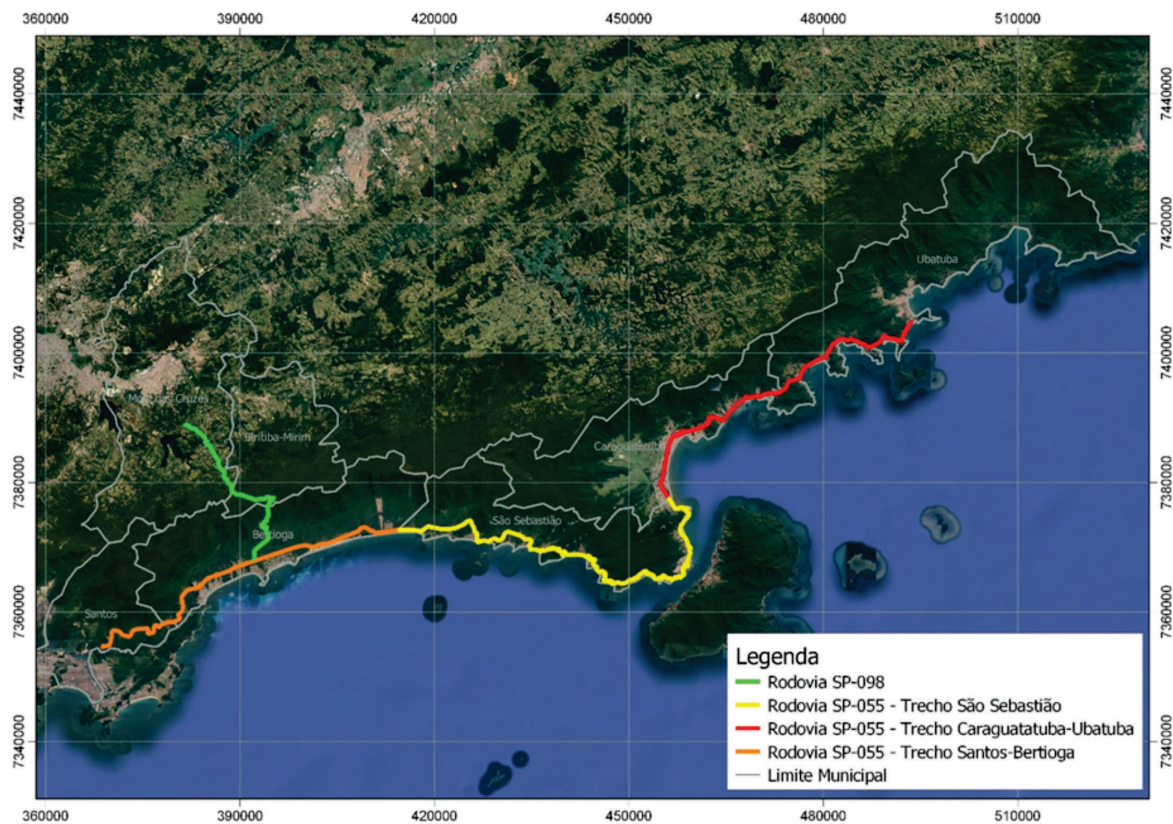


Figura 3. Localização das Regiões de análise definidas. Região 01: SP-098 (Bertioga, Biritiba-Mirim e Mogi das Cruzes; Região 02: SP-055 (Caraguatatuba e Ubatuba); Região 03: SP-055 (São Sebastião); Região 04: SP-055 (Bertioga e Santos).

5.3 Cenários de probabilidades analisados

Após a definição dos intervalos de tempo de pluviometria acumulada ideais para análise de correlação entre chuvas e escorregamentos, foram analisadas, ainda, as correlações de probabilidade de ocorrência entre os diferentes limiares acumulados e a deflagração de eventos.

Para os intervalos de 24h e 96h de chuvas acumuladas definidos para os escorregamentos, procedeu-se com a análise da probabilidade de ocorrência destes eventos em diferentes limiares pluviométricos, para cada um dos trechos rodoviários inseridos no território de cada uma das quatro regiões. Os limiares analisados foram delimitados entre 40mm e 250 mm de chuva acumulada, com a análise variando em intervalos de 10mm. A probabilidade verificada de ocorrência de eventos geodinâmicos foi construída a partir da análise dos dados de 1993 a 2020 que compõem o banco de dados do projeto, e esta análise permitiu a quantificação de datas com registros de

escorregamentos, bem como a quantificação de datas com chuvas superiores a 40mm/dia que não apresentam registro de ocorrências de eventos geológicos.

Após a análise da probabilidade de ocorrência de eventos geodinâmicos sob diferentes limiares de chuvas acumuladas nos intervalos de acumulação definidos, foi possível elaborar uma matriz de correlação entre a probabilidade e os limiares para os escorregamentos ocorridos sob condições de chuvas acumuladas em 24h e em 96h. A partir destas matrizes, foram construídos os gráficos de dispersão destes dados para cada uma das quatro regiões avaliadas, igualmente elaborados para os intervalos de 24h e 96h de chuva acumulada (**Figuras 4 e 5**). Os limiares de chuva escolhidos para a análise de probabilidade de ocorrência de eventos geodinâmicos foram inicialmente limitados entre 40mm e 250mm, os limites foram designados uma vez que entre eles está contida a grande maioria dos eventos de chuva registrados no período de análise.

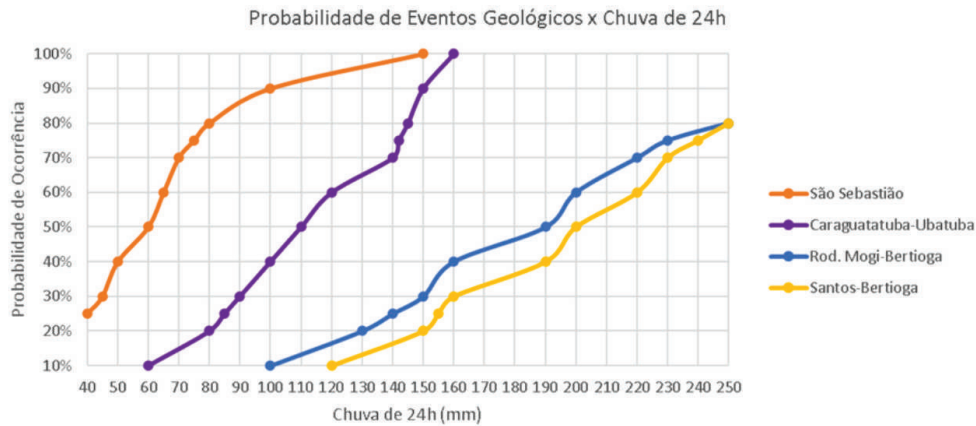


Figura 4. Probabilidade de ocorrência de escorregamentos deflagrados por chuvas de 24h.

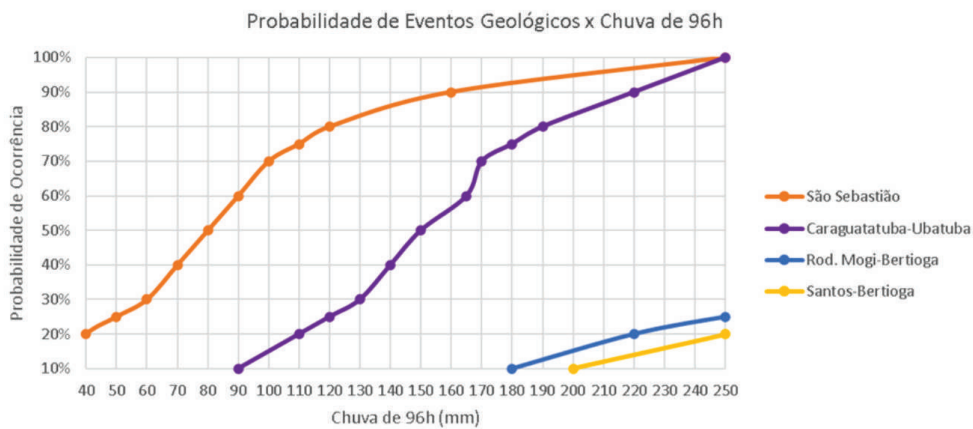


Figura 5. Probabilidade de ocorrência de escorregamentos deflagrados por chuvas de 96h.

5.4 Determinação das envoltórias de CPC

Após a avaliação do banco de dados de chuvas com ou sem registros de eventos geodinâmicos, da análise prévia dos parâmetros físicos, e da definição do método e das quatro regiões de análise, procedeu-se a avaliação dos dados seguindo o modelo proposto por Tatizana et. al. 1987, relacionando a intensidade instantânea de chuva de cada evento com a sua chuva acumulada nas últimas 96h que antecederam o registro. Para esta avaliação foram utilizados os dados do período de 2014 a 2020, uma vez que para este período têm-se os dados relativos à intensidade instantânea de chuva. A Região 03 (São Sebastião) apresentou a maior quantidade de eventos dentro deste período (08 chuvas sem escorregamentos registrados e 70 registros de escorregamento), proporcionando uma melhor análise.

A Figura 6 apresenta a definição da curva envoltória para eventos geológicos na Região 03. Esta curva, descrita graficamente a partir da equação ($I = 200 \times Ac96h^{-0,9}$), que delimita o início da maioria dos eventos geológicos registrados, excluindo-se poucos eventos com acumulados e com intensidade de chuva muito baixos, os quais podem estar relacionados a registros imprecisos. As envoltórias descritas para os eventos ocorridos na Região 03 para o período de 2014 a 2020 foram projetadas em um segundo gráfico, que apresenta as ocorrências registradas desde 1993 (Figura 7). Estas ocorrências não apresentam dados de intensidade horária da chuva e, desta forma, no lugar da intensidade, o eixo y desse gráfico recebe os valores de chuva acumulada nas 24h que antecedem o evento.

Esta projeção das envoltórias definidas apresenta boa correlação entre as duas formas gráficas,

ou seja, é possível projetar com uma boa confiança os dados obtidos na avaliação de intensidade de chuva x 96h para os gráficos que apresentam dados de chuva acumulada de 24h x chuva acumulada em 96h.

A compreensão desta correlação entre dados pluviométricos, com intensidade ou com informação de chuva acumulada de 24h, indica a possibilidade de fazer a correlação no sentido inverso, ou seja, projetar em gráficos com a intensidade

horária da chuva as curvas envoltórias obtidas a partir dos dados de chuva acumulada em 24h. Tal projeção permitiu a definição de envoltórias para as demais regiões, pois estas possuem maior quantidade de dados para eventos de chuva até 2013 (dados sem intensidade horária de chuva), e menor quantidade de dados para os eventos registrados a partir de 2014 (com intensidade horária de chuva). A **Tabela 1** apresenta a equação envoltória obtida para as quatro regiões analisadas.

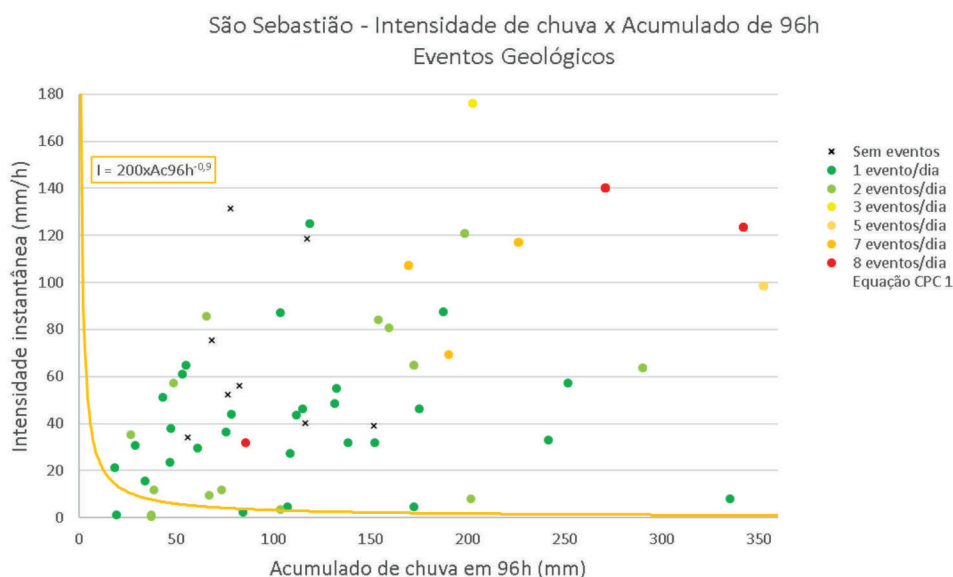


Figura 6. Probabilidade de ocorrência de escorregamentos deflagrados por chuvas de 96h.

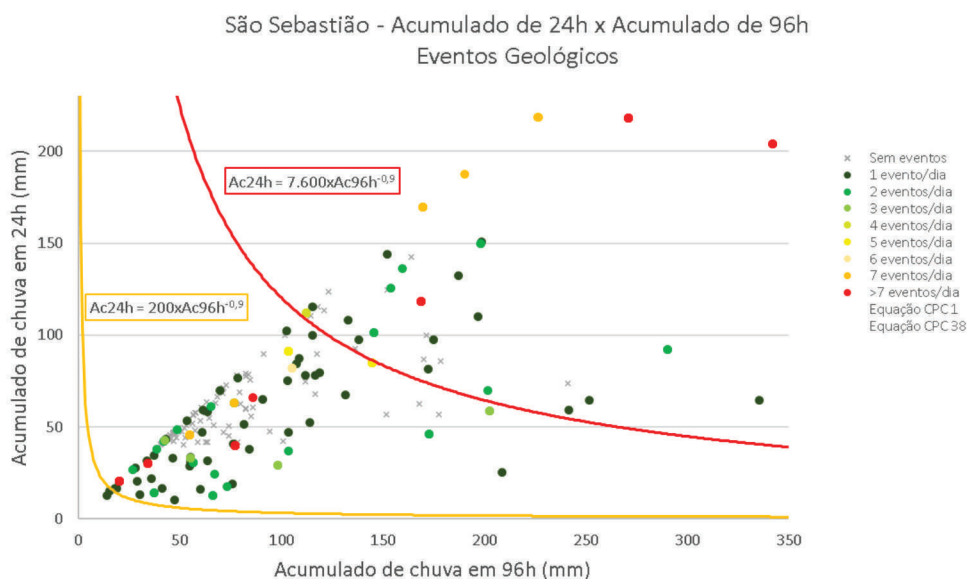


Figura 7. Projeção das curvas obtidas a partir dos dados de intensidade de chuva x acumulado de 96h, para gráfico de chuva acumulada em 24h x chuva acumulada em 96h, da equação envoltória de eventos geológicos definida para a Região 03.

Tabela 1. Equações de envoltória para eventos geológicos para cada uma das quatro regiões analisadas.

Região	Trecho	Equação Envoltória (CPC = 1,0)
Região 01	Rodovia Mogi-Bertioga	$I = 1.000 \times Ac96h^{-0,9}$
Região 02	Caraguatatuba-Ubatuba	$I = 400 \times Ac96h^{-0,9}$
Região 03	São Sebastião	$I = 200 \times Ac96h^{-0,9}$
Região 04	Santos-Bertioga	$I = 1.000 \times Ac96h^{-0,9}$

5.5 Determinação das envoltórias e dos índices de precipitação crítica

Como demonstrado na **Tabela 1**, cada região apresenta uma equação envoltória correspondente, a partir da qual é possível calcular o Coeficiente de Precipitação Crítica (CPC) de qualquer evento de chuva utilizando o valor de intensidade instantânea de chuva (mm/h) e de chuva acumulada em 96h (mm). Valores de CPC superiores a 1,0 indicam chuvas que apresentam probabilidade

de de deflagrar escorregamentos nas rodovias, a probabilidade de deflagração de eventos aumenta à medida que se avança dentro das quatro faixas estabelecidas para cada região analisada.

Desta maneira, calculou-se o CPC de cada evento de chuva do banco de dados, como observado no exemplo da **Figuras 8**, em que está demonstrada a dispersão destes valores de CPC para chuvas com ocorrência de escorregamentos registrados na Região 03 e respectivas faixas de CPC.

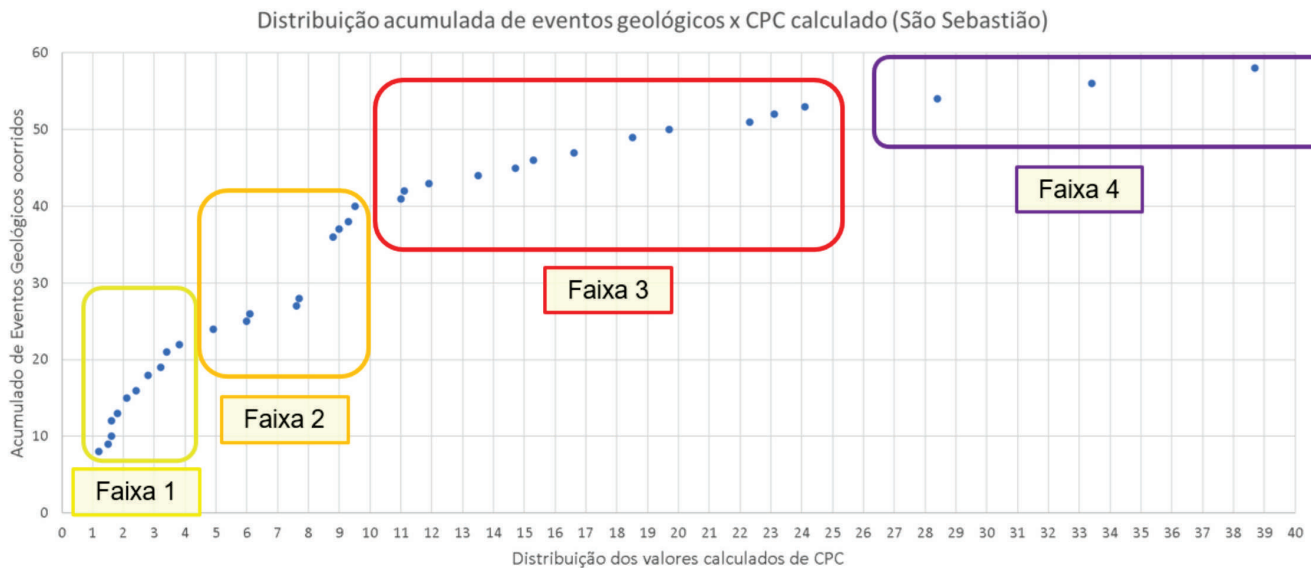


Figura 8. Distribuição dos CPC's calculados para eventos da Região 03, e determinação de faixas de CPC.

6 RESULTADOS

Foram estabelecidas equações quem traçam os Coeficientes de Precipitação Crítica (CPC) para as 4 regiões estabelecidas na área de estudo. As equações representam quatro faixas de CPC para cada uma das regiões determinadas, o aumento do valor de CPC calculado em um determinado

evento de chuva, indica o aumento da probabilidade deste evento de chuva deflagrar um escorregamento. As **Figuras 9 e 10** representam graficamente a distribuição das equações e faixas de CPC resultado deste trabalho, tomando como exemplo a Região 03. A **Tabela 2** resume as equações que traçam o limite de cada faixa de CPC calculado para as 4 regiões.

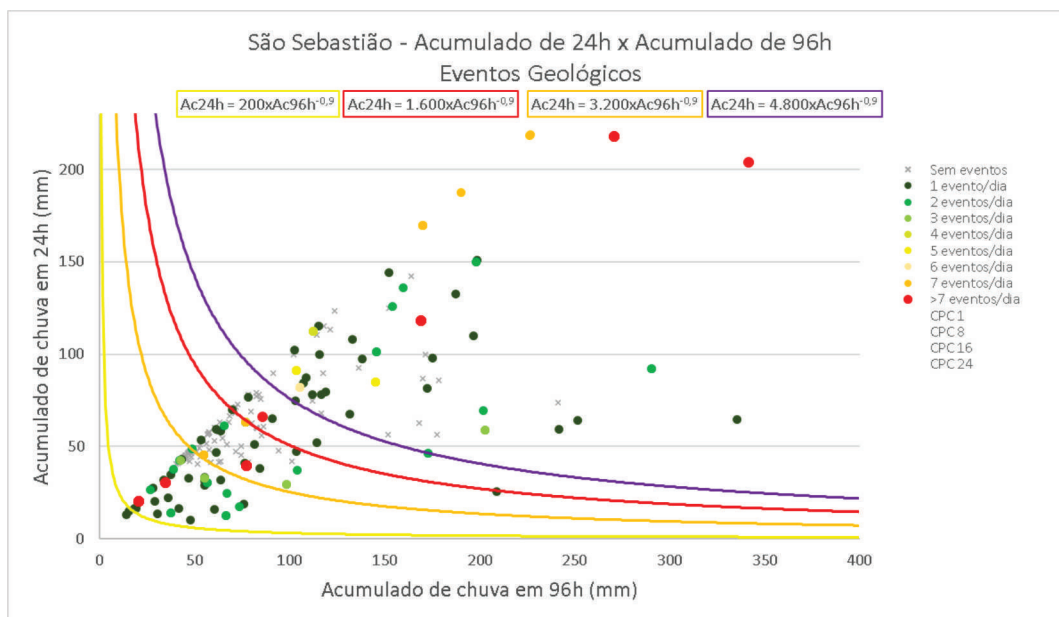


Figura 9. Faixas CPC dados de chuva acumulada de 24h x chuva acumulada de 96h para a Região 03.

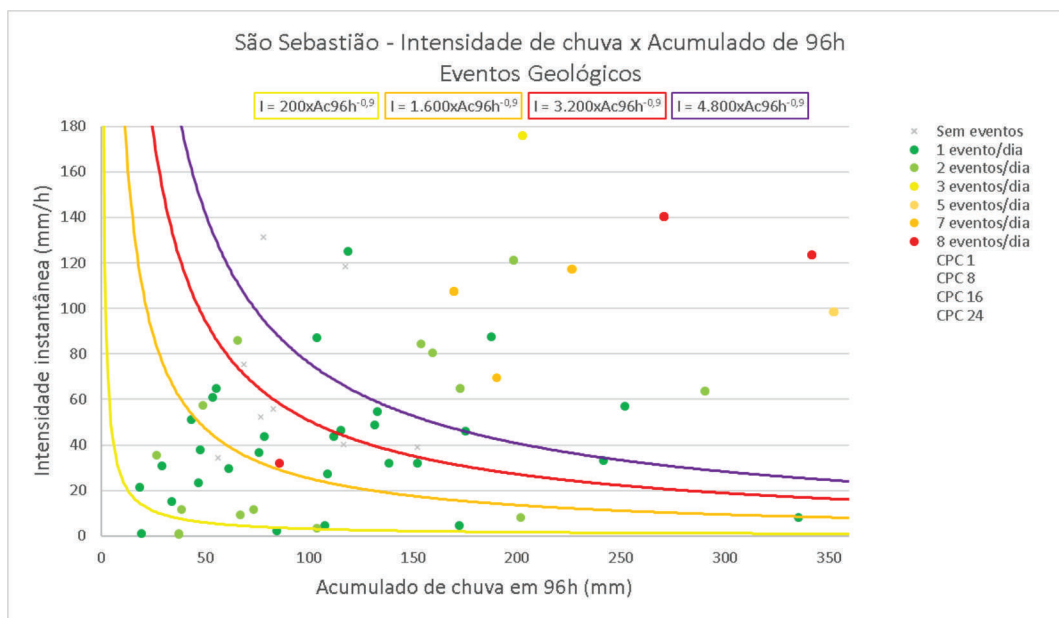


Figura 10. Faixas de CPC para dados intensidade de chuva x chuva acumulada de 96h para a Região 03.

Tabela 2. Equações que definem os limites das quatro faixas de CPC. Onde I = Intensidade de chuva em mm / h, e Ac96h = Acumulado de chuva nas 96h anteriores ao evento.

Região	Equação 1	CPC	Equação 2	CPC	Equação 3	CPC	Equação 4	CPC
1	$I = 1.000 \times Ac96h^{0,9}$	1	$I = 3.000 \times Ac96h^{0,9}$	3	$I = 6.000 \times Ac96h^{0,9}$	6	$I = 15.000 \times Ac96h^{0,9}$	15
2	$I = 400 \times Ac96h^{0,9}$	1	$I = 2.400 \times Ac96h^{0,9}$	6	$I = 6.400 \times Ac96h^{0,9}$	12	$I = 9.600 \times Ac96h^{0,9}$	24
3	$I = 200 \times Ac96h^{0,9}$	1	$I = 1.600 \times Ac96h^{0,9}$	8	$I = 3.200 \times Ac96h^{0,9}$	16	$I = 4.800 \times Ac96h^{0,9}$	24
4	$I = 1.000 \times Ac96h^{0,9}$	1	$I = 4.000 \times Ac96h^{0,9}$	4	$I = 8.000 \times Ac96h^{0,9}$	8	$I = 16.000 \times Ac96h^{0,9}$	16

7 CONCLUSÕES

A elaboração da modelagem para estabelecer a correlação entre chuvas e escorregamentos é um instrumento de gestão de risco de extrema importância, tanto para atuação das concessionárias de rodovias na prevenção de desastres e proteção aos seus usuários, quanto para os órgãos de Defesa Civil das regiões interceptadas pelas rodovias avaliadas. A partir de registros sistematizados dos dados relativos à ocorrência de escorregamentos e da incidência de chuvas, é possível definir regiões de comportamentos similares em relação à deflagração destes processos em decorrência das chuvas, permitindo determinar curvas (equações) de Coeficientes de Precipitação Crítica para cada região delimitada.

Neste projeto, foram analisados dados de um histórico de 27 anos de registros pluviométricos e de eventos geológicos e hidrológicos associados à Rodovia Mogi-Bertioga (SP-098) e à Rodovia Rio-Santos (SP-055), bem como foi realizada a avaliação da probabilidade acumulada de ocorrência de eventos geológicos. Esta análise permitiu a definição de quatro diferentes regiões dos trechos rodoviários que foram objeto do projeto, incluindo a determinação de curvas (equações) de Coeficientes de Precipitação Crítica para cada região, e fornecendo os parâmetros para auxiliar nas tomadas de decisão e emissão de alertas dos sistemas de gestão de risco destas rodovias.

No entanto, cabe ressaltar que, para viabilizar uma modelagem com o maior nível de detalhe possível, é necessário que haja o registro sistematizado das ocorrências de eventos geodinâmicos, que deverão compreender informações como o tipo de processo geodinâmico ocorrido, seu local de ocorrência (com coordenadas geográficas), e horário aproximado da deflagração do processo. Estas informações sistematizadas deverão ser complementadas pelas informações relativas às chuvas incidentes no momento, com registros que permitam a análise da intensidade e da quantidade de chuvas acumuladas em períodos de, pelo menos, dez dias. É necessário, ainda que a rede de medições pluviométricas seja expandida, aumentando a quantidade de aparelhos de medição e registro automático, e permitindo a análise de

chuvas com dados que retratam com melhor precisão as chuvas incidentes em cada região.

Desta forma, os modelos e coeficientes obtidos neste projeto poderão, futuramente, ser reajustados em função de uma maior disponibilidade de dados, tanto nos trechos que atualmente sofrem com a escassez de dados, quanto nos trechos em que há dados suficientes para elaboração de um modelo confiável no momento, mas que deverá ser revisado ao longo dos anos, em decorrência das alterações nos regimes de chuvas que vêm sendo observado no país.

Estes modelos podem, ainda, ser utilizados nos sistemas de gestão de risco dos municípios, adequando a análise dos registros de chuvas e de processos de escorregamentos às áreas ocupadas de seus territórios.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA) pela cessão dos dados referentes ao projeto de “Elaboração de Planos de Contingência frente a riscos de eventos geodinâmicos em trechos rodoviários selecionados das Unidades Básicas de Atendimento do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER/SP) de Caraguatatuba, Mogi das Cruzes e São Vicente”, bem como pela participação na elaboração deste artigo e pela parceria sempre construtiva e frutífera. À REGEA Geologia, Engenharia e Estudos Ambientais, à GEOTEC Consultoria Ambiental e à OPT GIS, empresas realizadoras do projeto, pelo apoio na elaboração do artigo. E a todos os colegas e colaboradores envolvidos na idealização e realização do projeto.

REFERÊNCIAS

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. CTH – CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS. Séries Históricas de Estações. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em outubro de 2020.

FERNANDEZ, G. N. Determinação de limiares críticos de chuva deflagradores de movimentos

gravitacionais de massa, município de São Bernardo do Campo, SP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

GUIDICINI, G., IWASA, O.Y. Ensaio de Correlação entre Pluviometria e Deslizamentos em Meio Tropical Úmido. São Paulo: IPT, 1976.

IG - INSTITUTO GEOLÓGICO DA SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. Cadastro Georreferenciado de Eventos Geodinâmicos: 50 Municípios da Região Metropolitana de São Paulo, Baixada Santista e Litoral Norte. Projeto Transporte Sustentável de São Paulo (P127723). São Paulo, 2017a. Disponível em: < <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutogeologico/2017/12/instituto-geologico-lanca-sistema-de-classificacao-unidades-territoriais-basicas-mapas-de-perigo-vulnerabilidade-e-risco-do-estado-de-sao-paulo-e-cadastro-de-eventos-geodinamicos-acidentes-e-desast/> >. Acesso em agosto de 2020.

IG - INSTITUTO GEOLÓGICO DA SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIEN-

TE DO ESTADO DE SÃO PAULO. Avaliação e Mapeamento de Risco (Escalas Regional e Local) de parte da RMSP - Região Metropolitana de São Paulo (Trechos Norte/Oeste/Sudoeste/Sudeste) e do Litoral Norte: relatórios técnicos e shapefiles. São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/3he1tz6>>. Acesso em março de 2022.

TATIZANA C., OGURA A.T., CERRI L.E.S., ROCHA M.C.M. 1987a. Análise de Correlação entre Chuvas e Deslizamentos - Serra do Mar - Município de Cubatão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA E ENGENHARIA, 5, São Paulo. Anais... São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2: 225-236.

TATIZANA, C., OGURA, A.T., CERRI, L.E.S., ROCHA M.C.M. 1987b. Modelamento Numérico da Análise de Correlação entre Chuvas e Deslizamentos aplicados à Encosta da Serra do Mar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA E ENGENHARIA,5, São Paulo. Anais... São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2: 237-248.