

NATÁSSIA CARDOSO BILESIMO

ESTUDO DOS LIMIARES PLUVIOMÉTRICOS PARA A OCORRÊNCIA DE
DESLIZAMENTOS EM JOINVILLE (2012 – 2016)

JOINVILLE

2017

NATÁSSIA CARDOSO BILESIMO

ESTUDO DOS LIMIARES PLUVIOMÉTRICOS PARA A OCORRÊNCIA DE
DESLIZAMENTOS EM JOINVILLE (2012 – 2016)

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil da Universidade do Estado de Santa
Catarina, como requisito para obtenção do
título de Mestre em Engenharia Civil.
Orientador: Prof. Dr. Edgar Odebrecht
Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Elisa Henning

JOINVILLE

2017

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CCT/UDESC

Cardoso Bilesimo, Natássia
ESTUDO DOS LIMIARES PLUVIOMÉTRICOS PARA A
OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS EM JOINVILLE (2012 ?
2016) / Natássia Cardoso Bilesimo. - Joinville ,
2017.
179 p.

Orientador: Edgar Odebrecht
Co-orientadora: Elisa Henning
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,
Joinville, 2017.

1. Deslizamentos. 2. Chuvas. 3. Regressão
Logística. 4. Joinville. I. Odebrecht, Edgar . II.
Henning, Elisa. , .III. Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. IV.
Título.

**Estudo dos Limiares Pluviométricos para a Ocorrência de Deslizamentos em
Joinville (2012-2016)**

por

Natássia Cardoso Bilesimo


Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de

MESTRA EM ENGENHARIA CIVIL

Área de concentração em “Engenharia Urbana e da Construção Civil”
e aprovada em sua forma final pelo

**CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS DA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA.**

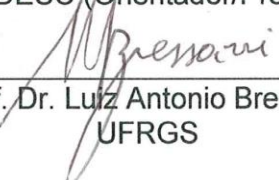
Banca Examinadora:



Prof. Dr. Edgar Odebrecht
CCT/UDESC (Orientador/Presidente)



Prof. Dra. Adriana Goulart dos Santos
CCT/UDESC



Prof. Dr. Luiz Antonio Bressani
UFRGS

Joinville, SC, 09 de outubro de 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Alírio e Débora, por aceitarem junto comigo o desafio de desenvolver essa pesquisa, sem medir esforços para que o melhor sempre fosse feito. Agradeço a minha irmã Nicole, por ter a paciência de me fazer lembrar sempre que nunca é tarde para começar algo que amamos fazer.

Quero agradecer ao mestre Gustavo Grein, por estar ao meu lado em todas as etapas dessa pesquisa me ajudando a contornar os obstáculos e me ensinando com profundidade, valores como persistência e convicção, algo tão necessário em um trabalho como esse. Agradeço pelas pontes que me ajudastes a construir até que a informação necessária fosse encontrada.

Aos meus orientadores Edgar Odebrecht e Elisa Henning, por tudo o que me ensinaram, e afirmo que o que me ensinaram nas disciplinas não pode ser comparado aos valores que ambos me mostraram ter. Durante o mestrado, não pude perceber a diferença do momento em que estavam em sala de aula ou não, já que sempre estavam passando bons exemplos, e imagino que essa seja a importância de um professor.

Ao Coordenador da Defesa Civil de Joinville, Maiko B. Richter, por confiar nesse trabalho desde o início, quando essa dissertação era apenas um esboço. Quero lembrar, ainda nesse parágrafo, o quanto sou grata por ter tido a oportunidade de conviver um tempo com a equipe da Defesa Civil de Joinville, pois com eles aprendi que o tudo começa do nada, e que é possível sim, ajudar o próximo sem esperar nada em troca.

Agradeço a Universidade do Estado de Santa Catarina, em especial ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, por ter me auxiliado no processo de aquisição de dados, os quais esse trabalho está baseado.

E finalmente as pessoas que preencheram as aulas de alegria, os meus amigos Franky, Eloise, Tânia, Thiago e Larissa. Agradeço pela compreensão e companhia.

Com tudo isso, posso dizer que sou grata a vida, por ter me apresentado pessoas como essas que citei e por ter sido tão boa comigo.

"[...] a dúvida é o preço da pureza
E é inútil ter certeza"
(Humberto Gessinger)

Dedico esse trabalho a todos que de alguma forma estiveram ao meu lado, quer seja financiando o seu desenvolvimento ou deixando meus dias mais alegres. As próximas páginas não são apenas o resultado de uma pesquisa, são resultados dos seus ensinamentos durante essa caminhada.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo o estudo dos limiares pluviométricos críticos deflagradores de deslizamentos no perímetro urbano de Joinville, entre 19 de abril de 2012 e 31 de dezembro de 2016. Dados sobre os acumulados de chuva foram obtidos do acervo digital disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Joinville, e as informações sobre as ocorrências de deslizamentos foram coletadas no banco de dados da Defesa Civil do município. Com essas informações foi criado um inventário, sendo que a partir dele foi possível verificar as características mais comuns entre os casos. Para a padronização das informações coletadas utilizou-se o laudo de vistoria proposto pela NBR 11682/2009 sobre estabilidade de taludes. Os dados pluviométricos foram analisados com o auxílio do pacote estatístico *Hyfo* (YUANCHAO XU, 2017), pertencente ao *software R®* (R CORE TEAM, 2017) o qual também possibilitou a realização do preenchimento de dados faltantes. Os resultados obtidos com o método adotado para o preenchimento foram analisados através da Curva Dupla Massa. Mapas com a localização das ocorrências de deslizamentos foram gerados no *software ArcGis®* versão 10.1. Nesse mesmo *software* também foi gerado o mapa das áreas de contribuição das estações meteorológicas pertencentes a rede de monitoramento da Defesa Civil de Joinville. O ajuste dos modelos de Regressão Logística e análise das variáveis significativas e dos testes estatísticos foram realizados no *software R®* (R CORE TEAM, 2017). Foram ajustados três diferentes modelos, sendo o primeiro um modelo ajustado a partir dos períodos de chuvas acumuladas significativas verificadas com os resultados obtidos para a multicolinearidade. O segundo e o terceiro modelo foram ajustados com base nos acumulados considerados significativos pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) quando do estabelecimento dos critérios para a ativação do Plano de Contingência a ser utilizado pela Defesa Civil de Joinville. Os modelos foram avaliados segundo a verificação das variáveis significativas, os valores para a razão de chances, o teste de Hosmer e Lemeshow e a área abaixo da curva (AUC) obtida com a curva ROC. Foram utilizadas amostras de treinamento e teste durante o processo, na razão de 2/3 e 1/3, respectivamente. Previsões foram realizadas a partir de ambas as amostras, sendo que os resultados da acurácia, índice Kappa, sensibilidade, especificidade, verdadeiros negativos e positivos e falsos negativos e positivos foram comparados, com a finalidade de verificar a proximidade dos resultados. As previsões realizadas com os três modelos mostraram resultados próximos para as probabilidades calculadas a partir das amostras de treinamento e de teste.

Palavras-chave: Deslizamentos; Chuvas; Regressão Logística; Joinville.

ABSTRACT

The objective of this research was to study the critical rainfall precipitation thresholds in the urban perimeter of Joinville between April 19, 2012 and December 31, 2016. Data about rain accumulation were obtained by a digital analysis provided by the Municipality of Joinville, while information on landslide occurrences were collected through the Civil Defense database of the same municipal jurisdiction. With this information, an inventory was created, devised from which it became possible to verify the most common aspects among the cases. To standardize the findings, the survey report proposed by NBR 11682/2009 on slope stability was used. The pluviometric data was analyzed using the Hyfo (YUANCHAO XU, 2017) statistical package which belongs to R® (R CORE TEAM, 2017) software, enabling to fill-in missing data which in turn was analysed through Double Mass Analysis. Maps of the locations landslides occurrences were then generated in ArcGis® software version 10.1, the same software generated a map of the contribution areas of the meteorological stations that belong to the monitoring network of the Civil Defense of Joinville. Adjustments of Logistic Regression models, analysis of significant variables and statistical tests were performed through R® (R CORE TEAM, 2017) software too. Three different models were adjusted, the first model in accordance to the periods of significant accumulated rainfall, verified by the results obtained for multicollinearity. The second and third models were adjusted based on the significant accumulated rainfall considered by the National Center for Monitoring and Alerts of Natural Disasters (CEMADEN) when the criteria for the activation of the Contingency Plan used by the Civil Defense of Joinville were established. The models were evaluated according to the verification of the significant variables, the values for the odds ratio, the Hosmer and Lemeshow test and the area under the curve (AUC) obtained with the ROC curve. Training and test samples were used during the process, in the ratio of 2/3 and 1/3, respectively. Predictions were made from both samples, and the results of the accuracy, Kappa index, sensitivity, specificity, true negative and positive and false negative and positive were compared, in order to verify the proximity of the results. The predictions performed with the three models showed closed results for probabilities calculated from the training and test samples.

Keywords: Landslides; Rainfall; Logistic Regression; Joinville.

SUMÁRIO

	LISTA DE FIGURAS.....	10
	LISTA DE TABELAS.....	13
	LISTA DE ABREVIATURAS.....	15
	INTRODUÇÃO	17
1	REVISÃO.....	20
1.1	MOVIMENTOS DE MASSA	20
1.1.1	Classificações propostas para os movimentos de massa.....	20
1.1.2	Fator de segurança e Níveis de segurança	28
1.1.3	A precipitação como condicionantes para a deflagração de movimentos de massa	29
1.2	PRECIPITAÇÃO.....	31
1.2.1	O ciclo hidrológico	31
1.2.2	Dinâmica atmosférica	31
1.2.3	Instrumentos meteorológicos.....	33
1.2.4	Preenchimento de dados faltantes e o método da Curva Dupla Massa	34
1.3	ESTUDOS RELACIONADOS A PRECIPITAÇÃO E A OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS	38
1.4	REGRESSÃO LOGÍSTICA.....	65
1.5	ASPECTOS CONCEITUAIS SOBRE DEFESA CIVIL.....	69
2	METODOLOGIA.....	71
3	JOINVILLE E SUAS CARACTERÍSTICAS.....	78
4	ANÁLISE DE DADOS	82
4.1	ANÁLISE DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO.....	82
4.2	ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS.....	103
5	RESULTADOS	110
5.1	RELAÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS E AS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS.....	110
5.2	VERIFICAÇÃO DA QUANTIDADE SIGNIFICATIVA DE DIAS DE CHUVA ACUMULADA.....	115
5.3	AJUSTE DE MODELOS PARA A PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS.....	119
5.3.1	Primeiro modelo - Chuva diária e acumulada de 168 horas.....	120
5.3.2	Segundo modelo - Chuvas diárias.....	126
5.3.3	Terceiro modelo - Chuvas acumuladas de 72 horas.....	130

5.3.4	Comparação dos resultados obtidos com a previsão dos modelos.....	135
6	CONCLUSÃO.....	138
	REFERÊNCIAS.....	144
	ANEXO.....	150
	ANEXO A - QUESTIONÁRIO APLICADO ÀS 192 OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS REGISTRADAS PELA DEFESA CIVIL DE JOINVILLE....	150
	ANEXO B - EVOLUÇÃO URBANA OCORRIDA EM JOINVILLE ENTRE OS ANOS DE 1851 E 2016.....	152
	APÊNDICES.....	153
	APÊNDICE A - MAPA DA LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS	153
	APÊNDICE B - MAPA DA LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS REGISTRADAS PELA DEFESA CIVIL DE JOINVILLE EM 2012.....	154
	APÊNDICE C - MAPA DA LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS REGISTRADAS PELA DEFESA CIVIL DE JOINVILLE EM 2013.....	155
	APÊNDICE D – MAPA DA LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS REGISTRADAS PELA DEFESA CIVIL DE JOINVILLE EM 2014	156
	APÊNDICE E - MAPA DA LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS REGISTRADAS PELA DEFESA CIVIL DE JOINVILLE EM 2015	157
	APÊNDICE F - MAPA DA LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS REGISTRADAS PELA DEFESA CIVIL DE JOINVILLE EM 2016.....	158
	APÊNDICE G - ÁREA DE ABRANGÊNCIA DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DENTRO DO PERÍMETRO URBANO DE JOINVILLE.....	159
	APÊNDICE H - PONTOS DE OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS NAS ÁREAS DE ABRANGÊNCIA DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS.....	160
	APÊNDICE I - LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS REGISTRADAS PELA DEFESA CIVIL DE JOINVILLE EM 2012.....	161
	APÊNDICE J - LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS REGISTRADAS PELA DEFESA CIVIL DE JOINVILLE EM 2013.....	163

APÊNDICE K - LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS REGISTRADAS PELA DEFESA CIVIL DE JOINVILLE EM 2014.....	165
APÊNDICE L - LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS REGISTRADAS PELA DEFESA CIVIL DE JOINVILLE EM 2015.....	166
APÊNDICE M - LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS REGISTRADAS PELA DEFESA CIVIL DE JOINVILLE EM 2016.....	169
APÊNDICE N – COMANDOS UTILIZADOS DURANTE O AJUSTE DOS MODELOS.....	171
APÊNDICE O - QUANTIDADE DE OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS REGISTRADOS POR BAIRRO EM 2012.....	173
APÊNDICE P - QUANTIDADE DE OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS REGISTRADOS POR BAIRRO EM 2013.....	174
APÊNDICE Q - QUANTIDADE DE OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS REGISTRADOS POR BAIRRO EM 2014.....	175
APÊNDICE R - QUANTIDADE DE OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS REGISTRADOS POR BAIRRO EM 2015.....	176
APÊNDICE S - QUANTIDADE DE OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS REGISTRADOS POR BAIRRO EM 2016.....	177

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dimensões de movimentos de massa.....	23
Figura 2 - Tipos de estados de atividades dos movimentos.....	25
Figura 3 - Exemplo dos procedimentos realizados no método do Polígono de Thiessen.....	38
Figura 4 - Localização das estações meteorológicas da Defesa Civil de Joinville.....	72
Figura 5 - Mapa da localização do município do Joinville.....	78
Figura 6 - Comportamento dos índices pluviométricos em Joinville.....	79
Figura 7 - Mapa da divisão política e administrativa de Joinville.....	80
Figura 8 - Parte da planilha com dados das alturas pluviométricas registradas pelas estações meteorológicas da Defesa Civil de Joinville.....	82
Figura 9 - Dados faltantes e acumulados de chuva por ano em cada estação.....	83
Figura 10 - Médias anual de precipitação para o período de 2012 a 2016, em Joinville.....	85
Figura 11 - Alturas pluviométricas diárias registradas pela estação Águas de Joinville.....	86
Figura 12 - Alturas pluviométricas diárias registradas pela estação Cubatão.....	86
Figura 13 - Alturas pluviométricas diárias registradas pela estação Estrada Sul.....	87
Figura 14 - Alturas pluviométricas diárias registradas pela estação FlotFlux.....	87
Figura 15 - Alturas pluviométricas diárias registradas pela estação Guanabara.....	88
Figura 16 - Alturas pluviométricas diárias registradas pela estação IateClub.....	88
Figura 17 - Alturas pluviométricas diárias registradas pela estação Itaum.....	89
Figura 18 - Alturas pluviométricas diárias registradas pela estação Jativoca.....	89
Figura 19 - Alturas pluviométricas diárias registradas pela estação Paraíso.....	90
Figura 20 - Alturas pluviométricas diárias registradas pela estação Unidade de Obras.....	90
Figura 21 - Alturas pluviométricas acumuladas por cada estação ao longo do período em estudo.....	91
Figura 22 - Acumulados de chuva por ano em cada estação.....	92
Figura 23 - Média anual de precipitação para o período de 2012 a 2016, após o preenchimento de falhas.....	93
Figura 24 - Alturas pluviométricas acumuladas por cada estação ao longo do período em estudo, após o preenchimento de falhas.....	94
Figura 25 - Análise de consistências dos dados da estação Águas de Joinville.....	98
Figura 26 - Análise de consistências dos dados da estação Cubatão.....	98
Figura 27 - Análise de consistências dos dados da estação Estrada Sul.....	99
Figura 28 - Análise de consistências dos dados da estação FlotFlux.....	99

Figura 29 - Análise de consistências dos dados da estação Guanabara.....	100
Figura 30 - Análise de consistências dos dados da estação IateClub.....	100
Figura 31 - Análise de consistências dos dados da estação Itaum.....	101
Figura 32 - Análise de consistências dos dados da estação Jativoca.....	101
Figura 33 - Análise de consistências dos dados da estação Paraíso.....	102
Figura 34 - Análise de consistências dos dados da estação Unidade de Obras.....	102
Figura 35 - Quantidade de informações sobre a drenagem obtidas através das ocorrências.....	106
Figura 36 - Quantidade de informações sobre a existência de obra de contenção obtidas através das ocorrências.....	106
Figura 37 - Quantidade de informações sobre o grau de risco obtidas através das ocorrências.....	107
Figura 38 - Quantidade de informações sobre os tipos de consequências obtidas através das ocorrências.....	106
Figura 39 - Quantidade de informações sobre os elementos em risco obtidas através das ocorrências.....	107
Figura 40 - Quantidade de informações sobre os locais vistoriados obtidas através das ocorrências.....	108
Figura 41 - Quantidade total de ocorrências registradas por mês em todo o período de estudo.....	111
Figura 42 - Acumulados e quantidade de deslizamentos anuais.....	112
Figura 43 - Acumulados e quantidades de deslizamentos mensais para o ano de 2012.....	112
Figura 44 - Acumulados e quantidades de deslizamentos mensais para o ano de 2013.....	113
Figura 45 - Acumulados e quantidades de deslizamentos mensais para o ano de 2014.....	113
Figura 46 - Acumulados e quantidades de deslizamentos mensais para o ano de 2015.....	114
Figura 47 - Acumulados e quantidades de deslizamentos mensais para o ano de 2016.....	114
Figura 48 - Acumulados e quantidades de deslizamentos diários entre 2012 e 2016.....	115
Figura 49 - Altura pluviométrica acumulada em 48 horas registradas em cada dia do período em estudo.....	116
Figura 50 - Altura pluviométrica acumulada em 72 horas registradas em cada dia do período em estudo.....	116
Figura 51 - Altura pluviométrica acumulada em 96 horas registradas em cada dia do período em estudo.....	117
Figura 52 - Altura pluviométrica acumulada em 120 horas registradas em cada dia do período em estudo.....	117

Figura 53 - Altura pluviométrica acumulada em 144 horas registradas em cada dia do período em estudo.....	118
Figura 54 - Altura pluviométrica acumulada em 168 horas registradas em cada dia do período em estudo.....	118
Figura 55 - Gráfico da probabilidade de ocorrência de deslizamentos <i>versus</i> chuva acumulada de 168 horas, considerando uma chuva diária de 75 mm.....	122
Figura 56 - Curva ROC correspondente ao modelo ajustado com os dados de chuva diária e chuva acumulada em 168 horas	123
Figura 57 - Gráfico da probabilidade de ocorrência de deslizamentos <i>versus</i> chuva acumulada de 24 horas.....	127
Figura 58 - Curva ROC correspondente ao modelo ajustado com os dados de chuva diária	128
Figura 59 - Gráfico da probabilidade de ocorrência de deslizamentos <i>versus</i> chuva acumulada de 72 horas.....	132
Figura 60 - Curva ROC correspondente ao modelo ajustado com os dados de chuva acumulada em 72 horas.....	133

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Terminologia e definições para os tipos básicos de movimentos de massa.....	22
Tabela 2 - Dimensões de movimentos de massa.....	23
Tabela 3 - Classificação para os tipos de movimentos.....	25
Tabela 4 - Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas.....	28
Tabela 5 - Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais.....	28
Tabela 6 - Fatores de segurança mínimos para deslizamentos.....	29
Tabela 7 - Gênero e características das nuvens.....	32
Tabela 8 - Intensidade da precipitação acumulada em 24 horas.....	34
Tabela 9 - Nível de alerta estabelecido pelo Sistema Alerta Rio.....	58
Tabela 10 - Quantidade de dados coletados por ano em cada estação meteorológica.....	83
Tabela 11 - Resumo numérico obtido sem o preenchimento de falhas.....	95
Tabela 12 - Resumo numérico obtido com o preenchimento de falhas.....	96
Tabela 13 - Acumulados anuais obtidos sem o preenchimento de falhas.....	96
Tabela 14 - Acumulados anuais obtidos com o preenchimento de falhas.....	97
Tabela 15 - Quantidade de ocorrências por área de abrangência.....	110
Tabela 16 – Resultado da multicolinearidade entre a chuva acumulada em 24 horas e a chuva acumulada nos seguintes períodos.....	119
Tabela 17 – Razão de chances para as variáveis chuva acumulada em 24 e 168 horas.....	123
Tabela 18 - Métricas de avaliação da classificação dos resultados da previsão realizada no primeiro modelo com a amostra de treinamento dos dados de chuva diária e acumulada em 168 horas.....	124
Tabela 19 – Métricas de avaliação da classificação dos resultados da previsão realizada no primeiro modelo com a amostra de teste dos dados de chuva diária e acumulada em 168 horas.....	125
Tabela 20 – Razão de chances para as variáveis chuva acumulada em 24 horas.....	128
Tabela 21 - Métricas de avaliação da classificação dos resultados da previsão realizada no segundo modelo com a amostra de treinamento dos dados de chuva diária.....	129
Tabela 22 – Métricas de avaliação da classificação dos resultados da previsão realizada no segundo modelo com a amostra de teste dos dados de chuva diária.....	130
Tabela 23 - Razão de chances para as variáveis chuva acumulada em 72 horas.....	132

Tabela 24 – Métricas de avaliação da classificação dos resultados da previsão realizada no terceiro modelo com a amostra de treinamento dos dados de chuva acumulada de 72 horas.....	134
Tabela 25 – Métricas de avaliação da classificação dos resultados da previsão realizada no terceiro modelo com a amostra de teste dos dados de chuva acumulada de 72 horas.....	134
Tabela 26 – Comparação entre as métricas de avaliação da previsão realizada com o primeiro modelo a partir das amostras de treino e de teste.....	135
Tabela 27 – Comparação entre as métricas de avaliação da previsão realizada com o segundo modelo a partir das amostras de treino e de teste.....	136
Tabela 28 – Comparação entre as métricas de avaliação da previsão realizada com o terceiro modelo a partir das amostras de treino e de teste.....	137

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AESA – Agência Executiva de Gestão de Águas da Paraíba

AJ – Estação meteorológica Águas de Joinville

AMVA – *Área Metropolitana de Valle de Aburrá*

ANA – Agência Nacional de Águas

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres

AUC – *Area Under the Curve*

CB – Estação meteorológica Cubatão

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento de Alertas de Desastres

CMB – *Carrara Marble Basin*

COMDEC – Coordenadoria Municipal de Defesa Civil

CRT – Concessionária Rio – Teresópolis

CWB – *Taiwan's Central Weather Bureau*

EPM – *Empresa Pública de Medellín*

ES – Estação meteorológica Estrada Sul

FF – Estação meteorológica FlotFlux

FN – Falsos negativos

FP – Falsos positivos

FS – Fator de segurança

GN – Estação meteorológica Guanabara

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC – Estação meteorológica Iate *Club*

IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

IM – Estação meteorológica Itaum

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPPUJ – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Joinville

JV – Estação meteorológica Jativoca

MDT – Modelo Digital do Terreno

MSR – Taxa de sucesso modificada

NVDI – Índice de Vegetação Diferencial Normalizado

PPDC – Plano Preventivo de Defesa Civil

PR – Estação meteorológica Paraíso

PRBRL – Ponderação Regional com Base em Regressões Lineares

RID – Diferença de intensidade da chuva

RLM – Regressão Linear Múltipla

RLS – Regressão Linear Simples

RNAs – Redes Neurais Artificiais

ROC – *Receiver Operating Characteristics*

SEPROT/PMJ – Secretaria de Proteção Civil e Segurança Pública / Prefeitura Municipal de Joinville

SIATA – *Sistema de Alerta Temprana Ambiental*

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SIMGeo – Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas de Joinville

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura

UO – Estação meteorológica Unidade de Obras

URBEL/PBH – Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte / Prefeitura de Belo Horizonte

VIF – Inflação da variância

VN – Verdadeiros negativos

VP – Verdadeiros positivos

WP/WLI – *Working Party for World Landslides Inventory*

INTRODUÇÃO

Joinville, a cidade mais populosa do Estado de Santa Catarina, considerada pólo industrial da região sul, tem sua atividade econômica concentrada na indústria, destacando-se nos setores metalomecânico, têxtil, plástico, metalúrgico, químico, farmacêutico, e segundo informações do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Joinville IPPUJ (2016) ocupa o 21º lugar no *ranking* nacional do Produto Interno Bruto (PIB). Outro dado importante é o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), calculado com base nos fatores renda, educação e expectativa de vida, que para Joinville é de 0,809, um valor considerado “muito alto” segundo o Atlas de Desenvolvimento Humano Brasil 2013 (ATLAS, 2013).

A fundação e a constituição do núcleo urbano de Joinville remontam ao século XIX, quando a partir de 1851 teve início a colonização do seu território que, embora de forma dispersa, se deu a partir de um núcleo em direção às vias atualmente denominadas Nove de Março, XV de Novembro, Dr. João Colin e Visconde de Taunay (IPPUJ, 2016). Ainda conforme informações de IPPUJ (2016), o crescimento da cidade sempre esteve relacionado diretamente à expansão da base econômico industrial, pelo fato desta trazer consigo o crescimento populacional.

No entanto, a explosão demográfica ocorrida no município na segunda metade do século XX combinada com a falta de planejamento e de uma estrutura adequada para atender as necessidades da população, contribuíram para uma ocupação desordenada do território, incluindo áreas de manguezais e de encostas (JOINVILLE, 1966). Nesse contexto, o tipo de solo, relevo e clima, somado ao crescimento da ocupação humana da região, tornaram os impactos causados pelos fenômenos meteorológicos cada vez maiores e frequentes. As consequências que esses desastres provocam ao meio e ao homem salientam a importância do desenvolvimento de estudos referentes a possibilidade de diminuição dos seus impactos.

Os problemas sociais e ambientais decorrentes da ocupação do território não são uma especificidade de Joinville, estão presentes em vários contextos regionais no Brasil. Sob esse aspecto, analisando o caso da cidade de Porto Alegre, Britto (2014) destaca que, devido ao crescimento da demanda de áreas para usos urbanos, as cidades acabam por expandir seu território de forma inadequada, o que intensifica o processo de ocupação de áreas inapropriadas para a urbanização, como planícies de inundação e encostas íngremes. Por suas características, esses locais são propensos à ocorrência periódica de fenômenos naturais adversos, e por essa razão podem ser configurados como áreas de risco.

Entendendo que uma das maneiras de amenizar os impactos causados por desastres relacionados aos períodos chuvosos é prever quando esses fenômenos poderão ocorrer, é que se destaca a relevância dessa pesquisa, que se propõe estudar os limiares de precipitação capazes de aumentar a probabilidade de ocorrência de deslizamentos, além de levantar informações sobre quais os fatores relacionados a eles.

Este trabalho tem o objetivo de estudar os limiares de precipitação deflagradores de deslizamentos localizados no Perímetro Urbano do Município de Joinville, tendo como referência os registros pluviométricos e de ocorrências de deslizamentos da Defesa Civil do município, no período entre abril 2012 e dezembro de 2016, e os limiares estabelecidos no Plano de Contingência propostos pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres (CEMADEN). Acrescenta-se a este objetivo geral os seguintes objetivos específicos:

- a) Analisar os dados referentes às alturas pluviométricas registradas pela rede de monitoramento da Defesa Civil de Joinville no referido período.
- b) Inventariar os casos de deslizamentos contidos no banco de dados do mesmo órgão.
- c) Caracterizar os deslizamentos ocorridos, através das informações registradas nas ocorrências pela Defesa Civil de Joinville.
- d) Relacionar os dados de precipitação com as ocorrências de deslizamentos.
- e) Ajustar modelos para a probabilidade de ocorrência de deslizamentos a partir da quantidade de dias de acumulado de chuva significativos definidos como critério para a ativação do Plano de Contingência da Defesa Civil de Joinville, segundo o CEMADEN.

Este trabalho foi estruturado em 5 capítulos, sendo o primeiro referente a revisão teórica realizada, onde são analisados trabalhos de autores que se dedicaram ao estudo de teorias e metodologias relativas à deslizamentos, precipitação de chuvas e definição de limiares pluviométricos deflagradores de deslizamentos. Ao final, são apresentados alguns conceitos e termos técnicos presentes no Glossário de Defesa Civil, Estudos de Risco e Medicina dos Desastres.

No segundo capítulo foi descrita a metodologia adotada durante a pesquisa, explicando os procedimentos para a coleta de dados sobre as alturas pluviométricas registradas pelas estações meteorológicas e a criação do inventário de deslizamentos registrados entre anos de 2012 e 2016 pela Defesa Civil de Joinville. Nessa parte também são abordadas as teorias e metodologias empregadas pelos autores que serviram de referência para o desenvolvimento deste estudo, além de uma descrição dos *softwares* utilizados durante o ajuste dos modelos.

O terceiro capítulo consiste em uma análise de dados pluviométricos e de deslizamentos. Com relação aos dados pluviométricos, são mostrados gráficos que indicam o comportamento

das chuvas durante o período de estudo. Além disso, são apresentados os resultados obtidos com o método aplicado para o preenchimento de dados faltantes nas planilhas de registros pluviométricos, e consecutivamente, os resultados da análise de consistência realizada através do método da Curva de Dupla Massa. Nesse mesmo capítulo, são apresentados também os resultados do levantamento de informações contidas nas ocorrências de deslizamentos.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos, os gráficos resultantes da relação entre as chuvas e os deslizamentos, o modelo proposto para a probabilidade de ocorrência de deslizamentos considerando a quantidade de dias significativos segundo os cálculos estatísticos, e os dois modelos propostos para a probabilidade de ocorrência de deslizamentos segundo dois critérios recomendados pelo CEMADEN para a ativação do Plano de Contingência da Defesa Civil de Joinville.

No quinto capítulo estão descritas as conclusões obtidas durante o processo de coleta de informação pluviométricas e sobre as ocorrências, análise dos dados e o desenvolvimento dos modelos para a probabilidade de ocorrência de deslizamentos com base nos acumulados de chuva.

1 REVISÃO

1.1 MOVIMENTOS DE MASSA

1.1.1 Classificações propostas para os movimentos de massa

Antes de apresentar alguns conceitos sobre os movimentos de massa, se faz necessário explicar a definição de talude. Segundo Fiori (2015, p.151), “talude é um termo genérico, compreendendo qualquer superfície inclinada que limita um maciço de terra, de rocha ou de ambos, pode ser natural, caso das encostas ou vertentes, ou artificial, quando construído pelo homem, caso dos cortes e aterros”.

Fiori (2015) explica que teoricamente um talude é uma massa de solo que está sujeita a três tipos de forças diferentes, sendo elas forças resultantes do peso dos materiais, do escoamento da água e da resistência ao cisalhamento. Por esse motivo, o estudo da estabilidade de taludes visa o equilíbrio entre esses três tipos de forças, considerando que as forças resultantes do peso dos materiais e do escoamento da água somam-se, já que elas tendem a movimentar a massa de solo para baixo. Em contrapartida, a força resultante da resistência ao cisalhamento equilibra as duas outras forças, de forma a resistir ao movimento.

Caso as forças resultantes do peso dos materiais e do escoamento da água forem superiores a força resistente ao cisalhamento, tornam-se favoráveis as condições para a ocorrência de um movimento de massa. Tominaga, Santoro e Amaral (2012, p.27), definem um movimento de massa como um “[...] movimento de solo, rocha e/ou vegetação ao longo da vertente sob a ação direta da gravidade”. Esses autores também indicam a contribuição da água e do gelo como agentes que favorecem essa condição, pois causam a diminuição da resistência dos materiais pelo fato de induzirem um comportamento plástico e fluído nos solos (TOMINAGA, SANTORO E AMARAL, 2012).

De acordo com Guidicini e Nieble (1983, p.1), “o termo escorregamento tem sido comumente utilizado no sentido de abranger todo e qualquer movimento coletivo de materiais terrosos e/ou rochosos, independentemente da diversidade de processos, causas, velocidades, formas e demais características”, e devido à complexidade dos processos envolvidos e aos diversos locais de ocorrência, se torna difícil a sua análise. Os autores ainda afirmam que não existe uma classificação que seja amplamente disseminada, pois ainda faltam definições sobre os fenômenos envolvidos e uma nomenclatura padronizada.

Segundo Tominaga, Santoro e Amaral (2012, p.27), “escorregamentos são movimentos rápidos, de porções de terrenos (solos e rochas), com volumes definidos, deslocando-se sob

ação da gravidade, para baixo e para fora do talude ou da vertente”. Ainda conforme esses autores, os movimentos também são denominados popularmente como deslizamentos, quedas de barreira ou desbarrancamentos.

Os termos escorregamento, deslizamento e desmoronamento são utilizados de forma igual pela Defesa Civil, pois conforme o Glossário de Defesa Civil, Estudos de Riscos e Medicina dos Desastres, escorregamento tem o mesmo significado que deslizamento ou desmoronamento, e refere-se a vários tipos de processos que envolvem movimentos coletivos de solo e/rocha sob a ação da gravidade (BRASIL, [201-]).

Nesse sentido, Brito (2014, p.27) também concluiu em seu estudo sobre as áreas suscetíveis a escorregamentos no município de Porto Alegre, que a classificação dos movimentos de massa ainda é algo complexo. A autora fez uma análise de alguns sistemas de classificações e afirma que

analisando as classificações anteriormente descritas, é possível perceber que nenhum sistema é completo e abrange todos os tipos de movimentos de massa, devido principalmente à sua variedade. As classificações complexas, que envolvem a discretização de um grande número de fenômenos, dificultam o reconhecimento dos movimentos de massa em campo, sendo necessária a utilização de caracterizações detalhadas de subsuperfície. Portanto, nos casos onde não é necessária a identificação de todos os mecanismos envolvidos no movimento, a adoção de sistemas classificatórios mais sucintos é preferível.

A falta da padronização dos termos utilizados dificulta o diálogo entre os diversos especialistas envolvidos na avaliação de áreas de risco. Diversas definições para movimentos de massa e deslizamentos podem ser encontradas na literatura e na prática, pois ainda não se estabeleceu uma classificação ou terminologia própria, afirma Brito (2014).

Com relação aos casos de movimentos de massa já registrados no país, Guidicini e Nieble (1983, p.7) explicam que “o histórico de movimentos de massas no Brasil, registra a ocorrência de acontecimentos que vão desde o simples desprendimento de blocos isolados até milhares de escorregamentos simultâneos, afetando áreas com centenas de quilômetros quadrados”, o que indica a diversidade entre as características das ocorrências.

A NBR 11682 (ABNT, 2009) é a norma brasileira que prescreve as exigências relacionadas aos estudos e controle da estabilidade de encostas e de taludes originados por corte e aterro. Na tabela B.1 contida no apêndice A dessa norma são apresentadas as definições para os termos: queda/rolamento, tombamento, escorregamento e escoamento. As terminologias e as respectivas definições são mostradas na tabela 1.

Tabela 1 – Terminologia e definições para os tipos básicos de movimentos de massa.

Terminologia	Definição
Queda/rolamento	Desprendimento de fragmentos do terreno de qualquer tamanho, que caem de certa altura, em queda livre ou com qualquer outra trajetória e tipo de movimento.
Tombamento	Movimento de massa em forma de báscula com eixo na base.
Escorregamento	Movimento de massa por deslocamento sobre uma ou mais superfícies.
Escoamento	Movimento de massa com propriedades de fluido, lento ou rápido (corrida).

Autor: Adaptado de NBR 11682 (ABNT, 2009).

Em 1993, a Associao Internacional de Geotecnia (*The International Geotechnical Societies*) juntamente com a Organizao das Naes Unidas para a Educao, Ciência e Cultura (UNESCO), criaram um glossário multilíngue com termos relativos a movimentos de massa. O glossário denomina-se *The International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party for World Landslides Inventory*, sendo ele abreviado para WP/WLI (BRITO, 2014).

No glossário, o termo *landslide* significa um movimento de rocha, solo ou detritos descendo uma encosta (CRUDEN (1991) *apud* WP/WLI (1993, traduo nossa)). Referente a esse termo, a associao ainda definiu que ele no abrange movimentos de subsidência e avalanches de neve, mas sim, fluxos de detritos, por exemplo. A classificao dos tipos de movimentos presente no glossário ainda prope que eles sejam diferenciados em: queda (*fall*), tombamento (*topple*), deslizamento (*slide*), expanses (*spread*) e escoamento (*flow*) (WP/WLI, 1993, traduo nossa).

Conforme WP/WLI (1993, traduo nossa), o início de uma queda (*fall*) se dá pela separao do solo ou da rocha de uma superfície íngreme, o qual o material desce por queda ou rolamento. Um tombamento (*topple*)  um movimento de rotao para frente, em torno de um ponto ou eixo localizado abaixo do centro de gravidade da massa de solo ou rocha deslocada. Um deslizamento (*slide*)  o movimento da massa de solo ou rocha para baixo e que ocorre através de superfícies de ruptura ou regies de alta tenso de cisalhamento. Os espraiaamentos (*spreads*) so movimentos de extenso de um solo coesivo ou rocha combinado com o movimento de subsidência da massa fraturada, podendo ser resultante dos processos liquefao ou fluxo. Um fluxo (*flow*)  um movimento contínuo e de curta durao, sendo que a distribuio da velocidade da massa durante o seu deslocamento  semelhante  de um flido viscoso.

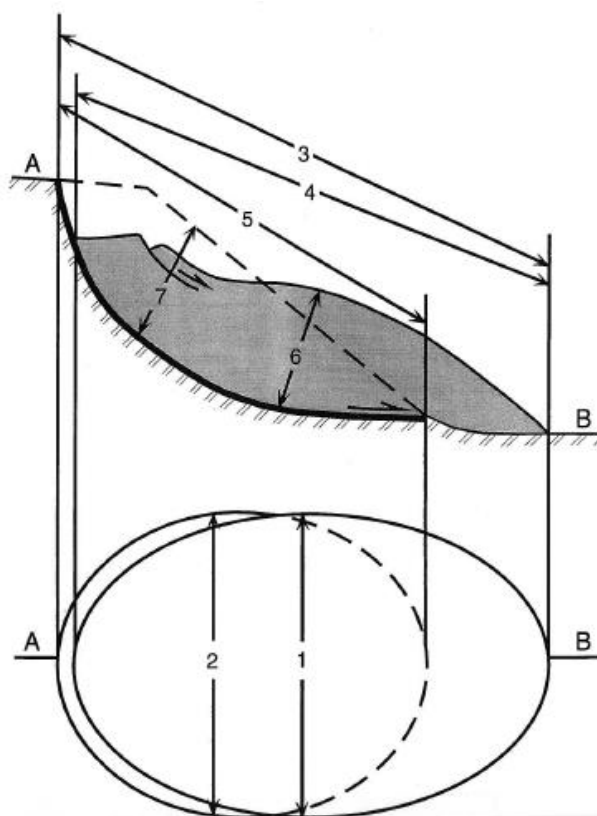
Nesse documento também foram definidos conceitos relativos as dimensões de um movimento de massa, a tabela 2 e a Figura 1 mostram de forma detalhada quais são elas.

Tabela 2 – Dimensões de movimentos de massa.

Numeração	Termo	Definição
1	Wd	Largura máxima da massa deslocada posicionada perpendicularmente ao comprimento Ld.
2	Wr	Largura da superfície de ruptura.
3	L	Mínima distância entre topo e a base do movimento.
4	Ld	Comprimento da massa deslocada.
5	Lr	Comprimento da superfície de ruptura.
6	Dd	Maior profundidade atingida medida perpendicularmente dos panos que contém a Wd e Ld.
7	Dr	Maior profundidade abaixo da superfície do solo original medido perpendicularmente do plano contendo Wr e Lr.

Autor: WP/WLI (1993, tradução nossa).

Figura 1 – Dimensões de um movimento de massa.



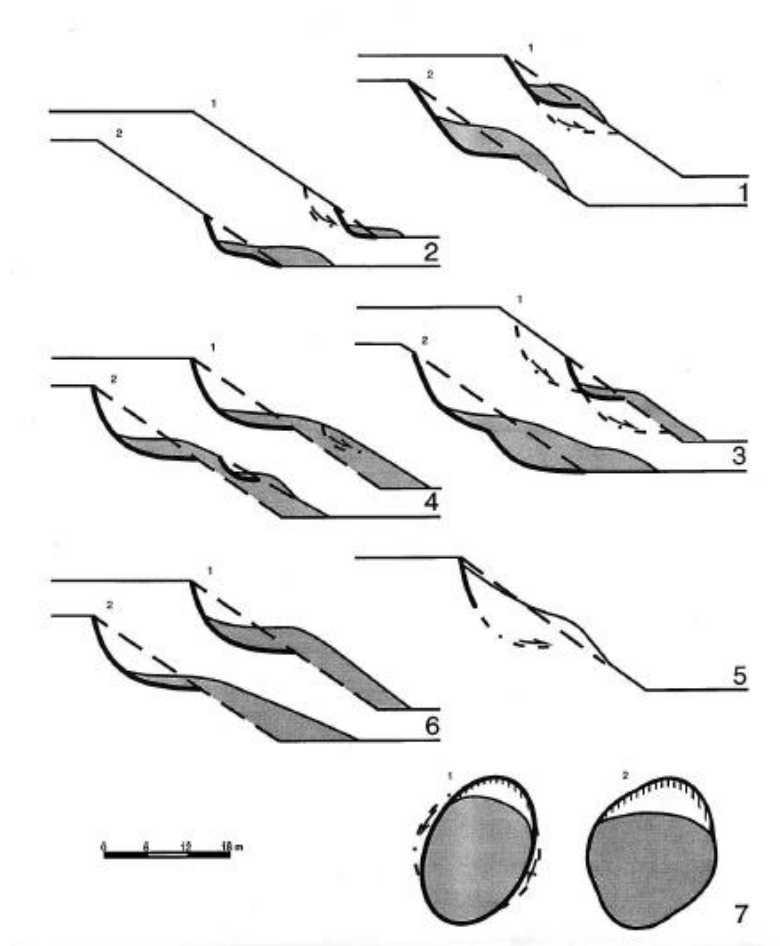
Fonte: WP/WLI (1993).

Em WP/WLI (1993, tradução nossa) há uma explicação sobre os estados de atividade dos movimentos de massa, classificando-os em ativos, suspensos, reativos, inativos, dormentes, abandonados, estabilizados e relictos.

Os movimentos ativos são definidos como aqueles que ainda ocorrem e os suspensos são os movimentos que ocorreram dentro dos últimos 12 meses, porém não estão ativos no presente. Já os reativos são aqueles movimentos inativos, mas que atualmente se tornaram ativos. Um movimento inativo é definido como aquele em que não foi registrado movimento nos últimos 12 meses, e podem se subdividir em movimentos do tipo dormente, abandonado, estabilizado e relictos. O movimento do tipo dormente se trata de um movimento inativo que pode se reativar devido as suas causas originais ou ainda outras. O movimento abandonado é um movimento inativo que já não é mais afetado por suas causas originais, já o estabilizado é também um movimento inativo, o qual foi protegido das causas originais através de medidas corretivas. Um movimento relictos é inativo, sendo que o seu desenvolvimento ocorreu em condições climatológicas ou geomorfológicas diferentes das que atuam no presente (WP/WLI, 1993, tradução nossa).

Além da classificação para os estados de atividade, há também em WP/WLI (1993, tradução nossa) uma classificação para a distribuição de atividade nos movimentos. Segundo WP/WLI (1993, tradução nossa), os movimentos podem estar estendendo a superfície de ruptura em direção ao movimento, o que é denominado de *advancing landslide*. Se o movimento estiver se estendendo para o lado oposto, ele é chamado de *retrogressive landslide*, entretanto, se o movimento se estender para duas ou mais direções, tem-se o *enlarging landslide*. O termo *diminishing landslide* refere-se a movimentos que apresentam uma diminuição no volume de massa de deslocada. A superfície de ruptura pode não ser visível, no entanto, uma escarpa na base do material deslocada torna-se eminente, logo, tem-se o chamado *confined landslide*. Se o material continuar se movendo sem nenhuma modificação visível na sua superfície de ruptura e no volume de material, classifica-se o movimento como *moving landslide*. E por último, os movimentos do tipo *widening landslide*, os quais a superfície de ruptura estende-se para um ou mais lados. A Figura 2 exemplifica cada uma dessas classes.

Figura 2 – Tipos de estados de atividades dos movimentos.



Fonte: WP/WLI (1993).

A classificação proposta em WP/WLI (1993) é semelhante a classificação proposta anteriormente por Varnes (1978). Na sua classificação, Varnes (1978) diferenciou os movimentos em queda (*fall*), tombamento (*topple*), deslizamento (*slide*), espraiaamentos (*spread*) e escoamento (*flow*). Na tabela 3 pode-se observar a classificação de Varnes (1978).

Tabela 3 – Classificação para os tipos de movimentos.

Tipo de movimento	Tipo de material		
	Rocha	Solo de engenharia	
		Predomínio de material grosso	Predomínio de material fino
Queda	Queda de rocha	Queda de detrito	Queda de solo

Tombamento			Tombamento de rocha	Tombamento de detrito	Tombamento de solo
Deslizamentos	Rotacional	Poucas unidades	Abatimento de rocha	Abatimento de detrito	Abatimento de solo
	Translacional		Deslizamento de blocos de rochas	Deslizamento de blocos de detritos	Deslizamento de blocos de solo
			Muitas unidades	Deslizamento de rocha	Deslizamento de detrito
Expansão Lateral			Expansão de rocha	Expansão de detrito	Expansão de solo
Escoamento			Escoamento de rocha	Escoamento de detrito	Escoamento de solo
Complexo			Combinação de dois ou mais principais tipos de movimentos.		

Fonte: Varnes (1978, tradução nossa).

Outra classificação de movimentos de massa é proposta por Guidicini e Nieble (1983). Nela, os autores diferem os tipos de movimentos em escoamentos, que dividem-se em rastejos e corridas, que por sua vez subdividem-se em corridas de terra, corridas de areia e silte, corridas de lama e avalanche de detritos; escorregamentos, divididos em escorregamentos rotacionais, escorregamentos translacionais, que subdividem-se em escorregamentos translacionais de rocha, escorregamentos translacionais de solo, escorregamentos translacionais de solo e de rocha e escorregamentos translacionais remontantes; quedas de detritos e subsidências que se dividem em subsidência propriamente dita, recalque e desabamento.

Segundo Guidicini e Nieble (1983, p.19), os rastejos se caracterizam por serem movimentos contínuos e lentos e se diferem dos escorregamentos quanto ao mecanismo de deformação, pois a tensão de fluência de um material é menor que a sua tensão de cisalhamento. Ainda conforme os autores,

enquanto as tensões que agem no sentido de movimentar uma determinada massa de material estiverem abaixo da tensão de fluência, o talude permanecerá estável. Quando excederem aquele valor, o terreno iniciará sua movimentação num estado de rastejo, e, quando atingirem valores iguais aos de resistência máxima ao cisalhamento, iniciar-se-á o escorregamento.

Os rastejos se diferem das corridas devido a sua velocidade de escoamento, pois nas corridas há excesso de água no material, o que diminui ou até mesmo anula o atrito interno, segundo Guidicini e Nieble (1983).

Existem três maneiras de uma massa de solo tornar-se um fluido, segundo Guidicini e Nieble (1983, p.21)

(a) simples adição de água (o caso das areias é típico), por (b) efeito de vibrações, tal como ocorre com os chamados solos tixotrópicos durante terremotos ou durante a cravação de estacas nas proximidades e também por (c) processo de amolgamento no caso de argilas muito sensíveis, como, por exemplo, as chamadas argilas rápidas.

Guidicini e Nieble (1983) também explicam que diferentemente dos materiais com excesso de água, os materiais secos, limpos e não coesivos, não possuem uma superfície de escorregamento, pois esse tipo de material não permite, com a horizontal, um ângulo maior que o seu próprio ângulo de repouso.

Já os escorregamentos são considerados movimentos rápidos e de curta duração, com superfície de deslizamento definida, podendo ser classificados como escorregamentos rotacionais ou translacionais. Nos escorregamentos rotacionais, a ruptura acontece devido ao peso da cunha, e para análise da estabilidade desse tipo de movimento, utiliza-se a relação entre as forças resistentes e as forças atuantes para diferentes posições do círculo de escorregamento, sendo que o menor valor encontrado para essa relação se chama fator de segurança contra a ruptura (GUIDICINI E NIEBLE, 1983).

O deslocamento do material durante um escorregamento ocorre ao longo do plano que possui menor resistência ao cisalhamento e, conforme Guidicini e Nieble (1983, p.30), algumas características desse processo de ruptura são

em rochas e solos, bem como em qualquer material, a ruptura segue o caminho de menor resistência. Isso significa que o plano de escorregamento ao longo do qual a cunha de material se desloca é o que oferece menor resistência à separação desta cunha, em relação a qualquer outro plano. Em um material coesivo, mais ou menos homogêneo, como por exemplo, em algumas argilas, a superfície de ruptura se aproxima realmente de um arco de circunferência (ou melhor, de uma superfície circular cilíndrica considerando-se a terceira dimensão).

Em escorregamentos rotacionais, o círculo de ruptura pode achatar ou se desenvolver na direção vertical, caso o solo possua variações de resistência ao cisalhamento nas direções horizontal e vertical (GUIDICINI E NIEBLE, 1983).

Como mencionado anteriormente, o fator de segurança é a relação entre as forças resistentes e as forças atuantes, sendo que para haver a condição de equilíbrio-limite em um talude, esse valor precisa ser igual a um. Porém, na engenharia pratica-se a adoção de valores para o fator de segurança maiores que um. Os níveis de segurança recomendados pela NBR

11682 (ABNT, 2009) contra perda de vidas humanas e danos materiais e ambientais, e os fatores de segurança resultantes da combinação desses níveis, são explorados no item seguinte.

1.1.2 Fator de segurança e Níveis de segurança

A NBR 11682 (ABNT, 2009) define que o fator de segurança (FS) tem a função de cobrir as incertezas relacionadas as etapas de projeto e construção de obras de estabilidade de taludes. Uma análise dos riscos envolvidos nesse tipo de obra é exigida por essa norma, sendo recomendado que primeiramente se enquadre o projeto em uma das classificações de níveis de segurança, tanto para a possibilidade de perdas de vidas humanas, quanto para a possibilidade de ocorrência de danos materiais e ambientais, como pode ser verificado nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas.

Nível de segurança	Critérios
Alto	Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais ou industriais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas.
Médio	Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas. Ferrovias e rodovias de tráfego moderado.
Baixo	Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas. Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido.

Fonte: NBR 11682 (ABNT, 2009).

Tabela 5 – Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais.

Nível de segurança	Critérios
Alto	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais. Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais grave, tais como na proximidade de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos.
Médio	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor moderado.

	Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais moderados.
Baixo	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor reduzido. Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos.

Fonte: NBR 11682 (ABNT, 2009).

A NBR 11682 (ABNT, 2009) recomenda que o fator de segurança mínimo deve ser estabelecido considerando os níveis de segurança determinados contra a perda de vidas humanas, danos materiais e ambientais. Na tabela 6 podem ser visualizados os valores para os fatores de segurança mínimos para deslizamentos.

Tabela 6 – Fatores de segurança mínimos para deslizamentos.

Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais	Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Fonte: Adaptado de NBR 11682 (ABNT, 2009).

O fator de segurança a ser empregado em uma obra que envolva estabilidade de talude será dado pela combinação dos níveis de segurança desejados contra a perda de vidas e danos materiais e ambientais. À medida que os níveis de segurança diminuem, os fatores de segurança também diminuem.

1.1.3 A precipitação como condicionante para a deflagração de movimentos de massa

O conhecimento dos fatores condicionantes para a deflagração de movimentos de massa em uma certa região é importante não só para os órgãos de proteção e defesa civil, mas também para a população, visto que muitas pessoas residem em encostas ou próximo a elas, logo precisam conviver com risco, e às vezes podem até mesmo desconhecer a presença dele. Com relação a dificuldade da análise desses fatores, Fiori (2015) afirma que o estudo das condicionantes da estabilidade de talude é bastante complexo e importante, tendo em vista os

inúmeros acidentes ocorridos e que ainda ocorrem, causando prejuízos materiais e perdas de vidas em várias partes do mundo.

As causas dos escorregamentos são primeiramente naturais, devido à tendência de os solos das encostas descer e atingir um nível de base. Logo, basta uma chuva incomum ou uma pequena ação do homem para ocasionar um deslizamento. As águas de chuvas aciduladas por ácidos orgânicos oriundos da decomposição dos vegetais podem penetrar nas fraturas ou fendas das rochas, atacando-as e provocando assim alterações químicas dos seus minerais, criando uma situação de risco de descolamento de suas partículas e podendo então, gerar futuros deslizamentos (MASSAD, 2003).

Os movimentos de massa são ocasionados por diversos fatores, e entre eles destaca-se a chuva, que dependendo da intensidade pode facilitar a condição para a ocorrência de um deslizamento. Segundo Guidicini e Nieble (1983), a precipitação é considerada um agente efetivo para o desencadeamento do movimento de massa. Os autores ainda classificam a pluviosidade como um agente efetivo preparatório, porém ela também pode ser um agente efetivo imediato caso seja intensa.

Sobre o comportamento das chuvas e a sua relação com os deslizamentos, Guidicini e Nieble (1983, p.11) explicam que:

no meio tropical brasileiro, é de conhecimento generalizado a vinculação dos escorregamentos à estação de chuvas e, dentro dela, à ocorrência de chuvas intensas. Durante o verão, as frentes frias que se originaram na região polar antártica cruzam o Oceano Atlântico Sul, num ritmo cíclico de cerca de uma frente por semana. Ao se depararem com as massas de ar quente tropicais, ao longo da costa sudeste brasileira, tais frentes geram fenômenos de instabilidade atmosférica intensos, consistindo em fortes chuvas e tempestades. Tais chuvas acarretam, com frequência, erosão intensa e escorregamentos, não raro de caráter catastrófico.

Segundo esses autores, é possível perceber que as chuvas resultantes da dinâmica atmosférica característica do verão podem influenciar os processos de erosão, e consequentemente, facilitam a condição de ocorrência de um movimento de massa. Por essa razão, no item a seguir serão abordados conceitos relativos à precipitação e à dinâmica atmosférica.

1.2 PRECIPITAÇÃO

1.2.1 O ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico compreende os processos naturais de evaporação, condensação, precipitação, detenção e escoamento superficiais, infiltração, percolação da água no solo e em aquíferos, escoamento fluviais e suas interações, conforme Righetto (1998).

Um outro conceito para ciclo hidrológico é apresentado por Tucci (1993, p.35), “o ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada de água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre”. Por sua vez, Tucci (1993) deixa explícita as contribuições da energia vinda do Sol, da gravidade e da rotação da Terra no seu conceito de ciclo hidrológico.

Para Tucci (1993, p.36), os fenômenos do ciclo hidrológico variam para locais diferentes e isso se deve a fatores como

[...] a desuniformidade com que a energia solar atinge os diversos locais, o diferente comportamento térmico dos continentes em relação aos oceanos, a quantidade de vapor de água CO_2 e ozônio na atmosfera, a variabilidade espacial de solos e coberturas vegetais, e a influência da rotação e inclinação do eixo terrestre na circulação atmosférica, sendo esta última a razão da existência das estações do ano.

Para Castro (2006, p.23), o conceito de precipitação é definido como “é toda a água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre”, sendo que ela pode ocorrer nas formas de neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve, conforme descreve a autora. Ainda segundo Castro (2006) a precipitação é classificada em: convectiva, restrita às áreas pequenas, com alta intensidade e curta duração; orográfica, que também ocorrem em áreas menores, mas com baixa intensidade e longa duração; e as ciclônicas, que diferentemente das outras duas, atingem grandes áreas, com intensidade média e longa duração.

1.2.2 Dinâmica atmosférica

A precipitação é o produto líquido ou sólido resultante do processo de condensação do vapor de água, conforme a definição contida em BRASIL ([201-]), sendo que esse conjunto de partículas líquidas ou sólidas, caem das nuvens ou são depositadas através do ar úmido, e dessa forma atingem o solo.

As nuvens são um conjunto visível de partículas de água na forma líquida e/ou em cristais de gelo, suspensas na atmosfera. Além das partículas de água, as nuvens podem conter outras partículas originadas de vapores industriais, fumaça ou poeira. Elas são resultantes da

condensação e sublimação destes vapores presentes na atmosfera. Ainda segundo BRASIL ([201-]), as nuvens se distinguem em 10 gêneros, sendo eles nuvens Cirrus (Ci), Cirrocumulus (Cc), Cirrostratus (Cs), Altocumulus (Ac), Altostratus (As), Nimbostratus (Ns), Stratocumulus (Sc), Stratus (St), Cumulus (Cu) e Cumulonimbus (Cb). Na tabela abaixo pode ser visualizado um resumo das características de cada um.

Tabela 7 – Gênero e características das nuvens.

Gênero	Termo	Características
Cirrus	Ci	Altas, isoladas e em formas de filamentos, bancos ou estreitas faixas.
Cirrocumulus	Cc	Altas e constituídas por uma camada delgada de nuvens brancas.
Cirrostratus	Cs	Aspecto esbranquiçado, fibroso ou liso, semelhante a um véu transparente que pode cobrir uma grande área.
Altocumulus	Ac	Altitude média, formada por uma camada de nuvens brancas ou cinzas e que possuem sombra própria.
Altostratus	As	Altitude média, formada por uma camada de nuvens cinzas ou azuladas, de aspecto estriado, fibroso ou uniforme.
Nimbostratus	Ns	Baixas, formadas por uma camada de nuvens cinzas e de aspecto opaco.
Stratocumulus	Sc	Baixas, cinzentas ou esbranquiçadas e que geralmente apresentam partes escuras.
Stratus	St	Baixas, cinzentas e com base uniforme.
Cumulus	Cu	Isoladas, geralmente densas, contornos bem definidos, com desenvolvimento vertical e topo podendo atingir 6.000 metros.
Cumulunimbus	Cb	Densas, com desenvolvimento vertical e topo podendo atingir 12.000 metros.

Fonte: adaptado de BRASIL([201-]).

O formato das nuvens diz muito sobre a dinâmica atmosférica, e a ciência que estuda os fenômenos que ocorrem na atmosfera é a Meteorologia, importante na prevenção e minimização dos desastres. Algumas condições meteorológicas podem ser previstas em um curto espaço de tempo, por meio da previsão do tempo. Entretanto, se o objetivo é realizar uma

previsão de médio a longo prazo, pode se fazer a previsão climatológica, que se baseia em séries históricas sobre o comportamento climatológico de uma região (BRASIL, [201-]).

As frentes podem ser de ar frio ou quente, sendo que as frentes frias são os deslocamentos de uma massa de ar fria sobre uma área ocupada por uma massa de ar quente. O contrário desse movimento, isto é, o deslocamento de uma massa de ar quente sobre uma área ocupada por uma massa de ar frio é denominado de frente quente (BRASIL, [201-]).

1.2.3 Instrumentos meteorológicos

De acordo com as informações contidas no *site* do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), os equipamentos meteorológicos são capazes de adquirir dados como a temperatura do ar, pressão atmosférica e umidade relativa do ar. Uma estação meteorológica é constituída pela reunião de instrumentos meteorológicos em um mesmo local, e uma rede de estações meteorológicas se dá pelo conjunto de estações distribuídas em uma região (INMET, 2017).

Segundo Castro (2006, p.23), existem dois instrumentos que medem a quantidade de chuva caída num local, o pluviômetro e o pluviógrafo. O pluviômetro possui um reservatório com a função de recolher a chuva, que depois será medida através de um cilindro graduado. O pluviógrafo faz a medição contínua da quantidade e intensidade, e assim consegue determinar a hora do início e do término da chuva.

As estações hidrológicas monitoram rios e lagos e fornecem informações que são utilizadas na previsão de enchentes, inundações e alagamentos, segundo informa o *site* da empresa *Squitter*. Nessa mesma página, a empresa afirma que conhecer o nível dos rios é importante para a Defesa Civil dos municípios, pois assim pode-se controlar as áreas de risco, ou até ajudar outras empresas que dependem dessas informações para otimizar suas atividades (SQUITTER, 2016).

As estações hidrometeorológicas coletam dados pluviométricos e fluviométricos e, conforme Paca *et al.* (2011, p.2):

as informações geradas proporcionam o conhecimento dos regimes pluviométricos e fluviométricos das bacias hidrográficas e seu comportamento, de maneira a considerar suas distribuições espaciais e temporais dos eventos, que exigem um trabalho permanente de coleta e interpretação de dados. Quanto mais extensa a série histórica de informação, maior a credibilidade dos produtos resultantes.

Ainda segundo esses autores, a coleta e interpretação de dados precisa ser realizada permanentemente e, quanto maior for a série de dados coletados, melhor será a qualidade das informações sobre os regimes pluviométricos e fluviométricos.

1.2.4 Preenchimento de dados faltantes e o método da Curva Dupla Massa

A chuva varia em relação ao tempo e ao espaço, dessa forma a variável que for utilizada para representá-la deve assumir valores que se distinguem em função do tempo e das coordenadas geográficas, segundo Tucci (1993), e por esse motivo, o tempo e o espaço devem ser considerados durante a quantificação de uma variável hidrológica.

Castro (2006, p.23) explica que o “intervalo de tempo que dura a precipitação” é denominado como a duração desse fenômeno, já a “altura de chuva na unidade de tempo, isto é, o quociente entre as alturas e a duração” se refere a sua intensidade, e ainda que a chuva acumulada é o “somatório das chuvas em mais de um período”.

Quanto à intensidade das chuvas, Moreira (2002) classifica como extremamente fortes, as chuvas com alturas pluviométricas maiores de 50 mm acumuladas em 24 horas, conforme a tabela 8 de classificação da precipitação quanto a intensidade. Adiante serão apresentados gráficos sobre as alturas pluviométricas registradas em Joinville entre 2012 e 2016, porém pode-se antecipar que para esse município, chuvas com altura pluviométrica superior a 50 mm são frequentes, podendo as mesmas receber uma outra classificação ao invés de chuvas extremamente fortes.

Tabela 8 – Intensidade da precipitação acumulada em 24 horas.

Intensidade	Acumulado em 24 horas
Chuvisco	0 - 1 mm
Chuva Fraca	1 – 10 mm
Chuva Moderada	10 – 20 mm
Chuva Moderada a Forte	20 – 30 mm
Chuva Forte	30 - 40 mm
Chuva Muito Forte	40 – 50 mm
Chuva Extremamente Forte	> 50.0 mm

Fonte: Moreira (2002).

Existem situações das quais poucos dados puderam ser coletados, ou ainda, foram coletados de forma errônea. Nesses casos poderá recorrer-se ao preenchimento de falhas, isto é, preenchimento de dados faltantes numa planilha, que pode ser realizado a partir de um método que utiliza análise de regressão, segundo explica Tucci (1993). Ainda conforme o mesmo autor, nesse método são testados modelos de regressão, os quais procuram estabelecer uma relação matemática entre os processos.

Um outro método de preenchimento de falhas é o da ponderação regional, que segundo Bertoni e Tucci (2001), pode ser utilizado em séries mensais ou anuais, pois o preenchimento de valores diários se torna difícil devido a variação tanto espacial como temporal das chuvas de frequência média ou baixa. O método da ponderação regional proposto em Bertoni e Tucci (2001, p.183) faz uso de uma equação, mostrada a seguir, onde y é a precipitação da estação meteorológica a ser preenchida; x_1 , x_2 e x_3 são os registros pluviométricos de três estações vizinhas no mesmo ano; y_m significa a precipitação média da própria estação e x_{m1} , x_{m2} e x_{m3} são as precipitações médias das mesmas três estações vizinhas.

$$y = \frac{1}{3} \left[\frac{x_1}{x_{m1}} + \frac{x_2}{x_{m2}} + \frac{x_3}{x_{m3}} \right] y_m \quad (1)$$

Para o preenchimento de dados faltantes existe ainda o método de redes neurais artificiais (RNAs), que segundo Anochi (2015), tratam-se de modelos computacionais que se assemelham as estruturas neurais de organismos inteligentes, através de interações entre unidades de processamento e de um processo de aprendizagem. De acordo com a autora, essas unidades de processamento ou neurônios compõem sistemas capazes de computar determinadas funções matemáticas.

O estudo de Mello (2015) teve o objetivo de analisar a relação entre a distribuição pluviométrica e a incidência de leptospirose em Joinville. Durante a pesquisa, a autora verificou o melhor método de preenchimento de falhas pluviométricas, realizando testes para os métodos da Ponderação Regional (PR), da Regressão Linear Simples (RLS) e Múltipla (RLM) e da Ponderação Regional com Base em Regressões Lineares (PRBRL).

Após os testes, Mello (2015) concluiu que os melhores resultados foram obtidos com o método da Regressão Linear Múltipla, seguido do método da Ponderação Regional e da Ponderação Regional com Base em Regressão Linear, respectivamente. A autora também afirma que os melhores resultados estão relacionados ao método mais sofisticado estatisticamente, no entanto atenta para o fato da falta de dados disponíveis, o que torna a utilização da Regressão Linear Simples a única alternativa.

De acordo com Correia *et al.* (2016, p.561), “não existe o melhor método de preenchimento, existe o método que melhor se adequa aos dados de uma determinada condição climática, por isso é necessário o teste de vários métodos com sua avaliação estatística”.

Após a aplicação de um determinado método de preenchimento, se faz necessária a verificação da sua consistência, para que dessa forma possa ser avaliado se o método adotado obteve resultados adequados e coerentes. Uma maneira de se analisar a consistência desses resultados é através do método da Curva Dupla Massa (TUCCI, 1993).

Para verificar a homogeneidade das séries anuais de precipitação de seis estações pluviométricas da rede da Agência Nacional de Águas (ANA), situadas na região Central do Estado de Goiás e inseridas na bacia do Rio Paraná, Oliveira *et al.* (2010) utilizaram o método da Curva Dupla Massa.

O procedimento de preenchimento de falhas nas séries dos totais anuais de todas as estações se deu pela retirada de um valor conhecido em cada estação e ano de observação e após preencheu-se a falha empregando diferentes metodologias e foram verificados os desvios relativos entre o valor observado e o estimado (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

As metodologias para o preenchimento de falhas que Oliveira *et al.* (2010) empregaram foram os métodos da ponderação regional, regressão linear, ponderação regional com base em regressões lineares e vetor regional. Os autores analisaram que os menores desvios relativos médios entre os valores observados e os estimados para as séries avaliadas em ordem crescente foram obtidos pelos seguintes métodos: regressão linear múltipla (RM), vetor regional combinado com a regressão potencial múltipla (VR/RP), ponderação regional (PR), vetor regional combinado com a regressão linear múltipla (VR/RM), vetor regional combinado com a regressão linear múltipla (VR/RS), regressão potencial múltipla (RP), ponderação regional com base em regressões lineares (RS), combinado com a ponderação regional (VR/PR) e vetor regional (VR).

Chechi e Sanches (2013) utilizaram o método do Teste da Curva de Dupla Massa para verificar a qualidade e consistência dos dados após a realização do preenchimento de falhas. Os autores explicam que esse método consiste na criação de um gráfico com os valores do total acumulado de uma série de dados *versus* os valores do total acumulado referente a outra série de dados, sendo todos do mesmo período.

O objetivo da aplicação desse método para a pesquisa de Chechi e Sanches (2013, p.1589) foi “[...] o de verificar se os totais acumulados apresentam a mesma proporcionalidade, levando as informações plotadas no gráfico a apresentar-se sobre uma linha reta”. Os autores descrevem também a maneira como realizaram o teste, relacionando através de um gráfico, os acumulados anuais de precipitação de uma série com o acumulado das médias anuais de precipitação.

Sanches, Verдум e Fisch (2014) também analisaram a consistência dos dados obtidos após o preenchimento de falhas utilizando o Teste de Dupla Massa. Os autores utilizaram o método da Regressão Linear para o preenchimento de dados faltantes nesse caso.

Um outro estudo em que foi utilizado o Teste de Dupla Massa foi o de Carvalho e Ruiz (2016), que executaram o teste para 19 estações meteorológicas localizadas na Bacia

Hidrográfica do Rio Araguari, em Minas Gerais. Para o preenchimento de falhas, Carvalho e Ruiz (2016) aplicaram o método da Regressão Linear simples e múltipla, sendo que o modelo múltiplo com duas variáveis foi o que conseguiu se ajustar melhor com os dados da maioria das estações. Os autores aplicaram o método Dupla Massa com o objetivo de verificar a consistência da nova série de dados gerada após o preenchimento de dados faltantes.

A partir dos dados já consistidos oriundos de várias estações é possível se obter o valor estimado para a precipitação em toda a área de estudo. Existem alguns métodos para a realização dessa estimativa, que segundo Lima (2008) são eles: a média aritmética, Método das Isoietas e o Polígono de Thiessen.

Conforme explica Lima (2008), o método da média aritmética pode ser considerado o mais simples de todos eles, sendo muito utilizado em regiões de topografia plana, já que ele consiste na obtenção da média aritmética simples de valores registrados pelos pluviômetros.

A obtenção do valor estimado para a precipitação em uma área através do Método das Isoietas segundo Lima (2008) consiste em traçar linhas denominadas de isoietas, as quais possuem valores iguais de precipitação, e após é realizada a soma das médias ponderadas entre as isoietas adjacentes.

O método utilizado nessa pesquisa considerou relevante a afirmação de Corbett (1967) *apud* Lima (2008), de que o Polígono de Thiessen não sofre influência da distribuição desuniforme dos pluviômetros, além de ser mais preciso se comparado com a média aritmética.

Segundo Lima (2008, p. 73), o método do Polígono de Thiessen atribui um peso para cada pluviômetro, sendo que “a precipitação medida pelo pluviômetro de cada polígono é considerada representativa para toda a área circunscrita pelo polígono”. Os seus procedimentos são descritos pelo autor como:

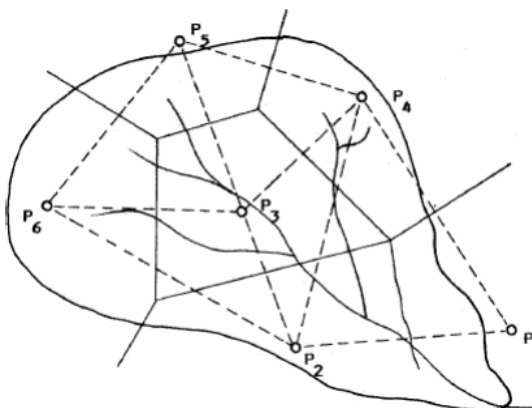
- No mapa da área, a localização de cada pluviômetro é unida umas às outras por meio de linhas retas.
- Em seguida traçam-se linhas perpendiculares a cada segmento de reta que une dois pluviômetros adjacentes.
- Ao final do processo ao redor de cada pluviômetro (Polígonos de Thiessen); todos os pontos dentro de cada polígono estarão mais próximos do pluviômetro por ele circunscrito do que de qualquer outro pluviômetro da área.

A Figura 3 ilustra os procedimentos do método do Polígono de Thiessen segundo Lima (2008, p.76).

Existem alguns trabalhos de autores que utilizaram esse método com o objetivo de definir as áreas de influência das estações meteorológicas. Souza (2004) utilizou o método do Polígono de Thiessen para delimitar as áreas de abrangência de cada pluviômetro, relacionando-

as com as suas respectivas cotas, com o propósito de obter maiores informações sobre a topografia das áreas em estudo.

Figura 3 – Exemplo dos procedimentos realizados no método do Polígono de Thiessen.



Fonte: Lima (2008).

Azevedo (2011) também utilizou o método do Polígono de Thiessen para definir as áreas de influência das estações. Algumas modificações nos polígonos foram necessárias devido a ação promovida pela topografia e a delimitação das sub-bacias hidrográficas, e os critérios usados durante a modificação dos polígonos se basearam em

uma vez que o relevo age como uma barreira natural na distribuição de precipitação, as alterações das áreas de influência foram executadas usando-se como linhas delimitadoras entre polígonos, as cristas das unidades geomorfológicas que apresentam altitudes superiores a 500 m, utilizando, para tanto, as informações contidas no mapa hipsométrico” (AZEVEDO, 2011, p. 57).

No item a seguir será feita uma abordagem sobre alguns trabalhos que tiveram como objetivo o estudo dos limiares pluviométricos críticos para a deflagração de movimentos de massa.

1.3 ESTUDOS RELACIONADOS A PRECIPITAÇÃO E A OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS

Nos próximos dois itens serão abordados os trabalhos de Victorino, Sestrem e Kormann (2017); Lin *et al.* (2017); Molina, Cardoso e Nogueira (2015); Giannecchini *et al.* (2015); Mendes *et al.* (2015); Soares e Ramos Filho (2014); Aristizábal (2011); Azevedo (2011); Parizzi *et al.* (2010); Bauzys (2010); Pereira, Zêzere e Bateira (2009); Chang e Chiang (2009); Oliveira, Ehrlich e Lacerda (2009); Hair Jr *et al.* (2009); Montenegro (2009); Chang, Chiang e Lei (2008); Sepúlveda e Padilla (2008); Amaral Júnior (2007); Giannecchini (2006), Fawcett

(2006); Castro (2006); Riekmann, Pinheiro e Tachini (2005); Ohlmacher e Davis (2003); Bittencourt (2003); Dai e Lee (2003); Hosmer e Lemeshow (2000) e Guidicini e Nieble (1983). Nessas abordagens será dada ênfase aos aspectos teórico-metodológicos adotados pelos autores com relação a coleta de dados pluviométricos e informações sobre as ocorrências de movimentos de massa, e características pertinentes a essas ocorrências nas respectivas áreas de estudo.

Um estudo recente, realizado por Victorino, Sestrem e Kormann (2017), teve o objetivo de verificar uma faixa de valores críticos de precipitação capazes de deflagrar movimentos de terra nos taludes rodoviários da rodovia BR – 376, localizada no trecho da Serra do Mar paranaense. Conforme Victorino, Sestrem e Kormann (2017, p.113), um método comum para a definição dos valores limiares de chuva é a utilização de “uma nuvem de pontos que representam as condições pluviométricas (precipitação acumulada, intensidade pluviométrica, duração do evento, etc.) registrados em cada uma das ocorrências de deslizamentos” para a definição empírica dos limiares.

Entre os estudos citados anteriormente, esse é mais próximo da área objeto dessa pesquisa, e por essa razão ressalta-se a importância do conhecimento das equações que definem uma faixa pluviométrica para a ocorrência de escorregamentos no local, que segundo Victorino, Sestrem e Kormann (2017) é representada pelo limite inferior dada pela equação 2 e pelo limite superior pela equação 3, mostradas a seguir, onde x representa o tempo de duração do evento pluviométrico em horas e y corresponde a chuva acumulada em milímetros.

$$y = 0,0002x^2 + 0,6604x + 73,666 \quad (2)$$

$$y = - 0,0003x^2 + 1,1698x + 75,883 \quad (3)$$

Contribuindo com a afirmação de Victorino, Sestrem e Kormann (2017) sobre a utilização de uma nuvem de pontos que representam as condições pluviométricas de cada caso de deslizamento, Soares e Ramos Filho (2014, p.6) explicam que,

a investigação destas relações numéricas por meio da análise dos escorregamentos passados é uma técnica amplamente utilizada na problemática de previsão deste tipo de acidente. No entanto, é preciso observar a complexidade de fatores físicos que atuam no processo e a variabilidade climática e geomorfológica existente de cada região, pois os resultados encontrados mostram-se aplicáveis a nível local, sendo recomendável realizar atualizações constantes.

Nesse sentido, Giannecchini (2006, p.358, tradução nossa), também afirma que “a quantidade de chuva necessária para provocar um deslizamento de terra pode variar consideravelmente para diferentes tipos de encostas”. O autor ainda afirma que há dificuldades para determinação de um limiar crítico em áreas amplas, pois as encostas apresentam diferentes características geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas e geotécnicas, além do parâmetro

da umidade do solo, que pode se alterar dependendo da estação e da quantidade de chuva acumulada.

Dessa forma, se torna importante identificar um conjunto valores limiares que variam de acordo com as condições do solo e as chuvas antecedentes, ao invés de definir um único limiar. A análise empírica desses limiares produz resultados por meio de uma abordagem probabilística, a qual depende das condições de funcionamento correto dos pluviômetros utilizados para a obtenção de bons resultados (GIANNECCHINI, 2006, tradução nossa).

Com relação a investigação dos casos de deslizamentos passados, Amaral Junior (2007) explica que há uma hierarquia quanto aos resultados obtidos através de estudos de movimentos de massa, que partem da realização de um inventário com o propósito de levantar, identificar e classificar os casos ocorridos, seguindo para o zoneamento, onde serão reconhecidas as características condicionantes a predisposição a movimentos de massa e além de classificar as áreas com o mesmo nível de predisposição.

Ainda segundo Amaral Junior (2007), após o zoneamento, pode-se obter a carta de *Hazard*, que em inglês significa perigo, a qual faz uma previsão espacial e temporal de um evento. Com isso parte-se para a carta de risco, que fornece a probabilidade da ocorrência de um evento, além de relacioná-lo aos possíveis danos ao meio, e finalmente, com o objetivo de orientar e evitar maiores perdas, se faz a carta de procedimentos.

Em seu trabalho, Parizzi *et al.* (2010) perceberam a evidência da associação das ocorrências de escorregamentos com eventos de chuva excepcionais. Essa evidência corrobora com as afirmações de Molina, Cardoso e Nogueira (2015, p.47), de que “em países tropicais como o Brasil, um dos principais fatores deflagradores de movimentos de massa é o volume de água infiltrado”, e de Guidicini e Nieble (1983, p.11), sobre a chuva ser um fator importante para a deflagração de deslizamentos:

trata-se, entretanto, do aspecto mais significativo, distanciando-se dos demais fatores em importância. Se não todos, quase todos os escorregamentos registrados em nosso meio fisiográfico estão associados a episódios de elevada pluviosidade, de duração compreendida entre algumas poucas horas até alguns dias. A recíproca, entretanto, não é necessariamente verdadeira, isto é, a ocorrência de um elevado índice de pluviosidade é condição necessária, mas nem sempre é condição suficiente para o desencadeamento de escorregamentos.

A precipitação favorece a condição de ocorrência de escorregamento, como afirma Castro (2006). A autora explica que existem duas hipóteses de mecanismos relacionados a essa condição; a primeira diz respeito ao surgimento de poropressões positivas, pelo fato do nível d'água estar próximo da superfície. A segunda hipótese, segundo a autora, está relacionada com

a infiltração da água e consequente redução da coesão aparente devido a eliminação da sucção pré-existente no solo não saturado.

Ainda segundo Castro (2006), existem casos de deslizamentos em que o nível d'água encontra-se abaixo da superfície de ruptura, logo a ocorrência do deslizamento não está relacionada com o surgimento de poropressões positivas, mas com o fluxo de água originado pela infiltração, e por esse motivo ele ocorre ao longo da superfície definida pela frente de saturação.

A evolução da frente de saturação se dá através da absorção da água pela camada superior do solo, como explica Castro (2006), assim quando começa a chover, essa camada fica saturada, o que aumenta a condutividade hidráulica. Ainda segundo a autora, esse processo depende do grau de saturação inicial, índice de vazios do solo e da intensidade e duração da chuva.

Após a chuva, o teor de umidade do solo aumenta devido a água que infiltrou no solo, e se mesmo assim ocorrer uma outra chuva, o processo de evolução da frente de saturação será agilizado, e ao atingir uma determinada profundidade, faz diminuir a resistência ao cisalhamento do material que está acima dessa frente, podendo então resultar na sua ruptura (CASTRO, 2006).

As alturas pluviométricas acumuladas nos dias que antecedem um movimento de massa podem ser consideradas responsáveis por tal evento, pois como afirma Castro (2006), eles preparam o terreno por meio do aumento da umidade e do avanço das linhas de saturação.

No estudo da relação entre os deslizamentos e a precipitação em Ouro Preto, Castro (2006) concluiu que a chuva acumulada influencia no desencadeamento dos escorregamentos, sendo que nesse caso, as chuvas acumuladas de cinco dias anteriores demonstraram ter relações mais estreitas com a deflagração desses movimentos. Segundo a autora, o menor valor para altura pluviométrica acumulada de cinco dias, capaz de ocasionar os escorregamentos foi o de 22,0mm, já os valores para que seja estabelecido o nível de atenção e de alerta foram de 39,4mm e 124,0mm, respectivamente.

O estudo das condicionantes de um movimento de massa requer o conhecimento de alguns termos e seus respectivos conceitos como predisposição, componentes e atributos, cita Amaral Junior (2007, p.30). Para o autor, o conceito de predisposição significa “a susceptibilidade natural a um determinado evento devido a características intrínsecas (do meio físico) [...]”, já os componentes “são características (fatores) do meio físico que o compõem, e são definidos conforme as suas importâncias para uma determinada análise”, e por último, o

conceito de atributos significa que “são características dos componentes que quantificam e/ou qualificam quanto a uma determinada análise”.

Conforme Amaral Junior (2007), os atributos que mais influenciam na predisposição aos movimentos de massa têm se tornado o objetivo de estudo de muitos autores, havendo uma unanimidade com relação aos atributos relativos a geomorfologia, geologia, hidrogeologia, uso e ocupação do solo, vegetação, declividade e atividade antrópica.

Outros dois termos e conceitos importantes são os de causa e agente, que segundo Guidicini e Nieble (1983), o termo causa refere-se a forma de atuação de um agente, logo um agente pode se expressar por meio de uma ou mais causas. Para esclarecer tais conceitos, os autores explicam que os agentes podem ser predisponentes ou efetivos, sendo que os agentes predisponentes são o conjunto de condições geológicas, geométricas e ambientais do local, sem a atuação do homem. Os autores citam como exemplos de agentes predisponentes o complexo geológico, morfológico e climático-hidrológico, gravidade, calor solar e tipo de vegetação.

Os agentes efetivos são o conjunto de fatores que estão diretamente ligados a ocorrência de movimentos de massa, e aqui se inclui a ação do homem. Esse tipo de agente se divide segundo a sua forma de participação, em preparatórios e imediatos. Pluviosidade, erosão pela água ou vento, congelamento e degelo, variação de temperatura e dissolução química são alguns exemplos de agentes efetivos preparatórios, e como exemplos de agentes efetivos imediatos pode-se citar chuva intensa, fusão de gelo e neve, terremotos e ondas. A ação do homem pode ser considerada tanto um agente efetivo preparatório como imediato. (GUIDICINI E NIEBLE, 1983).

Com o objetivo de encontrar um meio para monitorar e prever os deslizamentos capaz de auxiliar a Defesa Civil de João Pessoa, Soares e Ramos Filho (2014) realizaram um estudo da relação da precipitação com os movimentos de massa para o período de 2008 a 2013.

A metodologia do trabalho de Soares e Ramos Filho (2014) consistiu em coletar e analisar dados de deslizamentos registrados pela Coordenadoria Municipal de Defesa Civil (COMDEC) de João Pessoa e também pela mídia, e de pluviosidade presentes no banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Agência Executiva de Gestão de Águas da Paraíba (AESAs). Com relação aos dados de deslizamentos, os autores decidiram utilizar apenas dados de deslizamentos que se caracterizaram por ter a chuva como agente deflagrador.

Em seu trabalho, Soares e Ramos Filho (2014, p.2) explicam que um dos aspectos das áreas de risco, como o próprio nome diz, está relacionado com o risco presente em determinados locais, como exemplo: “encostas declivosas, fundos de vale, várzea de rios, encostas sujeitas a

deslizamentos, área onde passam redes de alta tensão de energia elétrica, tubulações de gases naturais, transmissão de água, entre outros”.

Após as análises dos gráficos de dispersão gerados a partir dos dados, pode-se concluir que o melhor indicador do início da deflagração dos movimentos de massa são as precipitações acumuladas entre sete e oito dias anteriores. Os limiares encontrados para somente os casos onde foi registrado apenas um deslizamento por dia foram uma precipitação diária de 151,6 mm e acumulada de sete dias a partir de 40,9 mm, ou uma precipitação diária de 53,4 mm e acumulada de sete dias de 131,8 mm. No entanto, para os dias em que houveram mais deslizamentos, o limite de precipitação foi de 165 mm para uma chuva diária e acumulada de sete dias de 47,6 mm, ou ainda, uma chuva diária de 72 mm e acumulada de sete dias de 174,2 mm (SOARES E RAMOS FILHO, 2014).

Um estudo sobre a influência da precipitação acumulada na ocorrência de deslizamentos ocorridos em São Bernardo do Campo, foi realizado por Molina, Cardoso e Nogueira (2015). Além disso, os autores também buscaram identificar limiares críticos de precipitação associados a esse tipo de desastre. Para isso, os autores analisaram dados registrados pela Defesa Civil do município no período de 2003 a 2012.

A curva criada por Molina, Cardoso e Nogueira (2015) para o município de São Bernardo do Campo, indicou que mesmo sem precipitação acumulada nos dias anteriores, uma altura pluviométrica de 100 mm, comum em dias quentes, já poderia desencadear os movimentos de massa. Os autores explicam que a curva também indicou que os limiares de precipitação capazes de influenciar a ocorrência de deslizamentos foram de 50 mm em um dia, 80 mm em dois dias, 120 mm em três dias e 150 mm em quatro dias. A equação que representa a curva realizada pelos autores é mostrada na equação 4, onde x corresponde a precipitação acumulada em 4 dias.

$$y = 106,18e^{-0,011x} \quad (4)$$

Molina, Cardoso e Nogueira (2015) também concluíram que pelo estudo ter sido realizado em uma área urbana, pode haver grande interferência antrópica, o que potencializa a ocorrência de deslizamentos.

O estudo de Aristizábal *et al.* (2011, tradução nossa) propôs novos limiares de chuva acumulada para servir como prognóstico de risco de movimentos de massa no Vale de Aburrá. Para isso, o autor utilizou dados de deslizamentos registrados nas últimas décadas e de precipitações registradas pela rede de sensores de Empresa Pública de Medellín (EPM), com o objetivo de utilizá-los no Sistema de Alerta Ambiental Prévio, em espanhol, *Sistema de Alerta Temprana Ambiental* (SIATA).

As informações sobre movimentos de massa deflagrados pela chuva foram coletadas a partir da base de dados sobre desastres implementada através do apoio da *Área Metropolitana del Valle de Aburrá* (AMVA), a qual registra informações de diferentes instituições desde 1880. A análise dos dados mostrou que no período compreendido entre 1950 e 2008, foram registrados 2368 deslizamentos (ARISTIZÁBAL *et al.*, 2011, tradução nossa).

O método utilizado por Aristizábal *et al.* (2011, tradução nossa) para filtrar informações da base de dados foi dividi-las em quatro critérios, isto é, eventos ocorridos no período de 1989 a 2008 pelo fato dos dados apresentarem maior assiduidade devido ao aumento da fonte de informação; eventos associados a precipitação como causa da origem do deslizamento; eventos com informação espacial precisa e eventos com informação também precisas sobre a data de ocorrência. A partir disso, pode-se estudar e georreferenciar 408 dos 2368 deslizamentos registrados, e assim relacioná-los com a área de influência das estações meteorológicas.

Utilizando dados de precipitações com uma resolução temporal de 15 minutos, pode-se relacionar movimentos de massa a uma série histórica de dados de chuva correspondente a uma estação meteorológica, a qual compreendia a área de influência do lugar onde o deslizamento foi registrado. Consecutivamente foram calculadas as alturas pluviométricas acumuladas após 1, 3, 5 e 7 dias, e também as alturas pluviométricas referentes a 5, 10, 15, 30, 60 e 90 dias anteriores a cada deslizamento (ARISTIZÁBAL *et al.*, 2011, tradução nossa).

Os resultados obtidos por Aristizábal *et al.* (2011, tradução nossa) através de métodos empíricos para a definição de um limiar de chuva para a deflagração de movimentos de massa indicaram que no Vale de Aburrá, a maior condicionante para a ocorrência de movimentos de massa é a chuva acumulada para os dias antecedentes, sendo ela superior a 60 mm para 30 dias, 160 mm para 60 dias e 200 mm para 90 dias.

Pereira, Zêzere e Bateira (2009) foram os primeiros pesquisadores a analisar a precipitação como fator desencadeante dos deslizamentos na região norte de Portugal. O objetivo de seu trabalho foi testar diferentes métodos empíricos para o estabelecimento limiares de precipitação regional que desencadearam os fluxos de detritos e de lama.

O substrato geológico da região norte de Portugal é formado por rochas granítica e metamórficas principalmente, sendo que elas se encontram em sua maioria bastante fraturadas e que associado ao relevo acidentado, tornam-se áreas susceptíveis à ocorrência de deslizamentos (PEREIRA, ZÊZERE E BATEIRA, 2009).

Com relação a magnitude dos eventos ocorridos nessa região, Pereira, Zêzere e Bateira (2009, p.156) descrevem que “os movimentos de vertente deste tipo destroem frequentemente

casas e estradas e foram responsáveis por 50% dos casos fatais devido a eventos de instabilidade geomorfológica, durante o último século”.

A metodologia utilizada foi baseada na reconstrução histórica de dados sobre fluxo de detrito e de lama, para o período de 1900 a 2007, a partir de diferentes fontes de informação, as quais foram citadas por Pereira, Zêzere e Bateira (2009, p.156) como “[...] jornais de triagem nacional (Jornal de Notícias e O Público), regional (Correio do Minho) e local, artigos científicos publicados, registros históricos, análise de ortofotos, mapas e alguns testemunhos locais”. Como resultado, os autores encontraram 80 eventos do tipo fluxo.

Após a reconstrução histórica sobre os dados de deslizamentos ocorridos na região, Pereira, Zêzere e Bateira (2009) puderam analisar os dados de precipitação utilizando dados da rede de estações meteorológicas do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH). Com o propósito de evitar que a dispersão espacial das ocorrências de fluxo e da variabilidade regional da precipitação causasse alguma interferência nos resultados, os autores optaram por selecionar duas estações meteorológicas como referência para o estudo das condições locais de precipitação.

Com os dados em mãos, a etapa seguinte da metodologia do estudo foi descrita por Pereira, Zêzere e Bateira (2009, p.158): “em seguida, separaram-se os fluxos que ocorreram num raio de 30 km em relação às estações meteorológicas de referência, desde 1960, data a partir da qual os registros diários de precipitação são contínuos e têm menos lacunas”.

Para efetuar as análises estatísticas, Pereira, Zêzere e Bateira (2009, p.159 e p.160) também propuseram o seguinte

estabeleceu-se um limiar crítico tendo em conta a intensidade de precipitação para diferentes durações de precipitação acumulada, para as combinações críticas dos fluxos registrados. Acrescentaram-se, ainda, os valores de intensidade de precipitação para diferentes durações nos anos em que não se registraram fluxos.

Como resultado, percebeu-se uma forte correlação entre a intensidade dos eventos pluviométrico e a respectiva duração, fato que foi considerado na conclusão de Pereira, Zêzere e Bateira (2009) ao afirmar que uma das duas estações apresentava condições de desencadeamento mais exigente que a outra. Quanto ao período de retorno das precipitações consideradas deflagradoras dos movimentos de massa, Pereira, Zêzere e Bateira (2009, p.161) concluíram que

no contexto dos limiares que resultam da combinação da precipitação do evento com uma precipitação antecedente, o cálculo dos períodos de retorno resultará da multiplicação da probabilidade da precipitação de evento (3 dias no caso em análise) pela probabilidade da precipitação antecedente (10 dias no caso de estudo). O período de retorno da situação crítica tende a aumentar porque depende da conjugação da precipitação de dois períodos temporais.

Segundo Pereira, Zêzere e Bateira (2009), a precipitação acumulada em 72 horas e a precipitação antecedente de 10 dias, foi a combinação que obteve os melhores resultados, em ambas estações utilizadas como referência. As equações que representam os resultados dos ajustes realizados pelos autores são apresentadas na equação 5 para a estação Casal Soeiro, e 6 para a estação Amarante.

$$y=0,006 x^{-0,96} \quad (5)$$

$$y=0,002 x^{-1,08} \quad (6)$$

Em Belo Horizonte é registrado uma média anual de 400 movimentos de massa por período chuvoso, o que resulta em prejuízos materiais e mortes, segundo Parizzi *et al.* (2010). A partir disso, o trabalho dos autores teve o objetivo de apresentar a correlação entre o desencadeamento de movimentos de massa e precipitação dentro do município de Belo Horizonte, baseando-se em análises realizadas para os períodos de 2006/2007 e 2007/2008.

A pesquisa realizada por Parizzi *et al.* (2010) foi dividida em duas etapas, a primeira buscou analisar o período chuvoso de 2006/2007 das regiões Noroeste e Leste, e a segunda, por sua vez, buscou analisar o período chuvoso de 2007/2008 de todo município de Belo Horizonte. Segundo os autores, as áreas de risco foram mapeadas pela Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte da própria Prefeitura de Belo Horizonte (URBEL-PBH), sendo que a mesma companhia forneceu as fichas de vistorias contendo informações sobre o tipo de processo, relevo, geologia local e ocupação das áreas onde foram registradas as ocorrências de escorregamentos.

No período de 2006/2007, a URBEL registrou 434 ocorrências de movimentos de massa, das quais 272 ocorrências foram registradas entre os dias 29/11/2006 e 01/12/2007, sendo que 252 ocorrências foram registradas somente no dia 30/11/2006. Já para o período de 2007/2008, o número de ocorrências registradas foi menor que o período anterior, com aproximadamente 219 registros (PARIZZI, 2010).

Após a instalação de pluviógrafos em duas regiões do município (regional Noroeste e Leste) em 2006, foi possível medir as taxas diárias de chuva em tempo real. Com esses dados foi comprovada a desigualdade pluviométrica na área do município. Diferenças também existem quanto a litologia, o relevo e a susceptibilidades à ruptura dos solos e das rochas locais e ainda segundo Parizzi *et al.* (2010, p.50),

estes fatos são de suma importância para o planejamento de estratégias de ações preventivas aos danos provocados pelas chuvas, pois permite a priorização das medidas para aquelas áreas submetidas à taxas pluviométricas capazes de desencadear escorregamentos e outro movimentos de massa.

A eficiência do monitoramento realizado com os pluviógrafos determinou que em 2007 fossem instalados mais pluviógrafos, a fim de cobrir as nove regionais do município de Belo Horizonte, como explicam Parizzi *et al.* (2010, p.50): “a distribuição deste tipo de equipamento é importante, pois as taxas de precipitação variam entre as regiões do município, devido às características do relevo, sua posição geográfica e ao tipo das chuvas”.

Parizzi *et al.* (2010) concluíram que em Belo Horizonte chuvas intensas e acumuladas por 3 dias, são deflagradoras de escorregamentos, porém, os dias em que foram registradas mais de 6 ocorrências estão associados com chuvas intensas diárias, podendo esses casos estarem também associados a chuvas acumuladas de 3 dias. Os autores também perceberam que chuvas acumuladas em 3 dias iguais ou superiores a 100 mm e chuvas diárias e intensas maiores que 70 mm foram responsáveis por maioria dos registros, e observaram que dias com menos de 6 escorregamentos estão relacionados a chuvas acumuladas entre 10 e 50 mm, sendo nesse caso necessário considerar as práticas incorretas de uso dos terrenos, pois elas podem ser condicionantes mais influentes no desencadeamento de escorregamentos do que a própria chuva.

Parizzi *et al.* (2010, p.50) afirmam que as áreas de risco analisadas em seu estudo estavam inseridas na área urbana, e que “movimentos de massa ocorrem tanto em áreas de alto padrão construtivo quanto em áreas de baixo padrão construtivo, o que reforça a importância dos condicionantes físicos no desencadeamento dos mesmos”. Porém os autores apontam que em regiões com edificações mais precárias, o risco é agravado devido a união dos aspectos físicos e de uso da terra. Entre os fatores considerados agravantes nesses tipos de edificações estão as deficiências de projeto, como a falta da fundação ou tipo de corte feito nos taludes.

Com relação a esses aspectos, Parizzi *et al.* (2010, p.53) reportam que

os moradores fazem cortes verticalizados nas encostas íngremes para construírem suas moradias. Lançam a terra descartada e lixo encosta abaixo, criando depósitos inconsistentes sobre a rocha. Em seguida, outros moradores fazem cortes nestes depósitos e constroem seus barracos sem fundação diretamente sobre estes materiais. Novamente lançam terra descartada e lixo encosta abaixo e, assim, rapidamente, cria-se grande quantidade destes depósitos nas encostas das vilas. As casas são também muito próximas aos taludes de corte ou até apoiada nestes.

De acordo com Oliveira, Ehrlich e Lacerda (2009), a BR-116 liga as regiões sudeste e nordeste do país, sendo considerada uma rodovia de grande importância para o escoamento da produção agrícola e o turismo. Segundo os mesmos autores, um programa de pesquisa realizado pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE), com investimentos da Agência Nacional de Transportes Terrestres

(ANTT) e da Concessionária Rio – Teresópolis (CRT), teve o objetivo de conhecer quais mecanismos contribuem para a instabilidade das encostas dessa região.

Nos dois trechos, Oliveira, Ehrlich e Lacerda (2009) executaram sondagens com o propósito de reconhecer o material existente no subsolo. Os autores explicam que os mesmos furos de sondagem foram utilizados para a instalação de instrumentos de monitoramento da poropressão como piezômetros do tipo corda vibrante e de Casagrande nos km 86, 87 e 101, e dos movimentos laterais por meio de inclinômetros.

Os resultados das leituras obtidas com os inclinômetros mostraram que a velocidade de movimentação dos maciços é maior durante os períodos chuvoso, chegando a 20 mm/mês, sendo que a velocidade média é da ordem de 40 mm/ano (OLIVEIRA, EHRLICH E LACERDA, 2009).

Investigações geofísicas também foram realizadas, e segundo Oliveira, Ehrlich e Lacerda (2009) os pontos de maiores deslocamentos laterais estão situados nas zonas de transição de materiais de resistividades diferentes.

As alturas pluviométricas acumuladas num período de 96 horas, ou seja, 4 dias, para o período de janeiro de 2008 a dezembro de 2009, mostrou que os maiores registros ocorrem entre o mês de novembro e abril (OLIVEIRA, EHRLICH E LACERDA, 2009).

Após as investigações, Oliveira, Ehrlich e Lacerda (2009) observaram que a variação da poropressão está relacionada com pluviosidade, sendo que leituras piezométricas se mostraram mais sensíveis às chuvas acumuladas em um período de 96 horas com defasagem de aproximadamente de 7 dias. Além disso, os autores concluíram que variações nas leituras causadas devido a chuvas com intensidades menores que 50 mm em 96 horas não foram sentidas pelos piezômetros.

Outra observação feita por Oliveira, Ehrlich e Lacerda (2009) ressalta que as maiores velocidades das movimentações laterais registradas pelos inclinômetros situados no km 101 foram registradas nos períodos chuvosos, no entanto, as características de intermitência e velocidade de deslocamento muito baixas fizeram que o movimento fosse classificado como rastejo, conforme a escala de Cruden e Varnes (1996), utilizada pelos autores para a classificação.

Chang, Chiang e Lei (2008, tradução nossa) buscaram incorporar dados de precipitação oriundos de um radar na modelagem de deslizamentos de terra em seu trabalho. Os autores utilizaram a metodologia desenvolvida por *Taiwan's Central Weather Bureau* (CWB), onde primeiramente coletaram dados de chuva associados com as ocorrências de tufões e que foram registrados por um radar. Assim, os autores conseguiram criar um modelo de previsão de

deslizamentos por meio de variáveis explicativas como a máxima intensidade pluviométrica e a sua duração. Após a etapa de criação, os autores validaram o modelo através de dados de chuva referentes a um período de ocorrência de outro tufão.

A área de estudo localiza-se no norte de Taiwan, e segundo Chang, Chiang e Lei (2008, tradução nossa), o clima é influenciado pelos tufões no verão e pelas monções no inverno, e muitos eventos relacionados a chuva costumam acontecer de maio a setembro. Ainda segundo os autores, a ilha de Taiwan é atingida em média quatro a cinco vezes ao ano, por tufões originados no oceano Pacífico. Esses tufões provocam danos como afirmam Chang, Chiang e Lei (2008, p.2, tradução nossa), “estas tempestades intensas trazem chuvas torrenciais que provocam deslizamentos de terra localizados em *Central Mountain Range* (CMR), que ocupa quase dois terços da ilha [...]”

Chang, Chiang e Lei (2008, tradução nossa) relataram a ocorrência do tufão *Aere* que atingiu Taiwan nos dias 23 a 25 de agosto de 2004, resultando em além das perdas materiais, 34 mortes, sendo que 15 delas foram causadas por um deslizamento de terra que atingiu uma aldeia remota ao norte. Este tufão, ainda conforme o relato dos autores, trouxe 1604 mm de chuva para essa área, sendo considerado o pior tufão que atingiu Taiwan até o momento da realização dessa pesquisa.

Os dados relacionados aos deslizamentos causados pela passagem do tufão *Aere*, foram interpretados e delineados por meio da comparação de ortofotografias aéreas tiradas antes e depois do fenômeno. Essas fotografias foram compiladas pelo *Aerial Survey Office of Taiwan's Forestry Bureau*. Para a validação do modelo proposto, foram utilizados deslizamentos causados pelo tufão *Haitang*, que ocorreu no período de 17 a 20 de julho de 2005 (CHANG, CHIANG E LEI, 2008, tradução nossa).

Foram registrados 703 casos de deslizamentos de terra durante o período do tufão *Aere*, segundo informam Chang, Chiang e Lei (2008, tradução nossa), dos quais 50 se trataram da ampliação ou recorrência de deslizamentos antigos. Já a passagem do tufão *Haitang* provocou 1042 deslizamentos, sendo que 455 deles ocorreram em locais que já apresentavam ocorrências. Uma característica observada pelos autores entre esses movimentos foi que a maioria se tratava de um deslizamento superficial de terra, envolvendo profundidades de terra menores que 2 metros. Para o desenvolvimento do modelo matemático, Chang, Chiang e Lei (2008, tradução nossa) consideraram somente casos novos de deslizamentos que foram originados por causa da passagem dos tufões *Aere* e *Haitang*.

Chang, Chiang e Lei (2008, tradução nossa) criaram um modelo que utiliza os conceitos de Regressão Logística, onde os locais com casos de deslizamentos foram

representados pelo número 1, e os locais estáveis foram representados por 0, na variável dependente. As variáveis independentes consideradas no ajuste desse modelo, segundo os autores, foram a máxima intensidade de chuva registrada em 3 horas e a duração do evento pluviométrico.

Segundo Chang, Chiang e Lei (2008, tradução nossa), a criação de um modelo de probabilidade apresenta uma vantagem em comparação aos estudos já realizados que definem limiares mínimos de precipitação capazes de deflagrar movimentos de massa, pois os modelos fornecem uma medida de confiança na previsão.

Gianneccchini (2006, tradução nossa) com o propósito de contribuir com a avaliação dos riscos de deslizamentos no sul dos Alpes Apuanos localizados na Itália, realizou uma análise dos maiores eventos pluviométricos registrados por um pluviômetro considerado o principal dessa área, para o período de 1975 a 2002. Esses dados, segundo o autor, foram comparados com a ocorrências de deslizamentos rasos, afim de estudar a relação entre as chuvas e o início desses movimentos.

Segundo Gianneccchini (2006, tradução nossa), a metodologia utilizada baseou-se na proposta por Caine (1980), com algumas diferenças quanto a dimensão da área de estudo. De acordo com o autor, Caine (1980) encontrou uma curva-limiar considerando diferentes áreas em aspectos geológicos e climatológicos, porém Gianneccchini (2006, tradução nossa) analisou somente uma restrita área caracterizada pela homogeneidade geológica, geomorfológica e climática.

Conforme Gianneccchini (2006, tradução nossa) os problemas de estabilidade das encostas ao sul dos Alpes Apuanos estão relacionados com a forte intensidade das tempestades, embora que, períodos de chuva de fraca intensidade por tempo prolongado, já sejam suficientes para ocasionar esses tipos de problemas.

A área de estudo tem aproximadamente 80 km² e a estação pluviométrica localiza-se no meio dela. Durante a pesquisa, Gianneccchini (2006, p.360, tradução nossa) identificou 152 eventos pluviométricos, sendo que “o nível de importância de cada evento foi avaliado com base na resposta dos gráficos pluviométricos: por exemplo: eventos com pequena duração (1-2h) e alta intensidade (20-30mm/h), ou grande duração (40-50h) e baixa intensidade (2-4mm/h)”.

Os eventos estudados ocorreram principalmente no outono, que na Itália compreendem o período entre os meses de setembro e novembro, devido a circulação de frentes polares no local. Também foi percebido que houve anos em que muitos eventos de alta pluviosidade foram

registrados, e anos em que poucos ou nenhum evento foi registrado (GIANNECCHINI, 2006, tradução nossa).

Com relação a utilização de um inventário de deslizamentos, Giannecchini (2006, tradução nossa) afirma ser válida a realização de uma pesquisa histórica caso os mapas de deslizamentos ocorridos em eventos de chuvas individuais não estejam disponíveis, já que as cicatrizes causadas pelos deslizamentos rasos são reabsorvidas pela vegetação em 4 a 5 anos, eliminando assim as provas de ocorrência de deslizamento.

O inventário, segundo Giannecchini (2006, tradução nossa) foi produzido através de pesquisas de dados da administração municipal local, artigos científicos, jornais e evidências fornecidas pelos habitantes, com isso verificou-se que doze tempestades puderam ser consideradas como a causa geradora de um certo número desses deslizamentos. O autor ainda coloca que os anos em que houve a passagem das tempestades mais importantes foram 1984, 1992, 1994, 1996, 1998 e 2000.

Ainda conforme Giannecchini (2006, tradução nossa), algumas características dos deslizamentos causados por intensas chuvas em encostas íngremes são deslizamentos rápidos e rasos, sendo que a razão da largura pelo comprimento é menor que um, envolvendo de um a dois metros do material do colúvio que está sobre a base rochosa.

As informações coletadas quanto a pluviosidade nos eventos de deslizamentos, de acordo com Giannecchini (2006, tradução nossa), foram a altura pluviométrica acumulada em milímetros de chuva (mm), a duração do evento em horas (h), a intensidade média da chuva dada pela relação de milímetros por hora (mm/h) e a média anual de precipitação (MAP-mm). Esses eventos também foram divididos em três grupos segundo o autor, que os classificou de acordo com a extensão dos efeitos causados pelas chuvas, sendo que o primeiro grupo (A) é referente às chuvas que provocaram muitos deslizamentos e inundações, o segundo grupo (B) é o das chuvas que causaram alguns deslizamentos e pequenas inundações localizadas e o terceiro grupo (C), que se refere aos eventos que não possuem informações quanto aos efeitos causados.

Durante a aplicação do método de separação e modelagem manual dos eventos do tipo A, B e C, Giannecchini (2006, tradução nossa) percebeu através do gráfico de duração em horas (D) *versus* intensidade em milímetros por hora (I) que duas curvas poderiam ser reconhecidas. Segundo o autor, a primeira curva criou um limiar entre os casos de deslizamentos do tipo B e C, sendo a equação obtida para delinear essa curva dada pela equação 7, já a segunda curva referente ao limiar entre os casos do tipo B e A, é apresentada pela equação 8.

$$I=26,871.D^{-0,638} \quad (7)$$

$$I=85,584.D^{-0,7809} \quad (8)$$

Com o propósito de aproximar os resultados à realidade, Giannecchini (2006, tradução nossa) fez uma consideração e adotou somente os casos de eventos pluviométricos com duração menor que 12 horas, por serem mais típicas no local, e assim criou novas curvas, onde a primeira, representada pela equação 9, delimita os casos do tipo B e C e, a segunda, apresentada pela equação 10, delimita os casos do tipo B e A. A variável D significa o tempo de duração dos eventos pluviométricos em horas (h), e a variável dependente I, à intensidade em milímetros por hora (mm/h).

$$I=38,363D^{-0,743} \quad (9)$$

$$I=76,199D^{-0,6922} \quad (10)$$

Giannecchini (2006, p.361, tradução nossa) enfatiza que “[...] a escassez de eventos do tipo A entre o período de 1975 a 2002 não permitiu uma melhor definição da curva superior, que por outro lado, representa o limiar mais importante. Na verdade, para além dessa curva, o risco de deslizamento aumenta consideravelmente”.

Após os ajustes das curvas, Giannecchini (2006, tradução nossa) também realizou uma estimativa para verificar a probabilidade de cada tipo de evento, segundo a classificação proposta anteriormente, de estar localizado em uma área instável, intermediária ou estável. Os resultados foram melhores para as classes A e B, conforme explica o autor.

Essas curvas foram comparadas com curvas de outros autores e assim Giannecchini (2006, p.362, tradução nossa) pode constatar que “em comparação com outros resultados, o valor do limiar para ocorrência de deslizamentos rasos na área dos Alpes Apuanos é alto. Isso pode estar relacionado com a média anual de precipitação que é alta, e com a também alta frequência de tempestades”.

O estudo de Mendes *et al.* (2015) teve como objetivo correlacionar os deslizamentos ocorridos em diversas áreas de risco do município de São José dos Campos, no período entre 2009 e 2013. Foram utilizados dados de precipitação diária e precipitação acumulada de 3 dias, a fim de estabelecer limiares críticos de chuva que pudessem ser utilizados pela Defesa Civil do município durante a operação do Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC).

No estudo de Mendes *et al.* (2015) observou-se que muitos casos de deslizamentos se situaram na zona de não ocorrência de deslizamento no gráfico da curva de correlação proposta por Tatizana *et al.* (1987), a qual foi utilizada pelos autores para a comparação. Os valores para altura pluviométrica acumulada em 3 dias também foram menores aos adotados no PPDC e aos sugeridos pelos autores considerados por Mendes *et al.* (2015) durante a sua pesquisa.

Com isso, Mendes *et al.* (2015) sugeriram que no município de São José dos Campos seja utilizado um limiar crítico de chuva mais conservador, o que significa que tanto as alturas pluviométricas entre 20 e 50 mm registradas em 24 horas, quanto precipitações acumuladas em 72 horas com alturas pluviométricas acima de 50 mm são fatores fundamentais para a deflagração de escorregamentos induzidos.

Mendes *et al.* (2015) explicam que a diminuição desse limite pode ter sido ocasionada pelo aumento dos fatores indutores de deslizamentos, como por exemplo: aumento da quantidade de taludes de corte e aterro, lançamento de água servida, fossas negras, concentração da água de chuva e outros, ou também pelas hipóteses de haver problemas na representatividade espacial dos dados de chuva.

Um estudo sobre a distribuição e a intensidade das precipitações relacionadas com deslizamentos em áreas de risco no município de Blumenau foi realizado por Riekmann, Pinheiro e Tachini (2005). Os autores utilizaram dados de ocorrências de deslizamento registradas pela Defesa Civil do município entre os anos de 1990 e 2003, e séries pluviométricas de estações pertencentes a região.

Riekmann, Pinheiro e Tachini (2005) analisaram a correlação entre as precipitações e as frequências temporais e espaciais das ocorrências de deslizamentos em áreas de risco do município de Blumenau. Para isso, os autores utilizaram informações sobre as chuvas acumuladas nos sete dias anteriores e a chuva registrada no dia da ocorrência, da estação pluviométrica mais próxima ao local da mesma.

Durante o processo de correlação, Riekmann, Pinheiro e Tachini (2005) depararam com um obstáculo após criarem um gráfico de dispersão sobre os acumulados de chuva, não foi possível determinar um limite de precipitação deflagrador de deslizamentos, visto que o coeficiente de correlação foi da ordem de 0,07, indicando uma dispersão elevada.

Com o intuito de melhorar o resultado, Riekmann, Pinheiro e Tachini (2005) dividiram os dados em três grupos de valores de precipitação: elevados, médios e mínimos, possibilitando uma melhor distribuição. Uma outra seleção também foi feita pelos autores, separando os dados em que continham mais de dez ocorrências em um único dia e estabelecendo uma nova curva de correlação.

Riekmann, Pinheiro e Tachini (2005) perceberam que a nova curva resultante da correlação desse novo conjunto de dados apresentou valores semelhantes aos da curva média obtida com todos os dados, o que levou os autores a concluir que a curva média, representada pela equação 11, é realmente o modelo mais adequado para a realização de previsões de

ocorrência de deslizamentos em Blumenau, onde P_d é a precipitação do dia para que ocorra deslizamento e P_c é precipitação acumulada nos sete dias antecedentes, ambos em milímetros.

$$P_d = 93,831 e^{-0,0124P_c} \quad (11)$$

Ohlmacher e Davis (2003, tradução nossa) utilizaram o método da regressão logística para a construção de um mapa de suscetibilidade de deslizamentos em Atchison, Kansas. Para isso, os autores manipularam mapas com informações sobre a declividade, aspectos da declividade, geologia e solos.

Com a aplicação da regressão logística na construção do mapa, Ohlmacher e Davis (2003, tradução nossa) concluíram que a probabilidade de ocorrência de um deslizamento de terra aumentou à medida que a inclinação do terreno aumentou, sendo verdadeiro também no caso de encostas baixas e moderadas. Contudo, os autores relataram que foram observados deslizamentos rasos em declives íngremes, isto é, quando a inclinação ficou próxima da vertical.

Ohlmacher e Davis (2003, tradução nossa) perceberam uma relação significativa existente entre a categoria dos solos e a ocorrência de deslizamentos. No entanto, os autores explicam que a categoria dos solos possui uma forte relação com as unidades geológicas, e por isso não contribuem com a estimativa da probabilidade de deslizamentos quando a geologia também está inclusa no modelo. Por esse motivo, os autores excluíram a categoria dos solos da análise.

Como conclusão, Ohlmacher e Davis (2003, tradução nossa) afirmam que a regressão logística múltipla é um método estatístico útil para o desenvolvimento de mapas de suscetibilidade de ocorrências de deslizamentos. As variáveis de maior poder explicativo para a estimativa da probabilidade de ocorrência de deslizamentos encontradas pelos autores foram a declividade e a geologia.

Lin *et al.* (2017, tradução nossa) compararam modelos de suscetibilidade a deslizamentos criados a partir dos métodos ISOLO (Mapa de Saída Linear Auto Organizado), SVM (Máquinas de Vetor de Suporte) com quatro tipos de funções de Kernel, LN-SVM, PL-SVM, RBF-SVM e SIG-SVM e, também a Regressão Logística. Os autores analisaram doze fatores causais durante o ajuste do modelo, sendo eles o tipo de movimento, aspecto da declividade, elevação, curvatura, perfil da curvatura, plano de curvatura, comprimento da inclinação, índice de umidade topográfica, distância do rio, distância da estrada, distância da falha e precipitação máxima anual de 24 e 48 horas.

Segundo Lin *et al.* (2017, tradução nossa), os modelos foram aplicados na Bacia do Rio Kaoping, localizada no sudoeste de Taiwan, com o objetivo de avaliar a performance de cada

um. Durante a criação do inventário, os autores coletaram mapas de deslizamentos ocorridos entre 2008 e 2011 pertencentes ao *Global Earth Observation* e ao *Data Analysis Center*.

Durante o estudo, Lin *et al.* (2017, tradução nossa) interpretaram visualmente as imagens captadas pelo satélite Formosat-2 e determinaram manualmente o Índice de Vegetação Diferencial Normalizado (NVDI). O método adotado pelos autores utilizou os dados dos três primeiros anos, isto é 2008 a 2010, para o treinamento e, os dados do ano de 2011 para o teste.

A multicolinearidade e a capacidade estimativa de cada fator foram determinadas através dos resultados para a tolerância e para os fatores de inflação da variância (VIF), que medem a variação no erro padrão dos fatores. A análise da multicolinearidade e da capacidade estimativa possibilitou a seleção dos fatores ótimos para o modelo de suscetibilidade. O modelo apropriado foi determinado pela comparação dos mapas de suscetibilidade a deslizamentos e pelos resultados dessas medidas (LIN *et al.*, 2017, tradução nossa).

Baseando-se nos resultados da taxa de ganho de informações (IGR), VIF e resultados para a tolerância, Lin *et al.* (2017, tradução nossa) verificaram que dez fatores causais foram capazes de determinar melhor quais os pixels correspondentes a deslizamentos, sendo eles a inclinação, aspecto da inclinação, elevação, curvatura, comprimento da inclinação, índice de unidade topográfica, distância do rio, distâncias das estradas, distância das falhas e precipitação anual máxima de 48 horas. Os fatores plano e perfil de curvatura e a máxima precipitação de 24 horas foram retirados do modelo em razão da multicolinearidade existente e da baixa capacidade estimativa, conforme explica Lin *et al.* (2017, tradução nossa).

Como conclusão, Lin *et al.* (2017, tradução nossa) perceberam que os modelos para a suscetibilidade a deslizamentos obtidos com o método RBF-SVM se mostraram mais precisos e apropriados.

Chang e Chiang (2009, tradução nossa) propuseram em seu trabalho um método que combina um modelo determinístico de estabilidade de talude e um modelo estatístico de regressão logística, incorporando dados de precipitação diretamente no processo de modelagem e predição dos deslizamentos.

O objeto de estudo de Chang e Chiang (2009, tradução nossa) foi a bacia denominada Baichi, localizada ao norte de Taiwan com aproximadamente 120 km². De acordo com os autores, as três formações litológicas existentes em Baichi são: a formação Aote com xisto e argilita, a formação de Tatergshan com ardósia e filito e a formação Kanko com xisto, ardósia e argilita.

Segundo Chang e Chiang (2009, tradução nossa), a primeira etapa da pesquisa foi a definição da precipitação crítica para cada unidade terrestre, calculada a partir das

características topográficas e atributos dos solos locais. Após determinar esses valores, os autores calcularam a diferença de intensidade da chuva (RID), que é a intensidade de chuva que está acima ou abaixo da precipitação crítica, estimada por imagens de radar.

Durante o estudo, Chang e Chiang (2009, tradução nossa) assumiram que os deslizamentos são comuns em áreas onde o valor de RID é grande e positivo, o que acontece quando por exemplo, a intensidade estimada de precipitação é maior que o limite crítico de precipitação. Dessa forma, os autores conseguiram desenvolver um modelo de regressão logística usando o valor referente a RID e a duração da precipitação como variáveis explanatórias. A duração da precipitação, que não foi considerada durante a modelagem da precipitação crítica, pode auxiliar também na previsão dos deslizamentos, de acordo com os autores.

O modelo de regressão logística foi integrado pela possibilidade de combinar um modelo determinístico a um estatístico, como mencionado anteriormente, mas conforme Chang e Chiang (2009, tradução nossa), o mais importante disso é que ele é capaz de integrar a topografia local, as propriedades dos solos e a precipitação durante a estimativa de ocorrência de deslizamentos. Para mostrar como esse método funciona, os autores utilizaram a precipitação estimada por radar e os deslizamentos associados com um tufão para o seu desenvolvimento, e o mesmo tipo de informações, no entanto referentes a um outro tufão, para a validação do modelo.

Conforme Chang e Chiang (2009, tradução nossa), a variável dependente y foi indicada pelo número 1 quando da ocorrência de deslizamento, e zero quando não houve registro de deslizamento. Os autores dividiram a região em células de 10 metro de extensão, sendo que para cada um dos 421 deslizamentos ocorridos durante o tufão Aere, relacionou-se os valores de RID e a duração da precipitação com a célula que representava o centroide da ocorrência.

A avaliação da acurácia do modelo foi realizada utilizando-se a taxa de sucesso modificada (MSR), que conforme Huang e Kao (2006) *apud* Chang e Chiang (2009), é dada pela equação 13, onde $SRnumber$ é a taxa de deslizamentos previstos com sucesso e $SRcell$ é a proporção das áreas estáveis previstas com sucesso. Por apresentar pesos iguais para as suas componentes, essa equação é capaz de verificar a performance do modelo de previsão.

$$MSR = 0,5*(SRnumber \text{ para deslizamentos}) + 0,5*(SRcell \text{ para áreas estáveis}) \quad (13)$$

De acordo com Chang e Chiang (2009), as duas variáveis explanatórias são significativas em um nível de 0,01, sendo a variável RID mais importante que a duração da chuva. O resultado obtido para MSR, segundo os autores, foi de 84%, com $SRnumber$ e $SRcell$ de 80%. Os autores ainda afirmam que o modelo não foi capaz de explicar como as chuvas

intensas podem aumentar a probabilidade de ocorrência de deslizamentos, mas se mostrou uma ferramenta que pode auxiliar nas tomadas de decisão por parte dos gestores da bacia.

Azevedo (2011) estudou a relação existente entre os eventos de escorregamentos e a chuva acumulada deflagradora, tomando-se em consideração os fatores de distribuição espacial e temporal, tanto para precipitação quanto para os deslizamentos. Para isso, o autor utilizou dados de chuva e de escorregamentos relativos ao período de 1998 a 2002, provenientes da Fundação Geo-Rio, além das informações cartográficas do município do Rio de Janeiro.

Conforme Azevedo (2011), a metodologia foi baseada na depuração e tratamento das informações por meio de ferramentas computacionais e pela definição das áreas de influência para cada estação pluviométrica. Cada registro de acidente selecionado foi vinculado a um determinado posto de registro de precipitação, sendo possível calcular o acumulado de chuva associado a um período de tempo específico utilizados pela Fundação Geo-Rio.

Com o uso dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Azevedo (2011) explica que foi possível incorporar características do meio físico nas análises. Como resultado, estabeleceu-se curvas para os diversos grupos de estações, relacionando a probabilidade de ruptura e precipitação acumulada. Para cada registro há informações como localização, hora, data, descrição da ocorrência, tipologia do acidente mediante classificação da instituição, volume escorregado estimado em metros cúbicos (m^3), consequências do acidente, pluviômetro ao qual o evento foi associado e o número do laudo. Segundo o autor, nem todos os registros de acidentes disponíveis possuíam todas as informações referentes à ocorrência, sendo que a maioria deixou de apresentar os dados relativos à data e/ou hora.

A área de influência para cada uma das estações foi definida pela geração dos respectivos polígonos de Thiessen. Alguns polígonos sofreram uma modificação levando-se em consideração a ação promovida pela topografia (AZEVEDO, 2011).

Uma vez que as planilhas de chuva estavam formadas para cada uma das estações, observou-se a ausência de vários registros pluviométricos, e de acordo com Azevedo (2011), nessa etapa buscou-se pautar critérios para a incorporação destas informações não definidas. O autor explica que primeiramente, foram substituídos os dados ausentes pelos registros definidos provenientes da estação mais próxima para o período de tempo correspondente. Nos casos em que a estação mais próxima também apresentava informações não determinadas para o período de tempo considerado, as entradas não existentes foram tomadas como nulas, afirma o autor.

Segundo Azevedo (2011), os níveis de alerta para escorregamento estabelecidos pelo sistema Alerta Rio, e cedidos pela Fundação Geo-Rio ao autor são demonstrados na tabela 9.

Tabela 9 – Nível de alerta estabelecido pelo sistema Alerta Rio.

	Nível médio	Nível alto	Nível muito alto
Acumulado em 1 h.	10 a 30 mm	30 a 50 mm	Maior que 50 mm
Acumulado em 24 h.	50 a 100 mm	100 a 175 mm	Maior que 175 mm
Acumulado em 96 h.	100 a 175 mm 10 a 30 mm/24h	175 a 250 mm 30 a 50 mm/24 h	Maior que 250 mm e maior que 100 mm/24h

Fonte: Azevedo (2011).

Em seu estudo, Azevedo (2011) estabeleceu a probabilidade de ruptura para cada um dos níveis apresentados anteriormente. Segundo Azevedo (2011, p.75), a metodologia utilizada se deu

“de forma relativamente simples pelo cálculo da razão entre o número de escorregamentos teóricos e o número total de acumulados, ambos associados ao mesmo nível de alerta, sendo que este total de acumulados é representado pela soma dos falsos positivos e de escorregamentos teóricos”.

Azevedo (2011) concluiu que o local com maior incidência de deslizamentos localizou-se em regiões compostas por morros da zona norte do município de Rio de Janeiro. Quanto ao quesito geológico-geotécnico mais frequente nas ocorrências, o autor destacou a classe de solo residual de encosta com espessura superior a dois metros, além do fato da quantidade significativa de ocorrências registradas em locais com declividades consideradas baixas, isto é, entre 10° e 30°. Com relação as características próprias de cada região, como a declividade, a geologia, o uso do solo e hipsometria, Azevedo (2011) afirma que elas é que definirão como a solicitação oriunda da precipitação será suportada pelo local.

Considerando essa explicação, Azevedo (2011) explica que houve a necessidade de adotar critérios de alerta diferentes para cada região, afim de contemplar tais particularidades. Essa adoção, segundo o autor, permitiu aumentar a eficácia da previsão da ocorrência de acidentes.

Dai e Lee (2003, tradução nossa) avaliaram a probabilidade de ocorrência de deslizamentos rasos devido as chuvas em uma região próxima a *Tung Chung*, no norte da ilha de *Lantau*, em *Hong Kong*, com área de aproximadamente 13 km². Os autores analisaram deslizamentos ocorridos entre 18 de julho de 1992 e 4 e 5 de novembro de 1993.

Os deslizamentos, segundo Dai e Lee (2003, tradução nossa), foram registrados por fotografias aéreas, sendo que as informações sobre as ocorrências, juntamente com as informações sobre a geologia, topografia, cobertura e precipitação, foram inseridas em um SIG. De acordo com os autores, após essa etapa, foi possível desenvolver um modelo estatístico para

a avaliação da probabilidade em um contexto espaço-temporal utilizando-se a regressão logística.

Com isso construiu-se um banco de dados em um SIG, com variáveis *quasi-static* e dinâmicas que ocasionaram os deslizamentos, e que conforme a explicação de Dai e Lee (2003, tradução nossa), variáveis *quasi-static* descrevem a suscetibilidade ao movimento, como a geologia, propriedades do solo, elevação, gradiente de declividade e aspectos da cobertura da encosta, já as variáveis dinâmicas são capazes de induzir um movimento de massa, como por exemplo as chuvas intensas.

As informações presentes nesse banco de dados consistiram em informações sobre os deslizamentos, modelo digital do terreno (MDT), litologia, cobertura e informações sobre a precipitação, sendo realizado também um registro sobre a extensão do deslizamento marcada com polígonos e o ano da ortofoto a qual o deslizamento foi observado pela primeira vez (DAI E LEE, 2003, tradução nossa).

Quatro tipos de mapas temáticos foram criados a partir do MDT, sendo eles o de gradiente da declividade, aspecto da encosta, altitude em relação ao nível do mar de cada célula, e a forma da encosta definida pela combinação do plano e perfil de curvatura. As informações sobre a litologia foram obtidas com o *Lands Departamet* de *Hong Kong*, que disponibilizou mapas geológicos na escala de 1:5000. Já para a cobertura, foram analisadas ortofotos de 30 de outubro de 1991, sendo que o resultado foi uma aproximação da situação (DAI E LEE, 2003, tradução nossa).

Um problema relatado por Dai e Lee (2003, tradução nossa) durante o estudo foi determinar as variáveis pluviométricas mais importantes a serem incorporadas no modelo. Segundo os autores, foram selecionadas isoietas de 24 horas de chuva acumulada de muitos eventos pluviométricos.

A precisão da localização das amostras utilizadas para o ajuste do modelo, esteve relacionada diretamente com o sucesso do mesmo, sendo que para garantir a sua qualidade, Dai e Lee (2003, tradução nossa) adotaram alguns critérios. Esses critérios, segundo os autores, foram a utilização de áreas de amostragens compreendidas na área de estudo, quantidades semelhantes tanto para amostras de áreas escorregadas quanto para áreas estáveis, atentando para o fato de que as áreas amostradas pudessem representar toda a variabilidade ocorrida na área de estudo.

Após reconhecer as variáveis categóricas, um modelo de regressão logística *stepwise* foi construído com base nas variáveis independentes. A cada passo do modelo, as variáveis foram

avaliadas uma a uma para verificar se elas contribuíram com o modelo de regressão (DAI E LEE, 2003, tradução nossa).

O teste de verossimilhança foi utilizado para determinar as variáveis a serem adicionadas no modelo, e segundo Dai e Lee (2003, tradução nossa), o modelo de regressão logística desenvolvido não foi capaz de demonstrar como os deslizamentos ocorreram fisicamente, no entanto ele conseguiu indicar que certos deslizamentos estiveram associados a combinações específicas de variáveis *quasi-static*s e dinâmicas.

Dai e Lee (2003, tradução nossa) afirmam ser possível desenvolver vários modelos para diferentes cenários, e ainda que o modelo de regressão logística desenvolvido pode ser considerado um ponto inicial, podendo ser aprimorado para uma aplicação geral ou regional à medida que uma maior quantidade de informações se torna disponível.

O objetivo do trabalho de Bauzys (2010) foi analisar de forma integrada os aspectos ambientais do alto da bacia do Ribeirão Belchior, no município de Gaspar, Santa Catarina, visando a identificação, análise e mapeamento dos movimentos de massa ocorridos em novembro de 2008.

Para isso, Bauzys (2010) levantou cartas planialtimétricas, fotografias aéreas, imagens de satélite e mapas geológico, geomorfológicos e de solos da área, em escalas menores. De acordo com a explicação da autora, a cartografia básica utilizada foi o mapa planialtimétrico, em arquivo digital, a qual foi cedida pela prefeitura Municipal de Gaspar.

Também foram feitos trabalhos de campo específicos durante da pesquisa, relata Bauzys (2010), afim de realizar a cartografia da sequência litológica e identificação de estruturas como foliações, falhas e fraturas das rochas, e também o reconhecimento e levantamento dos diferentes tipos de movimentos de massas presentes e análise dos afloramentos e das cicatrizes.

Os dados dos movimentos de massa foram cruzados com as informações sobre os aspectos naturais e de uso do solo com um objetivo, o de compreender as causas e mecanismos que induziram os deslizamentos, afirma Bauzys (2010). Os escorregamentos levantados foram correlacionados com os seguintes aspectos ambientais, geologia, geomorfologia, hipsometria, declividade, formas de encosta, orientação de encostas, pedologia, vegetação e atividades antrópicas, explica a autora.

Com relação as características das vertentes que apresentam teores de umidade, Bauzys (2010, p.192) afirma que,

a variação de exposição à pluviosidade, insolação e ventos de uma vertente estão relacionadas à sua orientação (aspecto), que causa diferenças na umidade retida na vertente e, portanto, na umidade do solo. Vertentes que retém mais umidade, estão, em geral, opostas à insolação ou voltada para umidade transportada por ventos ou por pluviosidade”.

Assim percebeu-se que o fator mais influente nesses processos foram as características relacionadas a declividade e as formas da encosta e resistência dos materiais, conclui Bauzys (2010). De acordo com a autora, um outro tipo de escorregamentos frequentemente encontrado foram pequenos desmoronamentos ou escorregamentos rotacionais induzidos por corte de estradas, ou por taludes de cortes feitos para construções de casas, sendo que esses tipos de movimentos estão associados à aterro, pacotes de solo ou depósitos espessos em áreas de menores declividades.

Dentre os tipos de solos avaliados, foi verificada a predominância de cicatrizes em Cambissolos. Estes solos, principalmente os mais rasos, tendem a ser mais suscetíveis aos escorregamentos, devido à camada impermeável gerada pelo substrato rochoso, que favorece o encharcamento do solo e a presença de escoamento sub-superficial. Com relação às formas de uso da terra ficou evidente que, nesse caso as atividades antrópicas não contribuíram significativamente para a deflagração dos grandes escorregamentos translacionais (BAUZYS, 2010)

O objeto de estudo de Giannecchini *et al.* (2015, tradução nossa) foi a bacia do Mármore Carrara, na Toscana, Itália. Esta bacia, segundo os autores, é considerada uma das mais famosas do mundo e divide-se em quatro sub-bacias: Colonnata, Miseglia, Torano e Pescina-Boccanaglia, que apresentam alta frequência de eventos pluviométricos intensos.

Um longo período de atividades de extração mineral pode causar problemas ambientais e hidrogeológicos, afirmam Giannecchini *et al.* (2015, tradução nossa), pois os resíduos dessa atividade são comumente depositados em áreas de encostas sem estabilidade.

Giannecchini *et al.* (2015, tradução nossa) utilizaram dados de chuva de três estações meteorológicas registrados entre 1950 e 2005. Os autores explicam que os movimentos de massa causados pelos eventos pluviométricos intensos consistem em deslizamentos rasos e fluxo de detritos, que apresentam uma relação entre a largura e a altura menor que um e que geralmente mobilizam o solo que está acima da base rochosa.

Os resíduos provenientes das atividades de escavação mais antigas são geralmente mais estáveis devido ao efeito estabilizador de resíduos, afirmam Giannecchini *et al.* (2015, tradução nossa), no entanto o acúmulo de material provenientes de escavações, cortes e de construções de estradas sobrecarregam essas áreas e fazem com que o ângulo de atrito seja excedido.

As chuvas fortes e os canais de erosão são provavelmente as causas mais importantes dos fluxos de detritos, e que ameaçam a população e a infraestrutura local. No trabalho foram utilizados três tipos de índices pluviométricos para definição dos limiares: a intensidade e a

duração (ID), o acumulado durante o evento e a duração (ED) e o acumulado durante o evento normalizado (MAP) e a intensidade (EmapI) (GIANNECHINI *et al.*, 2015, tradução nossa).

Giannecchini *et al.* (2015, tradução nossa) determinaram os limiares por meio de técnicas estatísticas para separar os eventos pluviométricos que ocasionaram fluxo de detritos dos que não ocasionaram. Os autores consideraram que eventos com altura pluviométrica menor que 1 mm por hora, independentemente da duração, fossem excluídos da análise.

A separação dos eventos com e sem fluxo de detritos, conforme Giannecchini *et al.* (2015, tradução nossa) foi difícil de ser realizada, e devido a isso optaram por definir a probabilidade (p) que algumas variáveis pluviométricas possuíam em deflagrar um fluxo de detritos. Essa probabilidade de ocorrência foi estimada usando a regressão logística, explicam os autores, onde os casos de ocorrência de deslizamento foram indicados pela probabilidade igual a um, e a não ocorrência foi indicada por zero.

O modelo foi determinado utilizando o método *maximum-likelihood* no software R®, com o comando apropriado para *generalized linear model*, isto é, modelos lineares generalizados, segundo Giannecchini *et al.* (2015, tradução nossa). Para cada conjunto de dados, os autores selecionaram algumas variáveis independentes como $\log_{10}D - \log_{10}I$, $\log_{10}D - \log_{10}E$ e $\log_{10}I - \log_{10}E_{map}$. Considerando que o resultado de uma regressão logística seja um preditor contínuo, ele pode ser transformado em uma variável dicotômica usando um limiar, explicam os autores.

Conforme Giannecchini *et al.* (2015, tradução nossa), um modelo de classificação binária pode apresentar quatro diferentes saídas como resposta. Para cada evento, segundo os autores, a ocorrência pode ser falsa ou verdadeira, enquanto que o modelo de predições as considera positiva ou negativa, no caso de ter sucesso ou não a predição.

A ação antrópica modificou profundamente a área da bacia, o que causa incertezas das possíveis consequências. Após uma tempestade, as áreas de extração são rapidamente restauradas no sentido de limitar as consequências para a população (GIANNECCHINI *et al.*, 2015, tradução nossa)

Nesse contexto e fazendo uso de dados sobre eventos pluviométricos passados, falsos positivos podem resultar da falta de informações sobre as ocorrências de deslizamentos, como por exemplo, os deslizamentos que ocorreram, mas não foram reportados, explicam Giannecchini *et al.* (2015, tradução nossa). Com isso, os autores atentam para o fato de que muitos eventos podem ser classificados de forma errônea como verdadeiros negativos e falsos positivos, e consequentemente os limiares podem ser subestimados.

Giannecchini *et al.* (2015, tradução nossa) utilizaram os resultados obtidos para verdadeiros positivos, verdadeiros negativos, falsos positivos e falsos negativos, para calcularem as pontuações de Probabilidade de Detecção (POD) ou verdadeiro positivo (TPrate), Probabilidade da Falsa Detecção ou falso positivo (FPrate), Probabilidade de Alarme Falso (POFA), Eficiência (Ef) e *Score* de Hansen e Kuipers (HK).

A Probabilidade de Detecção (POD) ou verdadeiro positivo (TPrate) significa a proporção de fluxo de detritos previstos corretamente, conforme explicam Giannecchini *et al.* (2015, tradução nossa). O contrário disso, a Probabilidade da falsa detecção ou falso positivo (FPrate), segundo os autores, é a proporção de previsões corretas para quando o evento não ocorreu. A Probabilidade de alarme falso (POFA) é razão entre a quantidade de alarmes falsos e o número total de previsões, já a Eficiência (Ef) é dada pela razão entre o número de previsões corretas e o número total de eventos, e finalmente o *Score* de Hansen e Kuipers (HK), que significa a acurácia da revisão para eventos com e sem ocorrência de fluxo de detritos. Esse *score* representa a diferença entre POD e POFD, explicam os autores.

As pontuações POD, POFD, POFA e Ef variam entre 0 e 1, sendo que para POD e Ef, o valor ótimo é um, enquanto para POFD e POFA, o valor ótimo é zero. O *Score* de Hansen e Kuipers (HK) varia entre -1 e 1, onde o positivo é valor ótimo (GIANNECCHINI *et al.*, 2015, tradução nossa).

De acordo com Giannecchini *et al.* (2015, tradução nossa), a capacidade preditiva dos limiares propostos em seu trabalho, pode ser testada usando a curva ROC, onde é plotada a relação entre POD e POFD, obtendo-se o valor da *Area Under the Curve* (AUC), que é a área abaixo da curva. Ainda segundo os autores, se o valor de AUC é alto, melhor é a performance do modelo, se AUC é igual a 0,5, o modelo não tem capacidade preditiva, porém se AUC igual a 1, indica que o modelo mostra a melhor capacidade preditiva.

A maioria dos eventos pluviométricos analisados no estudo de Giannecchini *et al.* (2015, tradução nossa) ocorreram no outono, que no local correspondem aos meses entre setembro e novembro. Para cada estação e também para o conjunto formado por todas as estações, os autores calcularam limiares para diferentes probabilidades de ocorrência de fluxo de detritos, utilizando-se a regressão logística. Uma limitação encontrada por Giannecchini *et al.* (2015, tradução nossa) foi a de não existir na área do estudo estações meteorológicas que façam o registro horário, e por essa razão foram utilizadas três estações próximas, mas que se localizam em altitudes diferentes, o que poderia vir a influenciar nos valores de MAP.

As estações mais próximas denominam-se Carrara, Fossacava, Rif. Belvedere, de acordo com Giannecchini *et al.* (2015, tradução nossa), sendo que o conjunto de todas essas

estações foi denominado pelos autores de *Carrara Marble Basin* (CMB). O nível de significância adotado pelos autores durante o estudo foi de 0,5.

Com o resultado do modelo, Giannecchini *et al.* (2015, tradução nossa) desenvolveram curvas para os limiares, onde cada curva correspondeu a uma probabilidade de ocorrência de fluxo de detritos. A partir das equações, os autores definiram os limites de ID, ED e EmapI para cada uma das estações meteorológicas, e variando o valor de p entre 0 e 1 nas equações da probabilidade de ocorrência de fluxo de detritos foram obtidos os limiares.

Para avaliar o modelo criado com a regressão logística, Giannecchini *et al.* (2015, tradução nossa) geraram a tabela de contingência, calcularam os *scores* e analisaram a curva ROC.

Foram criados limiares para níveis diferentes de probabilidade, que variavam de 10% a 90%. Todos os valores de AUC foram similares e superiores a 0,84, significando que as capacidades preditivas dos modelos puderam ser consideradas como aceitáveis para todas as três estações e também para a área toda em estudo. As melhores previsões de ocorrência de fluxo de detritos foram obtidas com a estação Fossacava. Independentemente do tipo de limiar, o *Score* de Hansen e Kuipers (HK) mais elevado foi obtido com a probabilidade de 40%, com resultados para os limiares referentes a intensidade e duração, de 4,6 e 3,7 mm/h para chuvas de 19 e 24 horas de duração, respectivamente. Para a probabilidade de 40% de ocorrência, os limiares para o acumulado durante o evento e a duração foram de 82,8 e 88,3 mm para chuvas de 19 e 24 horas, respectivamente. O limiar relacionado ao acumulado normalizado durante o evento e a intensidade, para 40% de probabilidade foi de 5,1, para uma intensidade média de 5 mm/h (GIANNECCHINI *et al.*, 2015, tradução nossa).

O trabalho de Sepúlveda e Padilla (2008) analisou diferentes fatores meteorológicos causadores de fluxo de detritos e corridas de lama induzidos pela chuva, em encostas de Santiago, onde no ano de 1993 ocorreram eventos do tipo.

Usando a análise estatística multivariada, Sepúlveda e Padilla (2008) testaram a importância relativa de alguns fatores como a duração do evento pluviométrico no dia do fluxo, a precipitação acumulada e a altura de neve precipitada. Sepúlveda e Padilla (2008) não consideraram outros fatores deflagradores durante a análise, a não ser o derretimento rápido de neve após tempestades ou em razão de altas temperaturas, abalos sísmicos ou eventos vulcânicos.

A área de estudo corresponde as encostas dos Andes na mesma latitude de Santiago (33,5° S). Na área existem uma série de riachos que drenam em direção a bacia de Santiago. Essas ravinas são geralmente caminhos para fluxos de detritos e de lama oriundos das áreas

mais altas da bacia. As ravinas mais importantes do local denominam-se San Ramón e Macul (SEPÚLVEDA E PADILLA, 2008).

Sepúlveda e Padilla (2008) utilizaram a regressão logística para testar a importância dos fatores mencionados anteriormente, e afirmam que o método tem sido amplamente utilizado em diferentes aplicações científicas.

Para avaliar a validade do modelo, Sepúlveda e Padilla (2008) realizaram os testes de Wald e de performance do ajuste. O nível de significância adotado pelos autores em ambos os testes, foi de 5%. No sentido de verificar a contribuição de cada variável no modelo, os autores calcularam o Coeficiente de Correlação Parcial, o qual permite checar a contribuição de cada variável independente.

1.4 REGRESSÃO LOGÍSTICA

Segundo Bittencourt (2003, p.85), a regressão logística se caracteriza por “não fazer suposições sobre o comportamento probabilístico das variáveis independentes”. Além disso, o autor afirma que outras características interessantes da regressão logística são “a possibilidade de estimação direta da probabilidade de uma observação pertencer a determinada classe”, e também a possibilidade de se “testar a significância de um grande número de variáveis independentes”, elegendo então quais as variáveis que mais contribuem para a separação das classes”.

De acordo com Hair Jr. *et al.* (2009), os modelos de regressão logística combinam a regressão múltipla com a análise discriminante múltipla. Ainda segundo os autores, a regressão logística é semelhante a regressão múltipla pois utiliza mais variáveis independentes para a previsão de uma única variável dependente.

No entanto, Hair Jr. *et al.* (2009) explicam que diferença de um modelo de regressão logística para um modelo de regressão múltipla é que o primeiro utiliza uma variável dependente não-métrica como variável discriminante. Isso exige que diferenças no método de estimação e suposições sobre o tipo de distribuição sejam consideradas, pois

a natureza não-linear da transformação logística demanda que um outro procedimento, o de máxima verossimilhança, seja usado de forma iterativa para encontrar as estimativas ‘mais prováveis’ para os coeficientes. Isso resulta no uso do valor de verossimilhança no lugar da soma de quadrados quando se calcula a medida de ajuste geral do modelo (HAIR Jr. *et al.*, 2005, p.233).

Para a interpretação dos resultados das inferências estatísticas, é necessário a adoção de nível de erro estatístico aceitável devido ao uso de uma amostra, também conhecidos por erro amostral, como explicam Hair Jr. *et al.* (2009). Conforme os autores, é comum a especificação

do nível do erro Tipo I, também denominado de alfa (α), que além de estabelecer o nível de significância estatística aceitável, significa a probabilidade de a hipótese nula ser rejeitada quando a mesma é verdadeira. Ao contrário disso, os autores explicam que ao ser especificado o nível de erro Tipo I, também é determinado um erro associado, chamado de Tipo II ou beta (β), que significa a probabilidade de a hipótese nula não ser rejeitada quando na realidade ela é falsa.

Segundo Hair Jr. *et al.* (2009), sugere-se a adoção de níveis de erro estatístico de 0,05 ou 0,01, ficando a decisão a critério do pesquisador, que deverá analisar o impacto disso em seu trabalho. Um questionamento levantado pelos autores é “então, porque não fixar ambos alfa e beta em níveis aceitáveis? ”, pois segundo eles, “os erros Tipo I e Tipo II são inversamente relacionados, e à medida que o erro Tipo I se torna mais restritivo (se aproxima de zero), a probabilidade de um erro Tipo II aumenta, ou seja, reduzir erros do Tipo I, reduz o poder do teste estatístico” (HAIR Jr. *et al.*, 2009, p.30).

De acordo com Montenegro (2009), o primeiro passo para a eleição de um ajuste, é a verificação da existência de correlação entre as variáveis independentes, pois as variáveis altamente correlacionadas precisam ser excluídas do modelo. Segundo o autor, variáveis ditas colineares são aquelas linearmente dependentes.

Os problemas gerados pela existência de correlação entre as variáveis independentes é que “a medida que a multicolinearidade aumenta, a variância total explicada diminui (estimação)”, conforme Hair Jr. *et al.* (2009, p.191). Um outro problema relatado pelos mesmos autores, é a redução da quantia de variância única para as variáveis independentes, o que prejudica a estimação dos coeficientes da regressão e seus testes de significância estatística.

Em seu trabalho, Montenegro (2009) verificou a correlação existente entre os pares de variáveis independentes através do método da correlação de Pearson, adotando como altamente correlacionadas, os pares que apresentaram um resultado para o teste acima de 0,70.

Os modelos de regressão logística comparam a probabilidade de ocorrência de um evento com a probabilidade de não ocorrência, e segundo Hair Jr. *et al.* (2009), a razão entre essa desigualdade pode ser expressa pela equação 12, apresentada a seguir.

$$\frac{\text{Probabilidade (evento ocorrer)}}{\text{Probabilidade (evento não ocorrer)}} = e^{B_0 + B_1X_1 + \dots + B_nX_n} \quad (12)$$

Hair Jr. *et al.* (2009) explicam que se o coeficiente B_i for positivo, a sua transformação, que é o antilogaritmo, será maior que 1, aumentando a razão de desigualdade, devido ao aumento da probabilidade para ocorrência do evento e redução da probabilidade de não

ocorrência do evento. Os autores também explicam que se Bi for negativo, o oposto será verificado, isto é, a razão de desigualdade diminuirá.

Com relação a adoção de amostras para o treinamento e para teste, Hair Jr. *et al.* (2005) explicam que a partir do momento que uma amostra é empregada para a validação, se faz necessário verificar dois requisitos. Segundo os autores, o primeiro é a garantia de que o tamanho da amostra suficiente para conseguir se ajustar a quantidade de variáveis preditoras consideradas na análise, e o segundo é a garantia da aleatoriedade durante a seleção da amostra reservada para o teste, já que a ordem das observações não pode afetar a estimação e a validação.

Bittencourt (2003) explica que um teste de significância importante na regressão logística é o teste da razão da verossimilhança. Esse teste, segundo Bittencourt (2003, p.81), consiste na “comparação entre o valor da função de verossimilhança para o modelo contendo apenas os interceptos e a verossimilhança do modelo final com todos os parâmetros estimados”.

É comum a utilização da estatística de Wald para a realização de testes de significância individuais para os parâmetros, afirma Bittencourt (2003). “A estatística W de Wald é definida como o quadrado da razão entre a estimativa de máxima verossimilhança para o coeficiente e seu respectivo erro-padrão (EP)” (BITTENCOURT, 2003, p.81).

Hosmer e Lemeshow (2000, tradução nossa) explicam a forma como é realizado um outro teste que pode ser utilizado para a avaliação de um modelo, o teste de Hosmer e Lemeshow. Segundo Hosmer e Lemeshow (1980) *apud* Hosmer e Lemeshow (2000, tradução nossa) e Lemeshow e Hosmer (1982) *apud* Hosmer e Lemeshow (2000, tradução nossa), esse teste propõe a formação de grupos com base nos valores das probabilidades estimadas.

De acordo com Hosmer e Lemeshow (2000, tradução nossa), a estatística do teste de Hosmer e Lemeshow é obtida calculando a estatística chi-quadrado de Pearson a partir de uma tabela (g x 2) de frequências observadas e esperadas.

Fawcett (2006, tradução nossa) explica que é crescente a utilização do gráfico da curva *Receiver Operating Characteristics* (ROC) para a visualização do desempenho de classificadores, pois a curva gerada mostra a capacidade de um modelo classificador em diferenciar instâncias positivas às instancias negativas

Com relação a aplicação da curva ROC, Fawcett (2006, tradução nossa) explica que dado um modelo classificador e uma instância, existem quatro possíveis resultados, se a instância for positiva e for classificada com positiva, ela será contada com um verdadeiro positivo. O contrário também é possível, pois se a instância for negativa e classificada como negativa, ela será contada como um verdadeiro negativo. Porém outras duas situações podem ocorrer, se caso uma instância positiva for classificada como negativa, ela será contada como

um falso negativo e, se a instância for negativa, mas classificada como positiva, ela será contada como um falso positivo.

Segundo Fawcett (2006, tradução nossa), a matriz de confusão ou tabela de contingência representa as disposições do conjunto das instâncias, sendo que os números da diagonal principal correspondem as decisões corretas.

De acordo com Raposo (2014, p.16)

o desempenho de um classificador pode ser avaliado através de medidas calculadas a partir de uma matriz de confusão para duas classes. Essa matriz constitui-se em uma tabela de contingência de 2x2 onde são representados quatro tipos de classificações segundo o resultado do modelo.

Ainda segundo Raposo (2014), a partir das quantidades estabelecidas para verdadeiros positivos (VP), verdadeiros negativos (VN), falsos positivos (FP) e falsos negativos (FN), é possível determinar métricas de desempenho como sensibilidade, especificidade e acurácia.

A taxa de verdadeiros positivos é dada pela relação entre os positivos classificados corretamente (VP) e o total de positivos (VP+FN), que segundo Fawcett (2006, tradução nossa) também é chamado de *recall* ou sensibilidade. Raposo (2014, p.16) usa o termo sensibilidade para a “proporção de verdadeiro positivos em relação ao total da classe positiva”. A especificidade, segundo a autora, corresponde a relação entre os verdadeiros negativos (VN) e os falsos positivos somados aos verdadeiros negativos (FP+VN). A acurácia, ainda segundo a autora, é a proporção de acertos do modelo, dada pela relação entre os verdadeiros negativos e positivos (VN+VP) e toda a amostra (VP+VN+FN+FP).

Quanto a sensibilidade e a especificidade, Raposo (2014) explica que no caso de um modelo apresentar valores altos para sensibilidade, ele fornecerá uma taxa baixa de falsos negativos, já no caso do modelo apresentar valores altos para a especificidade, ele fornecerá poucos falsos positivos.

Raposo (2014, p.16) afirma que “para determinar o número de acertos do final é necessário estabelecer uma probabilidade, denominada de ponto de corte”. A autora explica que os resultados obtidos para a probabilidade através do modelo e que forem maiores ou iguais a esse ponto são classificados como eventos que ocorreram e identificadas pelo valor 1, ao contrário disso, os resultados que forem menores a esse valor, serão classificados como eventos que não ocorreram e identificados por 0.

Ainda de acordo com Fawcett (2006, tradução nossa), o gráfico da curva ROC descreve a relação entre os verdadeiros positivos e os falsos positivos, sendo que os melhores resultados se apresentam mais para noroeste do espaço do gráfico, isto é, quando a taxa de verdadeiros positivos é alta e a taxa de falsos positivos é baixa. Fawcett (2006, tradução nossa) ainda afirma

que qualquer classificador que apareça no triângulo inferior direito desse mesmo espaço, executa suposições piores do que as suposições aleatórias.

Uma outra medida utilizada por Raposo (2014, p.19) em seu estudo foi o índice Kappa. Segundo a autora, “ele é calculado pela divisão da diferença entre a concordância esperada e a concordância observada e a diferença entre a concordância absoluta e a concordância esperada”, logo a interpretação para tal resultado é de que “quanto maior é o índice Kappa maior é a concordância entre as observações”.

Landis e Koch (1977) propuseram faixas de valores para o grau de concordância. Segundo os autores, o índice Kappa pode variar de -1 a 1, sendo que resultados negativos indicam uma concordância pobre, e os intervalos entre 0 e 0,19; 0,20 e 0,39; 0,40 e 0,59; 0,60 e 0,79; e 0,80 e 1,00, indicam respectivamente uma fraca, razoável, moderada, considerável e quase perfeita concordância entre as observações.

1.5 ASPECTOS CONCEITUAIS SOBRE DEFESA CIVIL

No *site* do Ministério da Integração há um glossário denominado Glossário de Defesa Civil, Estudos de Risco e Medicina dos Desastres, que tem a função de padronizar a nomenclatura relacionada as atividades de Defesa Civil. Alguns termos presentes no glossário são vistos ao longo desse estudo e por isso precisam ser esclarecidos, como é o caso da palavra alerta, que significa uma situação na qual o perigo ou risco pode ser previsto a curto prazo.

Assim como o termo alerta existem outros que costumam aparecer constantemente em estudos semelhantes a esse, como por exemplo os termos ameaça, área de risco, catástrofe, dano, entre outros.

Ameaça significa o prenúncio de um evento desastroso, sendo que ela pode ser expressa por meio da probabilidade estatística de concretização de um evento adverso ou acidente. A área onde existe a possibilidade de acontecer os eventos adversos denomina-se área de risco (BRASIL, [201-]).

O risco pode ser expresso como a probabilidade de ocorrer um acidente ou evento adverso, estando ele relacionado com a intensidade dos danos ou perdas. O risco pode ser minimizado com a realização de estudos preventivos que aumentem a segurança do local e diminuam a probabilidade de ocorrência de acidentes e os danos causados por eles. (BRASIL, [201-]).

Um desastre pode acarretar danos humanos, materiais e/ou ambientais, e consequentemente levar a prejuízos econômicos e sociais. O desastre resulta de eventos

adversos sobre um ecossistema vulnerável, podendo eles serem naturais ou provocados pelo homem. A sua dimensão se dá em função dos danos e prejuízos, em termos de intensidade, dependendo da relação entre a magnitude do evento adverso e o grau de vulnerabilidade do local atingido. A vulnerabilidade é oposta a segurança, e corresponde a relação entre a magnitude da ameaça e a intensidade dos danos caso ela ocorra. Se o desastre é de grandes proporções, com uma grande quantidade de vítimas e danos severos, ele se enquadra como uma catástrofe (BRASIL, [201-]).

Segundo o BRASIL ([201-], n.p.), dano é “perda humana, material ou ambiental, física ou funcional, resultante da falta de controle sobre o risco”, e podem ser classificados em danos humanos, materiais e ambientais. Os danos humanos são calculados conforme o número de pessoas desalojadas, desabrigadas, deslocadas, desaparecidas, feridas gravemente, feridas levemente, enfermas e mortas, assim sendo, uma pessoa pode sofrer mais de um tipo de dano, logo o total de pessoas atingidas pode ser menor ou igual a soma de todos os danos causados. Estimam-se os danos materiais através da quantidade de edificações, instalações e outros bens que foram danificados ou destruídos, juntamente com o valor necessário para reconstruí-los ou recuperá-los. Os danos ambientais podem contribuir no agravamento do desastre, devido à dificuldade para reverter a situação, e são quantificados através “do volume de recursos financeiros necessários à reabilitação do meio ambiente”, conforme BRASIL ([201-], n.p.).

O Decreto de Declaração de Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública é um documento oficial que tem por objetivo decretar, registrar e divulgar um ato legal referente as anormalidades ocasionadas por um desastre. Esse documento compete aos prefeitos municipais e do Governador do Distrito Federal (BRASIL, [201-]).

Ao “conjunto de ações preventivas, de socorro, assistenciais e reconstrutivas destinadas a evitar ou minimizar os desastres, preservar a moral da população e restabelecer a normalidade social” se dá o nome de Defesa Civil (BRASIL, [201-], n.p.). Dentro do cotidiano da Defesa Civil também é comum encontrar o termo resiliência, e segundo BRASIL ([201-]) significa a capacidade de lidar com problemas, superar obstáculos ou resistir à pressão de situações adversas.

2 METODOLOGIA

O estudo sobre os limiares pluviométricos capazes de aumentar a probabilidade de ocorrência de deslizamentos em Joinville teve início com a coleta de dados sobre as alturas pluviométricas diárias e as ocorrências de deslizamentos, ambos registrados pela Defesa Civil do município entre 19 de abril de 2012 a 31 de dezembro de 2016. O recorte de tempo adotado foi em virtude da data de início do funcionamento da rede de monitoramento da Defesa Civil municipal.

Os dados de altura pluviométrica utilizados nesse estudo se encontram disponíveis no *site* da Prefeitura Municipal de Joinville, logo tratam-se de informações de domínio público, necessitando apenas de um cadastro para se ter o acesso as planilhas. Porém as ocorrências de deslizamentos são informações com acesso restrito, pois são pertinentes ao trabalho da Defesa Civil. Em razão disso, um termo de cooperação técnica foi celebrado entre o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc) e a Secretaria de Proteção Civil e Segurança Pública (Seprot) da Prefeitura Municipal de Joinville (PMJ).

Esse acordo teve como objetivo formalizar uma cooperação entre a Universidade e a Prefeitura e assim possibilitar a realização dessa pesquisa, envolvendo a concessão de acesso ao acervo dos registros da Defesa Civil para coleta de dados, tendo como contrapartida a apresentação dos resultados obtidos ao longo do estudo à secretaria municipal mencionada anteriormente. Dessa forma, esteve garantida a autenticidade das informações utilizadas durante a pesquisa. O referido documento foi publicado no diário oficial eletrônico do município de Joinville, no dia 25 de abril de 2016.

Os dados de chuva registrados pelas estações meteorológicas foram coletados através de um *software*, denominado *LoggerNet*®, segundo a Defesa Civil de Joinville. De acordo com as informações do *site* da empresa *Campbell Scientific*® (2016), responsável pelo desenvolvimento do *software*, ele é capaz de estabelecer a comunicação e a recuperação de dados entre *dataloggers* (equipamentos que armazenam os dados) e um computador.

Nesse trabalho foram utilizadas séries históricas de chuva registradas por dez estações meteorológicas, sendo elas: Águas de Joinville, Cubatão, Estrada Sul, Flot Flux, Guanabara, Iate Club, Itaum, Jativoca, Paraíso e Unidade de Obras. A localização dessas estações pode ser visualizada na Figura 4.

Figura 4 – Localização das estações meteorológicas da Defesa Civil de Joinville.



Fonte: Adaptado de Defesa Civil de Joinville (2017).

Após acessar as planilhas de dados de cada estação, foi necessário salvá-las na extensão .csv para que pudessem ser organizadas primeiramente no *software Excel®*, e utilizadas consecutivamente no *software R®* (R CORE TEAM, 2017), sendo que todas as análises estatísticas foram realizadas nesse mesmo *software*.

Uma primeira tentativa foi realizada analisando os dados de todas as estações pertencentes a rede de monitoramento da Defesa Civil de Joinville, sendo elas Águas de Joinville, Ceasa, Cubatão, Estrada Sul, Flot Flux, Guanabara, Iate Club, Itaum, Jativoca, Paraíso e Unidade de Obras. No entanto, na planilha de dados pluviométricos constatou-se que a estação meteorológica Ceasa apresentou um longo período de dados faltantes, o que impossibilitou o *software R®* (R CORE TEAM, 2017) de dar continuidade aos cálculos para o preenchimento de dados, logo optou-se por retirar os dados dessa estação.

No *software R®* (R CORE TEAM, 2017) foi utilizado o pacote desenvolvido para a análise de dados pluviométricos *Hyfo* (YUANCHAO XU, 2017). Este pacote possui entre outras aplicações, a de preencher falhas existentes nas planilhas. Com o auxílio desse pacote foram obtidos resultados gráficos que possibilitaram a análise dos dados contidos nas planilhas.

O preenchimento de dados foi realizado com o pacote *Hyfo* (YUANCHAO XU, 2017), e conforme pode ser verificado na descrição desse comando presente no próprio *software*, o método de preenchimento se dá por meio de regressão linear, através do cálculo do coeficiente de correlação para cada par de estação.

Para a análise do resultado obtido com esse método de preenchimento de falhas, foram construídas Curvas Dupla Massa, assim como proposto por Tucci (1993). Foram gerados gráficos para cada uma das estações, sendo que para a construção de um gráfico de uma determinada estação foram calculadas as médias acumuladas anuais para as demais estações e o acumulado anual para tal estação. Esses valores foram plotados no *software R®* (R CORE TEAM, 2017) em um gráfico cartesiano, observando o valor obtido para o Coeficiente de Determinação (R^2) da equação da reta ajustada e a mudança na direção da reta que indica a relação entre esses valores.

Após a análise dos dados de precipitação, deu-se início ao inventário de deslizamentos. Para isso, buscou-se coletar a maior quantidade de informações presentes nas ocorrências registradas pela Defesa Civil de Joinville. Para padronizar as informações coletadas foi utilizado o questionário pertencente ao anexo C da NBR 11682 (ABNT, 2009) sobre estabilidade de encostas. Este questionário trata-se de um modelo de planilha para a realização de laudos de vistorias e pode ser verificado no anexo A, ao final desse trabalho.

Em todos os casos de deslizamentos não foi possível completar todos os campos do questionário mencionado, e ressalta-se que em alguns desses casos, as únicas informações registradas foram sobre a localização e a data da ocorrência. No entanto, para a maioria, as informações retiradas foram a respeito do local e seus aspectos, características específicas e data da abertura da ocorrência.

Durante a coleta de informações sobre os deslizamentos, percebeu-se casos que não foram registrados pelos agentes da Defesa Civil como deslizamento, escorregamento, movimento de massa ou qualquer outro nome que pudesse estar relacionado a esse tipo de movimento. Por causa disso, foi necessário investigar todos os registros identificados como colapso de estruturas, queda de muro, queda de rocha ou árvore, entre outros. Uma pesquisa foi feita com o corpo técnico desse órgão, e foi esclarecido que nesses casos, o nome do efeito foi levado em consideração no momento de preencher o campo sobre o tipo de ocorrência, entretanto, a origem das consequências era um movimento de massa.

Em algumas ocorrências havia o registro da requisição de um parecer técnico a ser realizado por um geólogo. Esses documentos foram arquivados pela Defesa Civil de Joinville em forma física e também digital, logo foi necessário realizar uma pesquisa nesses documentos também presentes no acervo do órgão para coletar essas informações.

Nas ocorrências que possuíam um parecer técnico realizado por um geólogo, foi possível preencher uma maior quantidade de campos do questionário. Na etapa de coleta de dados, os formulários foram preenchidos manualmente e, em seguida, organizou-se esse

material de forma cronológica crescente. As informações contidas no inventário físico foram repassadas para um banco de dados criado no *software Access*®.

Uma pesquisa sobre a existência de um plano de contingência também foi realizada junto a Defesa Civil de Joinville. O órgão apresentou o plano de contingência vigente, que conforme descrito no documento, “estabelece os procedimentos a serem adotados pelos órgãos envolvidos na resposta a emergências e desastres quando da atuação direta ou indireta em eventos relacionados a desastres naturais” (JOINVILLE, 2016, p.3).

Nesse documento foi constatado que dois dos cinco critérios para a ativação do Plano de Contingência pela Defesa Civil de Joinville estão relacionados às chuvas e aos movimentos de massa. Com essa informação, esse estudo também visou ajustar dois modelos com base no segundo e terceiro critério para a ativação do plano, descrito no documento como “quando a precipitação monitorada pela rede de monitoramento hidrometeorológica da Prefeitura Municipal de Joinville for superior ou igual a 30mm/1h, 75 mm/24h ou 100mm/72h, de acordo com as recomendações do CEMADEN” (JOINVILLE, 2016, p.2).

A partir do banco de dados criado no *software Access*® foram retiradas as localizações de cada ocorrência e se fez o georreferenciamento utilizando o *software ArcGis*® versão 10.1. Foram gerados mapas com os pontos de localização dos deslizamentos para cada ano do período em estudo, além de um mapa com todos os pontos registrados para o mesmo período.

Os mapas gerados nesse *software* utilizaram planos de informações disponíveis gratuitamente no Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas de Joinville (SIMGeo). De acordo com as informações do *site* da Prefeitura Municipal de Joinville (2017), esse sistema possui camadas de informação sobre aspectos do município, como por exemplo, divisão territorial, planejamento, meio ambiente, patrimônio histórico e cultural e Defesa Civil. A extensão utilizada durante todas as atividades que envolveram a criação dos mapas foi *.shp* (*shapefile*).

A partir de uma função específica do *software ArcGis*® versão 10.1, a qual consegue determinar a quantidade de pontos localizados no interior de uma área, verificou-se a quantidade de ocorrências registradas em cada bairro do município. Esse método foi aplicado para todos os anos do período em estudo, sendo que todos esses valores foram transformados em gráficos de barras com o propósito de auxiliar a análise desses dados.

Após analisar a localização das ocorrências, se buscou analisar também as outras informações que foram coletadas através do formulário referentes a cada ano em estudo. Os quadros que possuíam uma quantidade considerável de informações foram avaliados da mesma forma que a localização, através de gráficos de barras.

Utilizando ainda o *software ArcGis®* versão 10.1, foi gerado um mapa da área de abrangência de cada estação meteorológica. A ferramenta usada para isso se baseia no método de Thiessen para o cálculo dessas áreas, conforme descrito por Lima (2008). Optou-se por esse método, pois, segundo Lima (2008), ele não sofre influência com a distribuição desuniforme dos pluviômetros.

Com as áreas de abrangências definidas, foi determinada a quantidade de ocorrências contidas em cada uma delas para cada ano. Essas quantidades também foram verificadas a fim de investigar quais as áreas que possuíam mais e menos casos de deslizamentos.

A relação entre a precipitação e a ocorrência de deslizamento se deu através do cálculo da precipitação diária pelo método de Thiessen, como mencionado anteriormente. Os valores das áreas de contribuição obtidas com o *software ArcGis®* versão 10.1 e a planilha de altura pluviométrica já preenchida foram organizadas no *software Excel®* para a realização desse cálculo, e assim foi obtido um valor único de altura pluviométrica para cada dia. A partir desse resultado foram calculados os acumulados para 48, 72, 96, 120, 144 e 168 horas, também utilizando o *software Excel®*. O critério de analisar os acumulados de chuva até uma semana antes da abertura da ocorrência se baseou no estudo de Riekmann, Pinheiro e Tachini (2005).

Uma planilha de dados contendo os acumulados de 24, 48, 72, 96, 120, 144 e 168 horas foi organizada e salva na extensão *.csv*, para que os dados pudessem ser utilizados no *software R®* (R CORE TEAM, 2017). Nessa mesma planilha foi criada uma coluna com a informação sobre a ocorrência ou não de deslizamento para cada dia, baseando-se na mesma metodologia aplicada nos estudos de Chang e Chiang (2009, tradução nossa) e Giannechini e Galanti (2015, tradução nossa). A informação positiva, ou seja, a existência de uma ou mais ocorrências de deslizamentos no dia foi representada pelo valor 1, o contrário, a não ocorrência de deslizamento foi representado pelo valor 0.

No *software Excel®*, foram criados gráficos de dispersão para a verificação do número de dias de chuva acumulada a ser considerada no estudo, assim como foi feito por Castro (2006), porém nenhum comportamento de separação entre os pontos com registro de deslizamento e sem registro pode ser reconhecido. Por essa razão, optou-se por analisar essa quantidade por meio de um modelo de regressão logística, já que esse método possibilita a análise das variáveis significativas, segundo Bittencourt (2003) e Hair Jr. *et al.* (2009). O exposto por Chang e Chiang (2009, tradução nossa) contribuiu para a adoção desse método, pois de acordo com os autores a criação de um modelo de probabilidade apresenta a vantagem de fornecer uma medida de confiança na previsão.

A primeira etapa do ajuste foi a verificação da multicolinearidade entre as variáveis, realizada também com o *software R*® (R CORE TEAM, 2017), com uso do comando *cor*. A multicolinearidade existente entre a chuva diária e os acumulados de chuva de 48 a 168 horas, foi verificada através do método de correlação de Pearson, sendo adotado o critério de retirada das variáveis altamente correlacionadas, isto é, que apresentaram resultados acima de 0,70, o mesmo adotado por Montenegro (2009) em seu estudo.

Considerando os resultados obtidos com os testes de correlação, fez-se o ajuste de um modelo de regressão logística a partir das chuvas diária e acumulada de 168 horas como variáveis independentes, e a probabilidade de ocorrência de deslizamento como variável dependente.

Além desse modelo, também foram ajustados modelos para a estimativa da probabilidade de ocorrência de deslizamentos segundo os critérios propostos pelo CEMADEN mencionados anteriormente. Foram ajustados um modelo a partir das chuvas diárias somente, possibilitando estimar a probabilidade de ocorrência de deslizamento para o valor de 75mm/24h e um outro modelo com somente a variável chuva acumulada em 72 horas, que por sua vez estima a probabilidade de ocorrência de deslizamentos para 100 mm/72h. A estimativa da probabilidade para o critério de 30mm/1h não foi realizada, já que não foram disponibilizados dados horários de precipitação.

Para o ajuste dos modelos foi necessário separar a série de dados em uma amostra para treinamento e outra amostra para teste. Chang e Lei (2013) utilizaram a razão de 2/3 dos dados para o treinamento e 1/3 para o teste, sendo esse o critério de divisão também considerado durante esse trabalho. As amostras de treinamento e de teste foram tomadas aleatoriamente, por meio do *software R*® (R CORE TEAM, 2017).

A avaliação dos modelos foi realizada por meio dos resultados obtidos com a significância das variáveis verificada a partir de p-valor, os valores para a razão de chances, o resultado do teste de Hosmer e Lemeshow e o valor de AUC oriundo da Curva ROC.

Após o ajuste e avaliação dos modelos foi possível realizar previsões considerando as amostras de treino e teste, isto é, para cada modelo se fez duas previsões, uma com base nos dados reservados para o treinamento, e outra com os dados reservados para o teste.

Para avaliar os resultados dessas previsões, foi necessário determinar pontos de corte a serem utilizados durante a classificação dos resultados da previsão da probabilidade de ocorrência de deslizamento, com a função de criar um critério para diferenciar os resultados obtidos com o modelo, entre ocorrências e não ocorrências. Giannechini e Galanti (2015, tradução nossa) utilizaram as porcentagens de 10%, 30%, 50%, 70% e 90% como pontos de

corte em seu estudo. Nesse trabalho optou-se também por analisar não somente um valor para ponto de corte, mas quatro valores, sendo eles as porcentagens de 10%, 15%, 20% e 50% de probabilidade de ocorrência de deslizamento.

Os resultados obtidos com a classificação para cada um dos pontos de corte foram avaliados com base nos valores para acurácia, sensibilidade, especificidade, Kappa, quantidade de verdadeiros positivos e negativos e quantidade de falsos positivos e negativos. Esses resultados foram comparados com o objetivo de verificar a proximidade das previsões realizadas a partir das amostras de treinamento e teste.

3 JOINVILLE E SUAS CARACTERÍSTICAS

Joinville é um município localizado na região norte do Estado de Santa Catarina. Conhecido por sua alta pluviosidade, a temperatura média é de 22,63 °C e o clima predominante é o mesotérmico, úmido, sem estação seca conforme a classificação de Köppen, adotada pela Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville (IPPUJ, 2016). A Figura 5 mostra a localização do município de Joinville.

O município de Joinville possui área de 1124,46 km² e a altitude de sua sede em relação ao nível do mar é de 4,5 metros. Com base em terrenos cristalinos da Serra do Mar e áreas de sedimentação costeira, o relevo de Joinville apresenta escarpas da serra na região entre o Planalto Ocidental e as Planícies Costeiras. Na parte leste do município há uma região de planícies e a parte oeste se estende até os contrafortes da Serra do Mar (IPPUJ, 2016).

Figura 5 – Mapa da localização do município de Joinville.



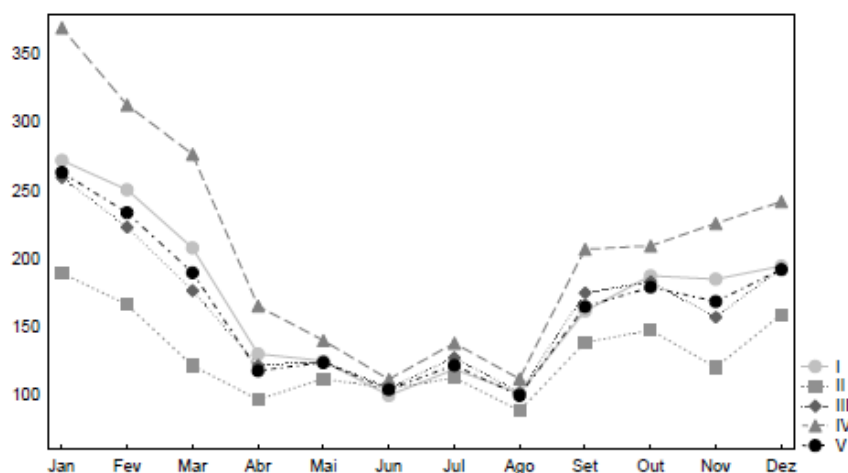
Fonte: A autora (2017).

O intemperismo ocorrido ao longo do tempo, estritamente ligado a fatores físicos e químicos, resultou em solos de origem silto-argilosos que demonstram instabilidade e são susceptíveis a erosão. A distribuição dos solos da região de Joinville é influenciada pelo relevo e se divide em Terras Altas e Terras Baixas, sendo que nas Terras Altas os solos são de origem autóctone, pois possuem forte relação com a rocha matriz, e predominância dos solos dos tipos Argissolos Amarelos, Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos. Entretanto, nas Terras Baixas, predominam os solos de origem sedimentar do Período Quaternário, sendo esses depósitos aluvionares constituídos por areias finas e grossas, cascalhos, silte, argila e material orgânico (IPPUJ, 2016).

No estudo realizado por Mello (2015) foram calculadas as médias mensais pluviométricas para cada compartimentação topográfica e também a média geral para o município de Joinville. Os resultados dos cálculos realizados pela autora mostraram que na região de planalto, a chuva média máxima é de 189,26 mm para o mês de janeiro, enquanto que na planície e serra, a média máxima para o mesmo período foi de 272,26 mm e 269,73 mm, respectivamente. A autora concluiu também que a frente da serra é o local com os maiores registros de chuva, sendo o valor máximo médio em janeiro de 370,03 mm.

Mello (2015) criou um gráfico onde é possível observar que as chuvas seguem um padrão ao longo do ano em todas compartimentações topográficas. Os meses de verão, apresentaram índices pluviométricos maiores que os meses de inverno e o gráfico criado por Mello (2015) com a apresentação dos resultados obtidos com esses cálculos pode ser visualizado na Figura 6.

Figura 6 – Comportamento dos índices pluviométricos em Joinville.



Média mensal de 1979 a 2008 nas diferentes compartimentações topográficas: I – planície; II – planalto; III – serra; IV – frente da serra; e V – média.

Fonte: Mello (2015).

Mello (2015) explica que nos meses de janeiro, fevereiro e março, foram percebidas diferenças nos valores obtidos para a média pluviométrica, sendo que essa diferença maior está entre a frente da serra (IV) e o planalto (II). Mello (2015, p.54) ainda destaca que “em janeiro, há uma diferença significativa de 180 mm de chuva, por isso, é relevante a preocupação com as diferenças na quantidade de chuva precipitada nas diferentes porções do relevo para o planejamento socioeconômico e ambiental adequado da região”.

A população de Joinville é de 546.981 habitantes, sendo que a divisão política e administrativa do município estabelece que a sua área seja dividida em três, sendo elas: a área do Distrito de Pirabeiraba, a área do Distrito da Sede e a área do Perímetro Urbano, conforme dados de IPPUJ (2016).

Nesse estudo foram tratadas somente as ocorrências de deslizamentos registradas dentro da área do Perímetro Urbano, a qual os limites constam na Lei Complementar de nº 318 de 2010 e identificada pela cor marrom na Figura 7.

Figura 7 – Mapa da divisão política e administrativa de Joinville.



Fonte: Adaptado de IPPUJ (2016).

Atualmente, Joinville possui 41 bairros e 2 zonas industriais, os quais tiveram seus respectivos limites redefinidos através da Lei Complementar nº 54, de 18 de dezembro de 1997 e as suas emendas (IPPUJ, 2016).

O início da ocupação do território que hoje compreende o município de Joinville remonta ao século XIX, “com a chegada da primeira leva de imigrantes europeus e a sua fundação como sede da Colônia Dona Francisca em 1851 (IPPUJ (2016, p.16). Quanto a

maneira em que se deu o crescimento da cidade já nas décadas mais recentes, o documento produzido pelo IPPUJ (2016, p.55) explica que

o crescimento da cidade, em termos espaciais, em todo o tempo, está diretamente vinculado à expansão da base econômico industrial, que trouxe consigo o crescimento populacional. Baseou-se na imigração oriunda principalmente do interior de Santa Catarina e do Sudoeste do Paraná.

Ainda segundo o documento produzido pelo IPPUJ (2016, p.55), “de acordo com o IBGE, na década de 50 rompeu-se o equilíbrio entre a população urbana e rural, observado desde a criação da Colônia”. No entanto, foi a partir da década de 60 que a taxa de crescimento demográfico foi muito superior as taxas de outras cidades do estado e até mesmo do país (IPPUJ, 2016).

O alto valor para a taxa de crescimento registrado durante essa década foi resultante da intensificação do processo de industrialização de Joinville. Porém, o início de uma crise econômica nesse mesmo período fez com que esses valores diminuíssem com o passar do tempo (IPPUJ, 2016). O anexo B, localizado ao final desse trabalho, ilustra o crescimento da mancha de ocupação urbana ocorrida no município de Joinville desde o ano de 1851, conforme IPPUJ (2016).

4 ANÁLISE DE DADOS

Nesse capítulo serão apresentados os resultados da análise dos dados pluviométricos registrados pelas estações meteorológicas e das informações coletadas nas ocorrências de deslizamentos, pela razão de se conhecer o seu comportamento e as suas características antes de serem relacionados.

4.1 ANÁLISE DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO

A coleta de dados sobre as alturas pluviométricas registradas pelas dez estações meteorológicas foi feita através do *site* da Prefeitura Municipal de Joinville. Após a coleta e a organização dos dados no *software Excel®*, obteve-se uma planilha conforme mostra a Figura 8. Nesta planilha foram verificadas algumas células em branco, as quais indicam dados faltantes.

Figura 8 – Parte da planilha com dados das alturas pluviométricas registradas pelas estações meteorológicas da Defesa Civil de Joinville.

Data	Aguas de Joinville	Cubatao	Estrada Sul	Flotflux	Guanabara	IateClub	Itaum	Jativoca	Paraíso	Unidade de obras
19/04/2012	0	0	0	0	0	0	0	0		3,835
20/04/2012	0	0	0	0	0	0	0	0		0
21/04/2012	0	0,46	0	0	0	0	0	0	0,23	0
22/04/2012	3,429	5,26	2,515	2,286	2,743	3,2	2,972	2,743		3,429
23/04/2012	0,229	0,23	0	0	0,914	0,229	0,229	0	0,23	1,6
24/04/2012	0,457	0	0,686	0,457	0,229	0,457	0,457	0,686		0,686
25/04/2012	0	0,46	0,229	0,457	0	0	0	0,457		0
26/04/2012	12,12	11,66	12,34	13,49	12,57	11,2	13,26	12,8		13,03
27/04/2012	93,5	113,2	113,4	102,7	108,7	92,6	116,6	126,8	100,1	78,78
28/04/2012	0,229	0,91	0,229	0,229	0	0,229	0,229	0,229	1,83	0
29/04/2012	34,92	39,01	34,37	41,22	37,49	34,01	42,9	35,13	34,92	
30/04/2012	0	0	0,229	0	0	0	0	0	0,23	0
01/05/2012	0	0	0	0	0	0	0	0		0
02/05/2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03/05/2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04/05/2012	0,914	2,52	0,914	2,743	0,914	1,143	1,372	0,914		0,914
05/05/2012	0,914	7,09	2,057	1,372	0,914	0,914	0,914	0,914	2,06	
06/05/2012	13,26	8,76	6,858	18,06	8,23	11,43	13,72	6,883		4,77
07/05/2012	0	0	0	0	0	0	0,229	0		0
08/05/2012	0	0,23	0	0	0	0	0	0,457		0

Fonte: A autora (2017).

A altura pluviométrica coletada em um dia, conforme relatado pela Defesa Civil de Joinville, é a soma de todos os registros feitos nesse dia. Esses valores são acumulados e anotados pelo equipamento às 00:00 do dia seguinte, ou seja, a altura pluviométrica de um determinado dia é coletada no primeiro instante do próximo dia.

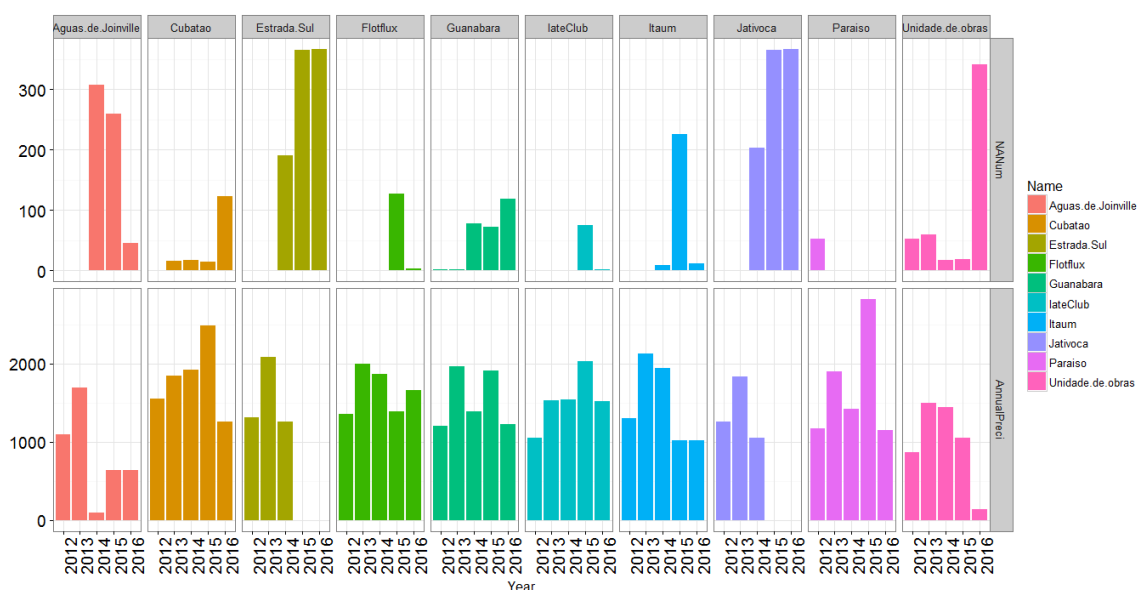
Um valor muito observado na planilha de dados foi 0,229, e conforme relatado pela Defesa Civil de Joinville, este valor se repete por ser correspondente ao preenchimento de

apenas uma báscula do pluviômetro. Então, quando se tem uma chuva pouco significativa a água se acumula na báscula e o equipamento marca somente um movimento de queda da báscula durante todo um dia.

Com os dados organizados e salvos em uma planilha com extensão .csv, foi possível carregá-los no *software R*® (R CORE TEAM, 2017), já que este programa possui pacotes específicos para o tratamento de dados pluviométricos. Primeiramente foram analisados os dados utilizando o pacote *Hyfo* (YUANCHAO XU, 2017). Um dos primeiros gráficos construídos mostrou, na parte superior, a quantidade de dias com dados faltantes, e na parte inferior, o acumulado de chuva por ano em cada uma das estações. A sequência de estações mostrada no gráfico abaixo, da esquerda para direita,  primeiramente a estação águas de Joinville, e então a estação Cubatão, Estrada Sul, FlotFlux, Guanabara, IateClub, Itaum, Jativoca, Paraiso e por último a estação Unidades de Obras.

Através desse gráfico foi possível verificar que as estações Jativoca e Estrada Sul são as com maior ausência de dados em suas planilhas, e que o período maior sem informações para essas duas estações foram os anos de 2015 e 2016. Outras estações que apresentaram períodos longos sem registros foram as estações águas de Joinville e Unidades de Obras. Diferentemente, as estações Cubatão, FlotFlux, Iate Club e Paraiso apresentaram poucos períodos com falta de registros.

Figura 9 – Dados faltantes e acumulados de chuva por ano em cada estação.



Fonte: A autora (2017).

Segundo a Defesa Civil de Joinville, o principal motivo dessas interrupções  a falta de um programa de manutenção da rede de monitoramento. Conforme foi relatado, esta rede estaria completando cinco anos de funcionamento, e as peças para reposição em estoque já

acabaram. Um problema enfrentado pelo órgão e que dificulta a licitação de novas peças é o fato de que os instrumentos são exclusivos de uma determinada marca, o que causa um entrave no processo licitatório. Outra duas causas também levantadas foram o vandalismo que algumas estações sofreram, o que fez com que as estações parassem os registros por algum tempo, e também os problemas com a estação repetidora, que por duas vezes foi derrubada devido a temporais ocorridos na região. Durante essa entrevista foi enfatizado a necessidade de haver um programa que previna e corrija esses problemas, com o objetivo de melhorar a qualidade desses dados.

Informações sobre a quantidade de dados coletados por ano em cada estação foram obtidas também com o pacote *Hyfo* (YUANCHAO XU, 2017), e para facilitar a compreensão optou-se por mostrá-los em forma de tabela. Na tabela 10 podem ser visualizadas as quantidades de dados registrados pelas estações em cada ano, na qual os nomes das estações foram abreviados para AJ (Águas de Joinville), CB (Cubatão), ES (Estrada Sul), FF (FlotFlux), GN (Guanabara), IC (IateClub), IM (Itaum), JV (Jativoca), PR (Paraíso) e UO (Unidade de Obras).

Considerando que os anos de 2012 e 2016 foram bissextos e, por esse motivo, todas as estações registrariam um dado a mais, a quantidade total de dados para o conjunto de dados desses anos deveria ter sido dez unidades superior que a quantidade registrada para os outros anos. Porém, viu-se que os anos de 2013 e 2014 coletaram uma quantidade maior de dados, além das dez unidades a menos que esses outros anos deveriam apresentar. A quantidade de dados coletados no ano de 2012 foi menor que os outros, pois a coleta teve início no dia 19 de abril. O ano com a maior quantidade de dados coletados foi 2013, e o ano com a menor quantidade foi 2015.

Tabela 10 – Quantidade de dados coletados por ano em cada estação meteorológica.

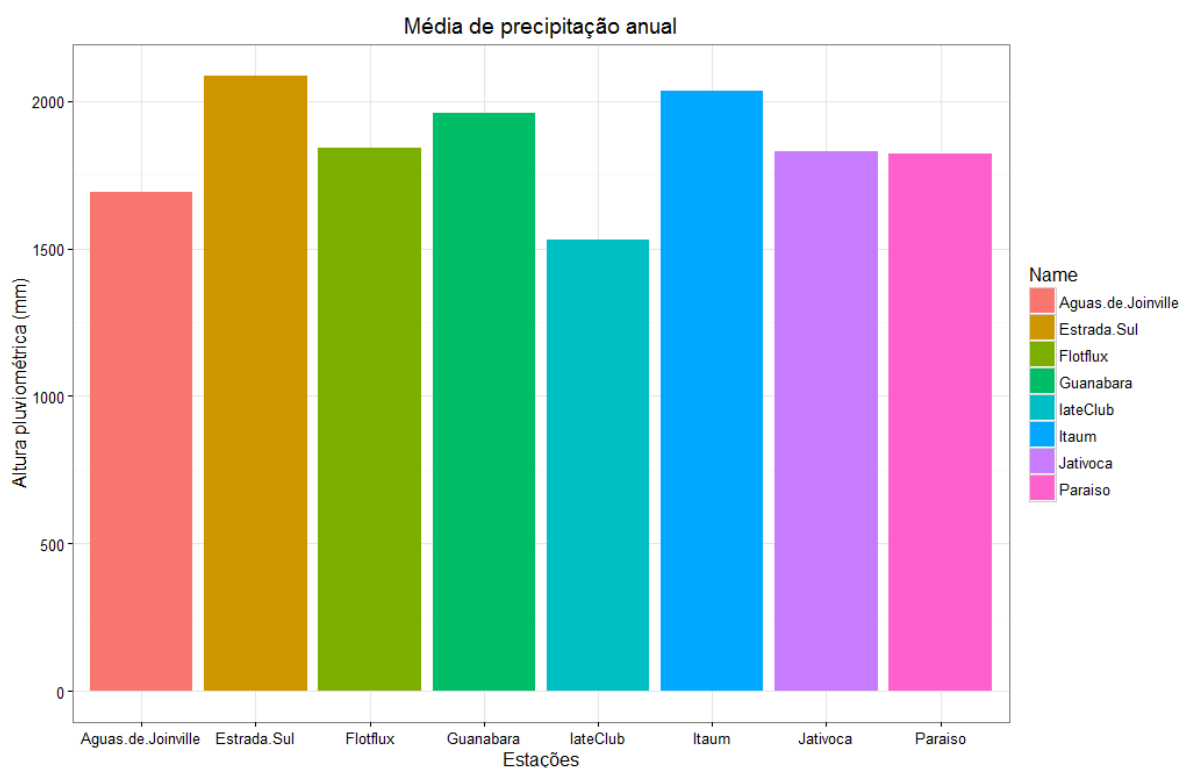
ESTAÇÃO	2012	2013	2014	2015	2016
AJ	257	365	58	105	321
CB	257	350	348	351	243
ES	257	365	175	0	0
FF	257	365	365	238	363
GN	256	364	287	293	247
IC	257	365	365	290	365
IM	257	365	356	140	354
JV	257	365	162	0	0

PR	204	365	365	365	366
UO	204	306	348	347	25
TOTAL	2463	3575	2829	2129	2284

Fonte: A autora (2017).

O segundo gráfico obtido com o pacote *Hyfo* (YUANCHAO XU, 2017) mostra a altura pluviométrica anual média calculada a partir dos dados existentes nas planilhas de cada estação. Nele foi possível verificar que as estações Estrada Sul, Guanabara e Itaum são as que marcaram maiores valores, no entanto, a estação Iate Club foi a que obteve o menor valor. As médias das estações Cubatão e Unidade de Obras não apareceram no gráfico abaixo pois essas estações possuem uma quantidade de dados faltantes que impossibilitou o *software* de calcular as suas médias anuais de precipitação.

Figura 10 – Média anual de precipitação para o período de 2012 a 2016, em Joinville.

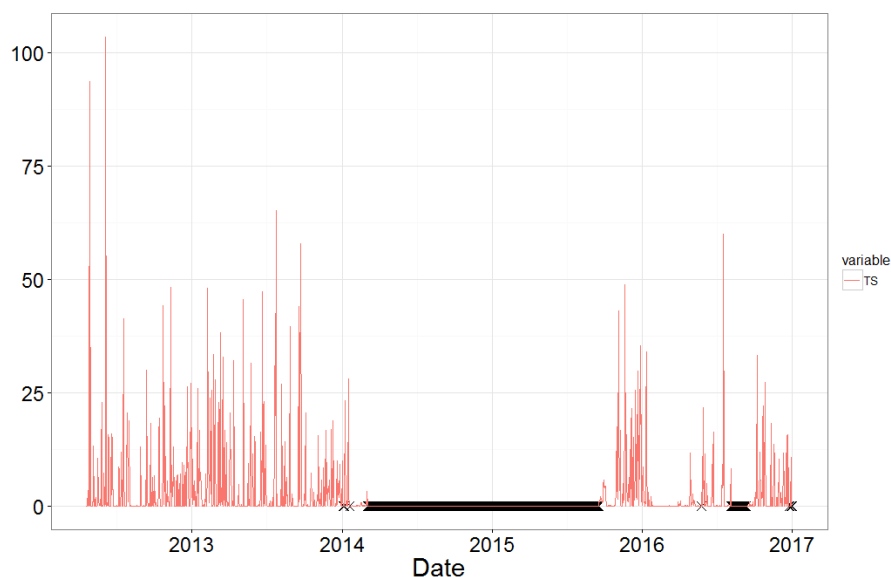


Fonte: A autora (2017).

Com esse mesmo pacote foram construídos gráficos que mostram a altura pluviométrica registrada por dia. Os sinais destacados em preto significam dados faltantes, que se alinham quando a estação permaneceu por um longo período sem registros. A figura 11 mostra as alturas pluviométricas registradas pela estação Águas de Joinville, ao longo de todos os dias de seu funcionamento.

Índices maiores para a altura pluviométrica foram registrados no início do funcionamento da estação Águas de Joinville, se comparados com todos os outros registros realizados ao longo do período. Entre o início de 2014 e final de 2015 houve um período considerável sem registros.

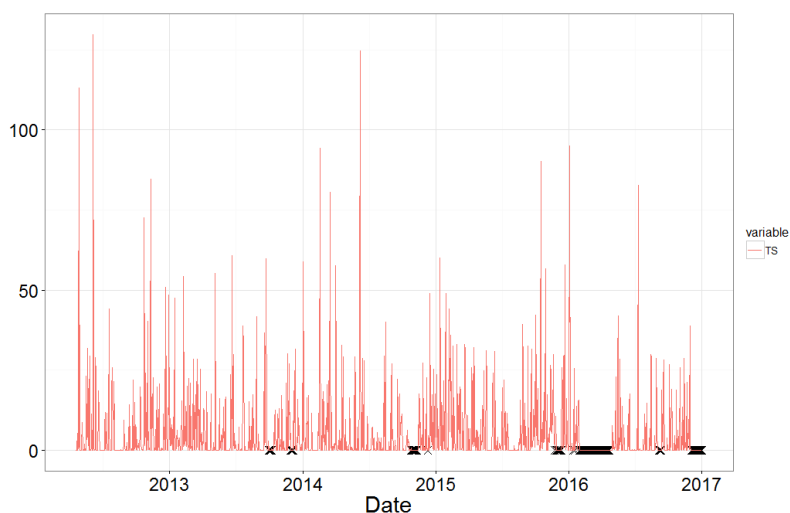
Figura 11 – Alturas pluviométricas diárias registradas pela estação Águas de Joinville.



Fonte: A autora (2017).

Alturas pluviométricas maiores no início do funcionamento também foram registradas para a estação Cubatão. O ano de 2016 foi o que mais concentrou dias sem registros, conforme mostra a Figura 12.

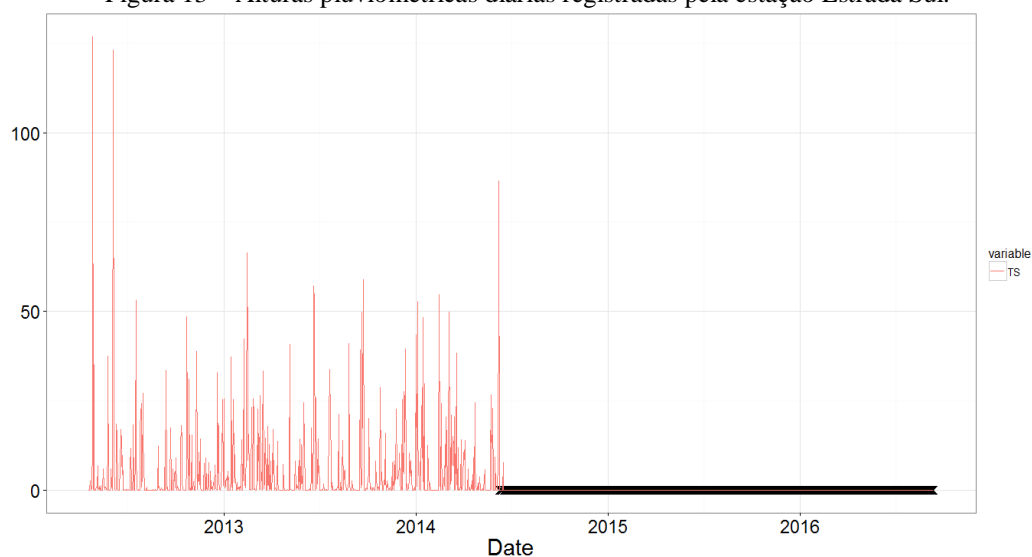
Figura 12 – Alturas pluviométricas diárias registradas pela estação Cubatão.



Fonte: A autora (2017).

Próximo ao segundo semestre de 2014, a estação Estrada Sul começou a apresentar falhas de registro, que perduraram até o final do período em estudo. Na Figura 13 é possível verificar a ausência de registros com início em 2014.

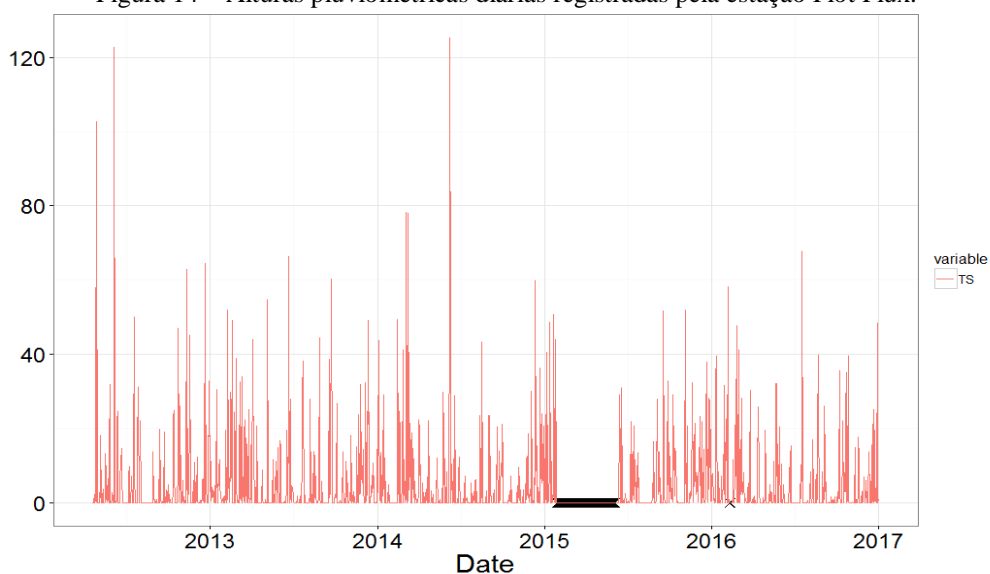
Figura 13 – Alturas pluviométricas diárias registradas pela estação Estrada Sul.



Fonte: A autora (2017).

A maioria dos registros de precipitação diária da estação Flot Flux ficou abaixo de 80 milímetros. Um intervalo sem registros pode ser verificado no início de 2015 através da Figura 14.

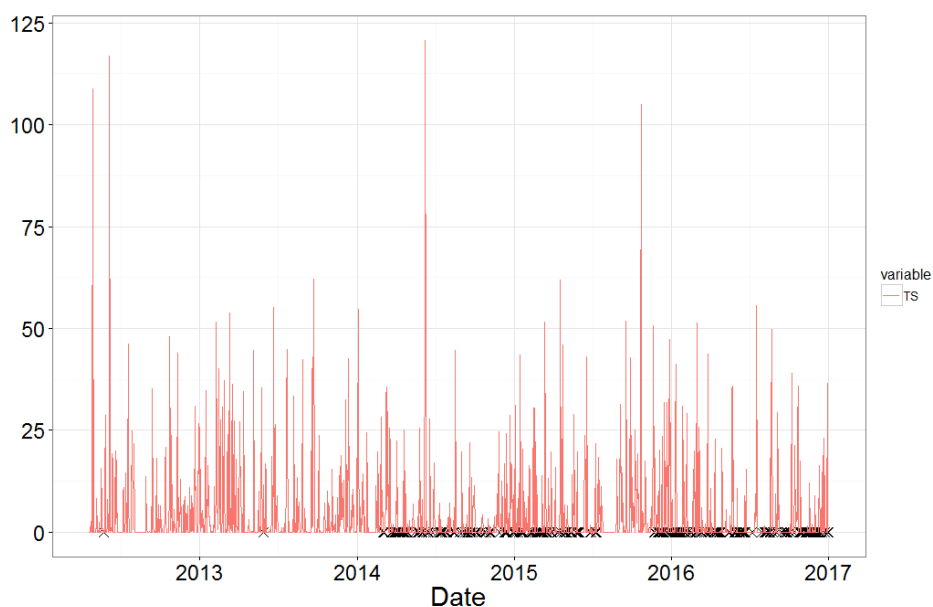
Figura 14 – Alturas pluviométricas diárias registradas pela estação Flot Flux.



Fonte: A autora (2017).

Na estação Guanabara, conforme mostra a Figura 15, pode-se visualizar que a partir do ano de 2014, muitos dias ficaram sem registro de dados, porém diferentemente das estações mostradas acima, percebe-se uma característica de alternância de períodos curtos de coleta e falha.

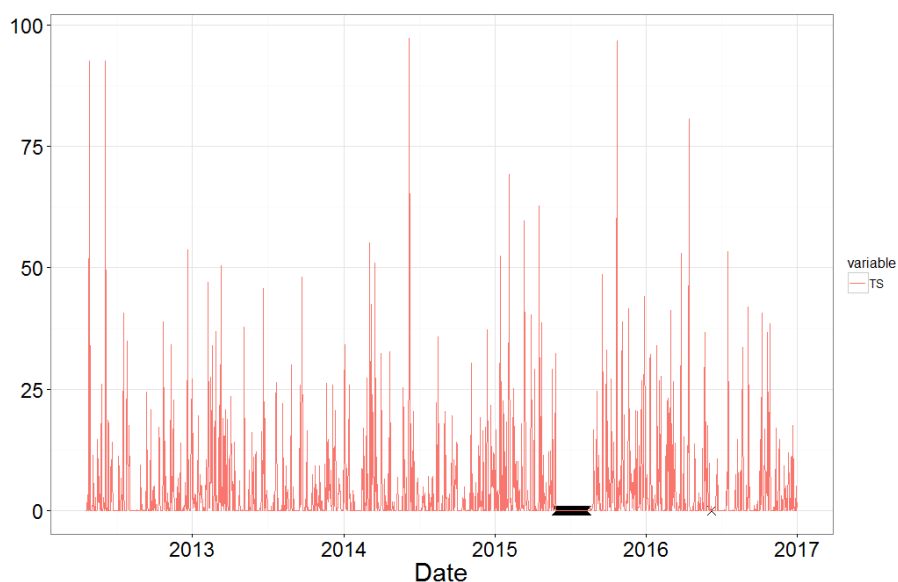
Figura 15 – Alturas pluviométricas diárias registradas pela estação Guanabara.



Fonte: A autora (2017).

Valores maiores que 100 milímetros não foram registrados pela estação IateClub, sendo que apenas no ano de 2015 é que houve um intervalo de tempo sem coleta de dados.

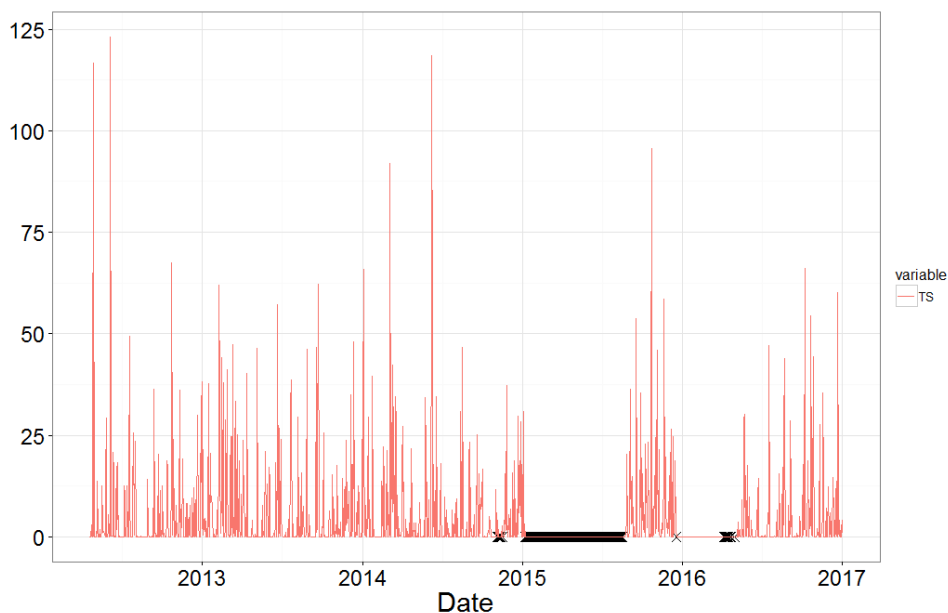
Figura 16 – Alturas pluviométricas diárias registradas pela estação IateClub.



Fonte: A autora (2017).

A estação Itaum apresentou um período sem coleta de dados maior do que da estação IateClub no ano de 2015. Nesse gráfico, pode-se verificar que no início do 2016 houve muitos registros de altura pluviométrica diária nula, e após isso, um período curto sem registros.

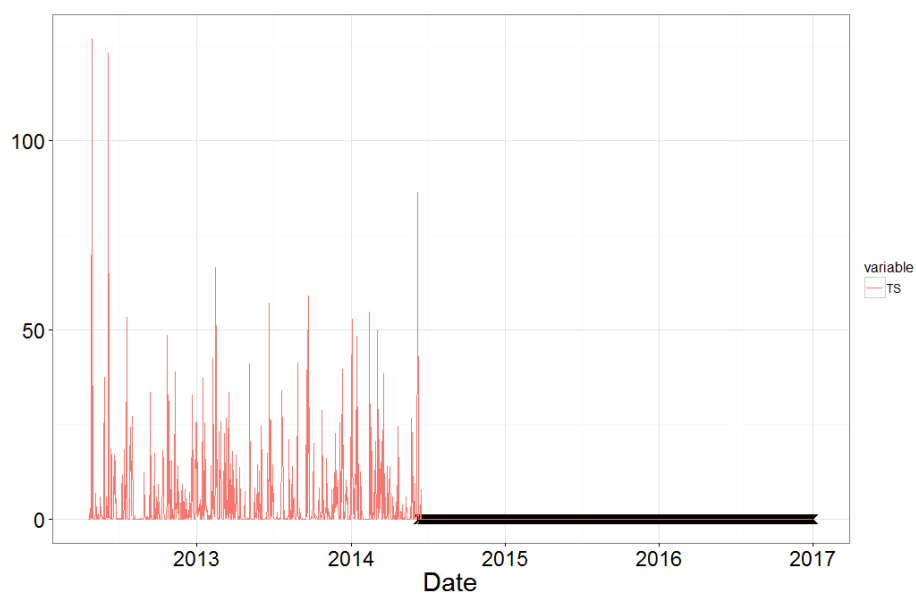
Figura 17 – Alturas pluviométricas diárias registradas pela estação Itaum.



Fonte: A autora (2017).

Um período longo sem coleta de dados foi verificado na estação Jativoca, que teve início no ano de 2014 e se estendeu até o fim do período em estudo.

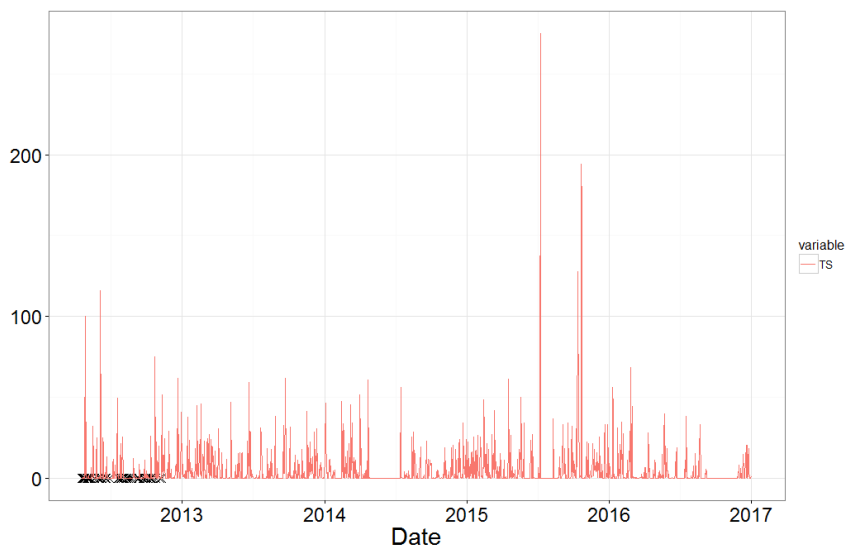
Figura 18 – Alturas pluviométricas diárias registradas pela estação Jativoca.



Fonte: A autora (2017).

Diferentemente das estações já citadas, a estação Paraíso apresentou falhas na coleta de dados no início do seu funcionamento, porém a partir do ano de 2013, essa estação coletou dados diários de forma contínua.

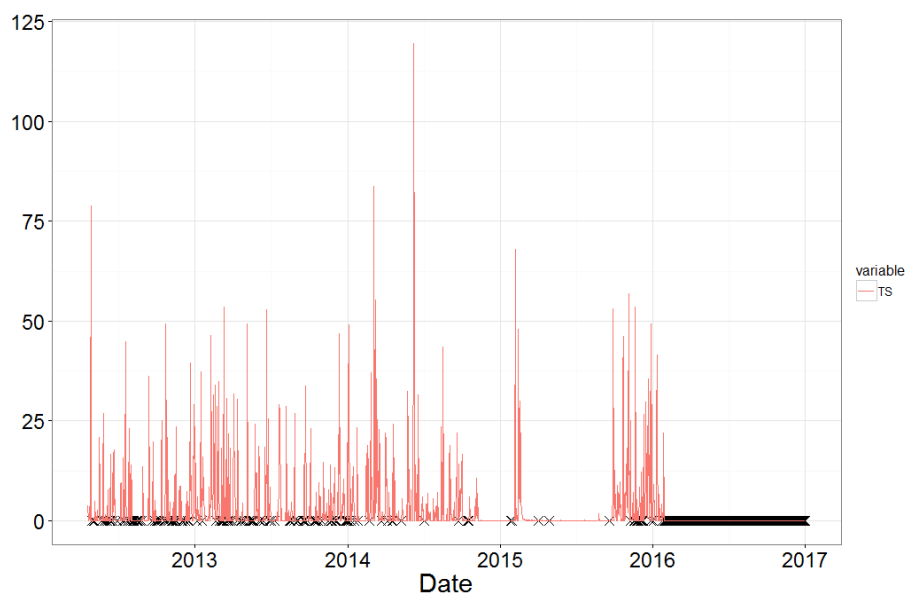
Figura 19 – Alturas pluviométricas diárias registradas pela estação Paraíso.



Fonte: A autora (2017).

Problemas com a coleta de dados também foram constatados na estação Unidades de Obras, tanto que por um longo período houve a alternância entre dias sem e com coleta, entretanto no ano de 2016, essa estação não coletou nenhum dado.

Figura 20 – Alturas pluviométricas diárias registradas pela estação Unidade de Obras.

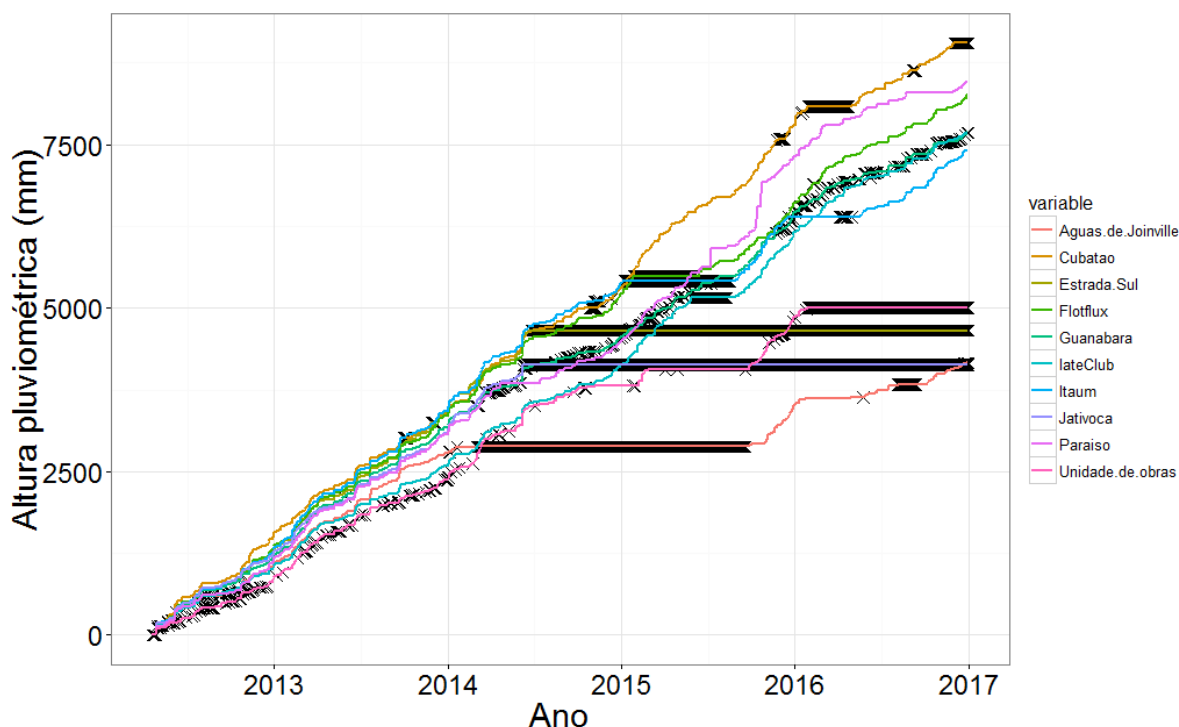


Fonte: A autora (2017).

Ainda utilizando o pacote *Hyfo* (YUANCHAO XU, 2017), foi obtido um gráfico que mostra o acumulado de chuvas durante todo o período em estudo. A Figura 21 mostra o acumulado de chuvas desde o dia 19 de abril de 2012 até 31 de dezembro de 2016. Nesse gráfico também foi verificado que os sinais em preto significavam os dados faltantes, e se a estação ficou muito tempo sem registro, isso fez com que os sinais ficassem alinhados.

Nesse gráfico foi verificado que até o ano de 2014, algumas estações coletavam dados de forma contínua, e outras apresentavam uma alternância entre períodos sem e com coleta de dados diários, mas sem apresentar períodos de falhas contínuas. A partir de 2014 é que a maioria das estações apresentou problemas com a coleta de dados, tanto que duas delas, Estrada Sul e Jativoca, não coletaram dados até o final do período em estudo. Uma das consequências da falta de coleta de dados é que as curvas obtidas para os acumulados de chuva permaneceram estacionadas, razão pela qual elas se encontraram abaixo das curvas das estações que continuaram a coleta.

Figura 21 – Alturas pluviométricas acumuladas por cada estação ao longo do período em estudo.



Fonte: A autora (2017).

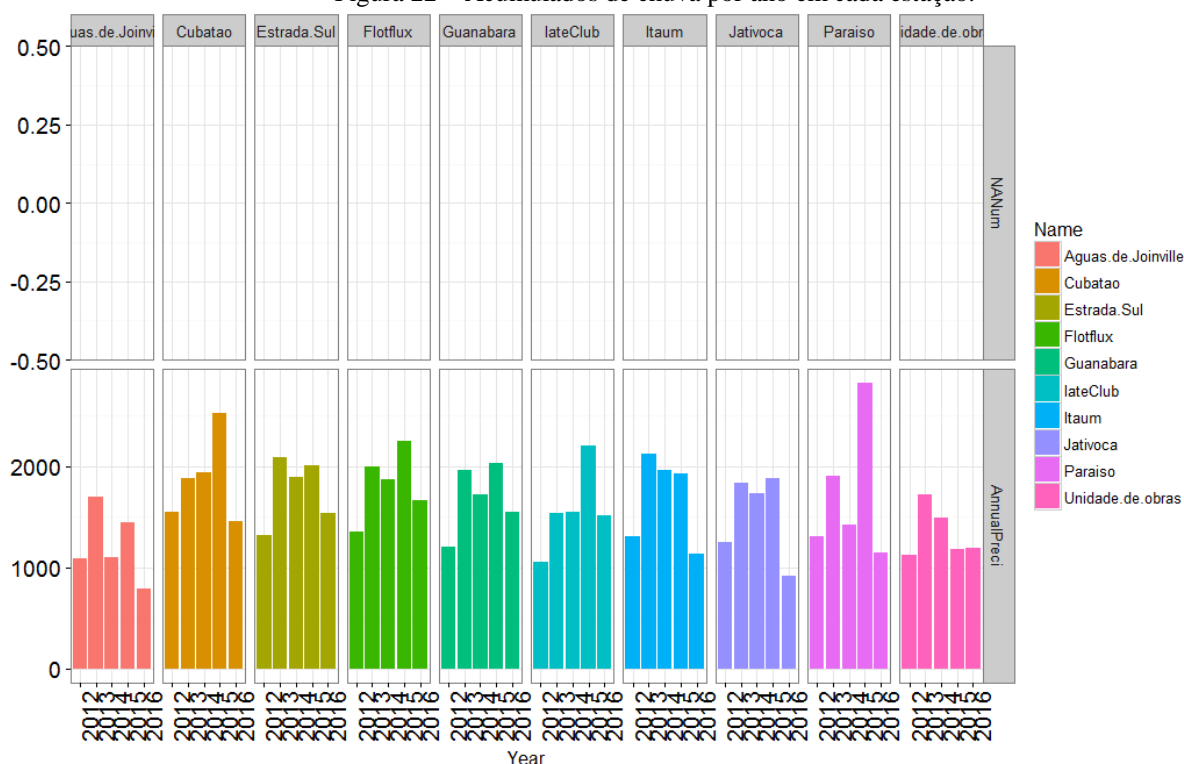
Como um dos objetivos dessa pesquisa foi analisar os dados pluviométricos, se fez necessário preencher os dados faltantes das planilhas de registros pluviométricos. O preenchimento foi realizado com auxílio do pacote *Hyfo* (YUANCHAO XU, 2017) do *software*

R® (R CORE TEAM, 2017). O comando *fillgap* tem base na correlação e regressão linear entre duas estações meteorológicas.

Novos gráficos foram gerados, mas dessa vez sem apresentar a descontinuidade oriunda da falta de dados. Um novo gráfico para o acumulado de chuva anual foi obtido, e através dele foi possível verificar a inexistência de registros na parte de cima, referente a quantidade de dados faltantes. Isso mostrou que todas as lacunas em branco foram preenchidas. Na parte inferior, onde antes ficavam faltando algumas barras, agora viu-se que há um determinado valor para o acumulado de chuva anual para cada estação.

O maior valor para o acumulado de chuvas anual foi obtido no ano de 2015 na estação Paraíso. Os menores valores para o acumulado anual foram obtidos nas estações Águas de Joinville e Unidades de Obras. A Figura 22 mostra os resultados alcançados com este método preenchimento.

Figura 22 – Acumulados de chuva por ano em cada estação.



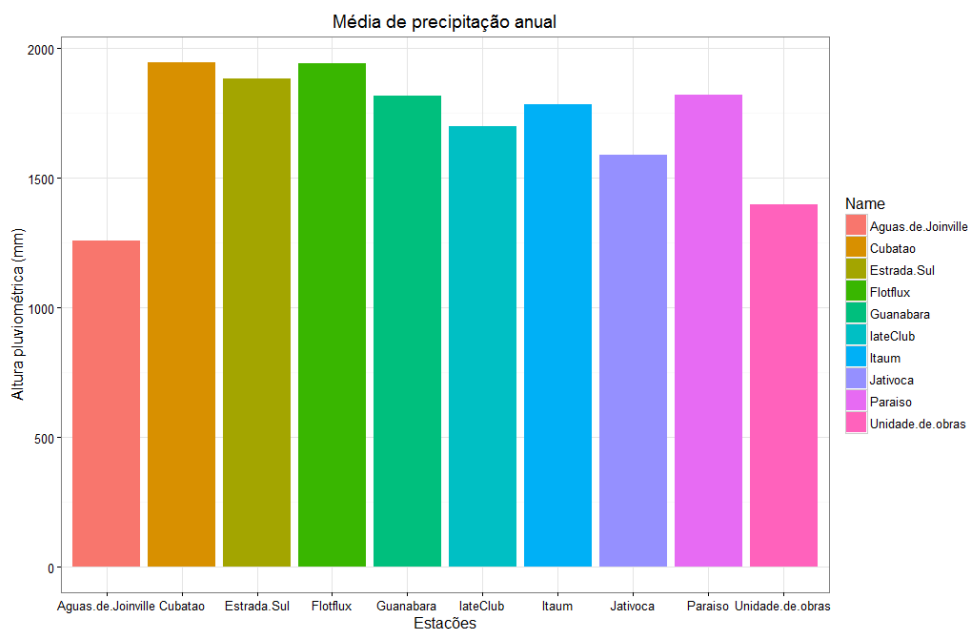
Fonte: A autora (2017).

Novos valores para a média anual de precipitação foram obtidos após o preenchimento. Comparando com o gráfico sobre a média anual mostrado anteriormente, pode-se perceber que agora todas as estações possuem um determinado valor para esse índice, o que antes não era possível, devido a quantidade considerável de dados faltantes.

Algumas diferenças entre os valores determinados para a média anual foram constatadas. A estação Águas de Joinville que antes tinha uma média superior a 1500 mm, após

o preenchimento ficou com esse valor inferior a 1500 mm. As estações Cubatão e FlotFlux obtiveram as maiores médias após o preenchimento, sendo que antes a estação Cubatão não foi representada no gráfico e a estação FlotFlux não era a maior média anual. A maior média pertencia a estação Estrada Sul, porém com o preenchimento de falhas ela ficou na terceira colocação, se comparados os valores de forma decrescente. A estação Guanabara obteve valores próximos para a média antes e depois do preenchimento. O valor para o índice aumentou para a estação IateClub, pois antes era um pouco superior a 1500 mm. A estação Itaum que antes era a segunda estação com maior média anual, após o preenchimento ficou abaixo dos valores obtidos para as estações Cubatão, FlotFlux, Estrada Sul, Paraíso e Guanabara. A estação Jativoca permaneceu com a média superior a 1500 mm anuais. Já a estação Paraíso que antes possuía uma média um pouco inferior à média anual da estação Jativoca, após o preenchimento ficou com uma média superior que a estação Jativoca. E por fim, a estação Unidades de Obras obteve média anual inferior a 1500 mm.

Figura 23 – Média anual de precipitação para o período de 2012 a 2016, após o preenchimento de falhas.



Fonte: A autora (2017).

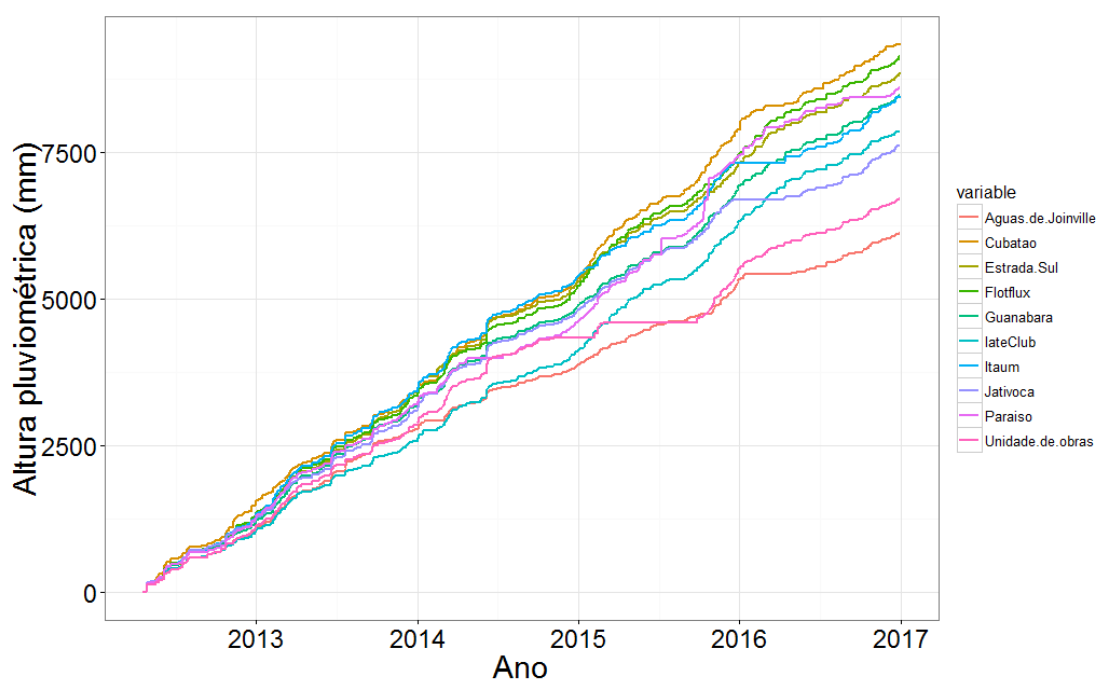
Mello e Oliveira (2016) realizaram um estudo sobre a distribuição pluviométrica no município de Joinville, e após as análises concluíram que os maiores valores anuais e mensais se concentram na região norte, próximo ao município Garuva, Serra do Quiriri e zona rural de Pirabeiraba, o que se aproxima do resultado obtido, já que a estação Cubatão apresentou uma das maiores médias. Os menores valores, segundo as autoras, ocorreram na região do planalto e zona sul de Joinville.

Um gráfico novo para o acumulado de chuva também foi gerado, sendo que dessa vez foi verificado que não houve nenhum ponto com falta de dado. Como antes havia algumas estações com valores acumulados estacionados devido à falta de coleta de dados, algumas curvas ficaram distantes das outras, porém após o preenchimento percebeu-se que elas se mantiveram próximas. Com esse gráfico foi possível identificar períodos em que as curvas apresentaram um salto, o que indica que as chuvas nesses dias foram intensas, pois houve um acréscimo considerável nos valores.

Analisando detalhadamente a Figura 24, mostrada a seguir, verificou-se que o primeiro salto de valores para o acumulado de chuvas, levando em consideração todas as estações, ocorreu próximo a metade do ano de 2013, o segundo ocorreu no início do quarto trimestre de 2013 e o terceiro próximo a metade do ano de 2014. Esses foram os saltos mais visíveis no gráfico de precipitação acumulada, pois todas as estações apresentaram o mesmo comportamento juntas. Saltos nas curvas do gráfico para determinadas estações também puderam ser percebidos, como foi o caso da estação Paraíso no segundo semestre do ano de 2015.

Nesse gráfico também foi verificada a existência de períodos de altura pluviométrica constante. Os patamares maiores indicam que o resultado obtido com o preenchimento de falhas para esses períodos mostrou uma altura pluviométrica nula, por isso não houve modificação no valor acumulado.

Figura 24 – Alturas pluviométricas acumuladas por cada estação ao longo do período em estudo, após o preenchimento de falhas.



Fonte: A autora (2017).

Com o objetivo de analisar a diferença entre os resultados obtidos antes e após o preenchimento não só utilizando o método gráfico, foram gerados os resumos numéricos dos dois conjuntos de dados. A tabela 11 mostra os resultados do resumo numérico obtido antes do preenchimento, e consecutivamente, a tabela 12 mostra os resultados obtidos após o preenchimento.

Após o preenchimento alguns resultados permaneceram iguais, como os valores para mínimo, primeiro quartil e máximo. Entretanto, houve valores que diminuíram ou aumentaram, como o caso das estações Cubatão, Estrada Sul, IateClub, Itaum e Jativoca, em que os valores para mediana foram mantidos, porém os valores para média, terceiro quartil e desvio padrão diminuíram. As estações Águas de Joinville e Guanabara também apresentaram valores menores para a média, terceiro quartil e desvio padrão, mas diferentemente das já citadas, apresentaram valores menores para mediana. A estação Unidade de Obras apresentou um valor menor para a média e desvio padrão, porém apresentou um valor maior para o terceiro quartil. A estação FlotFlux foi a única em que a mediana permaneceu igual e com valores maiores para média, terceiro quartil e desvio padrão.

Tabela 11 – Resumo numérico obtido sem o preenchimento de falhas.

Estação	Mínimo	1ºquartil	Mediana	Média	3ºquartil	Máximo	Desvio padrão
AJ	0,000	0,000	0,2290	3,7620	2,9280	103,3000	9,0681
CB	0,000	0,000	0,4600	5,8440	6,1700	129,7000	12,1981
ES	0,000	0,000	0,2290	5,8410	5,2580	120,3000	13,4932
FF	0,000	0,000	0,2290	5,2010	4,5720	125,2000	11,4465
GN	0,000	0,000	0,2290	5,3120	5,0290	120,6000	11,4766
IC	0,000	0,000	0,2290	4,6720	4,3620	97,2000	10,1964
IM	0,000	0,000	0,2290	5,0370	4,1150	123,0000	11,6904
JV	0,000	0,000	0,2290	5,2700	4,5720	126,8000	12,0262
PR	0,000	0,000	0,2300	5,0810	4,1200	274,8000	14,1305
UO	0,000	0,000	0,0000	4,0660	2,5150	119,4000	10,1746

Fonte: A autora (2017).

Tabela 12 – Resumo numérico obtido com o preenchimento de falhas.

Estação	Min.	1ºquartil	Mediana	Média	3ºquartil	Máx.	Desvio padrão
AJ	0,000	0,000	0,1510	3,5610	2,8690	103,3000	8,4324
CB	0,000	0,000	0,4600	5,4360	5,2600	129,7000	11,6956
ES	0,000	0,000	0,2290	5,1480	4,9980	120,3000	11,3796
FF	0,000	0,000	0,2290	5,3110	4,8010	125,2000	11,5562
GN	0,000	0,000	0,2210	4,9310	4,3430	120,6000	11,1606
IC	0,000	0,000	0,2290	4,5680	4,1600	97,2000	10,0334
IM	0,000	0,000	0,2290	4,9150	4,0000	123,0000	11,4885
JV	0,000	0,000	0,2290	4,4280	3,6580	126,8000	10,2348
PR	0,000	0,000	0,2290	4,9990	4,0900	274,8000	13,9450
UO	0,000	0,000	0,0000	3,9080	2,7160	119,4000	9,5713

Fonte: A autora (2017).

Os resultados para os acumulados de chuva por ano em cada estação também foram comparados, com o objetivo de verificar o comportamento dos valores obtidos após o preenchimento.

Como o método utilizado para o preenchimento de falhas calculou um valor para uma lacuna que antes estava nula, os valores dos acumulados após a sua aplicação foram maiores. Comparando as duas tabelas, percebeu-se que os anos em que houve uma maior quantidade de dados iguais foram os anos de 2012 e 2013, pois os acumulados permaneceram iguais. Consequentemente os anos de 2014, 2015 e 2016 foram os que apresentaram uma maior quantidade de dados calculados através do método de preenchimento, o que fez com que a maioria desses valores aumentasse.

Tabela 13 – Acumulados anuais obtidos sem o preenchimento de falhas.

ESTAÇÃO	2012	2013	2014	2015	2016
AJ	1089,473	1691,755	99,582	639,556	640,298
CB	1549,690	1848,950	1915,990	2483,540	1243,762
ES	1314,365	2086,874	1253,665	0,000	0,000
FF	1353,026	1992,272	1865,539	1389,633	1659,176
GN	1207,477	1958,681	1386,720	1905,871	1227,115

IC	1051,789	1532,357	1542,380	2030,832	1514,499
IM	1304,377	2124,311	1945,870	1017,993	1021,665
JV	1253,859	1830,539	1047,660	0,000	0,000
PR	1173,910	1899,900	1418,560	2820,520	1147,618
UO	871,427	1501,078	1441,492	1046,392	141,305

Fonte: A autora (2017).

Tabela 14 – Acumulados anuais obtidos com o preenchimento de falhas.

ESTAÇÃO	2012	2013	2014	2015	2016
AJ	1089,473	1691,755	1101,739	1447,108	788,102
CB	1549,690	1877,038	1935,004	2525,373	1452,450
ES	1314,365	2086,874	1891,925	2010,184	1540,427
FF	1353,026	1992,272	1865,539	2253,970	1659,410
GN	1208,089	1964,185	1716,503	2033,780	1548,553
IC	1051,789	1532,357	1542,380	2202,371	1518,080
IM	1304,377	2124,311	1964,230	1922,045	1128,174
JV	1253,854	1830,539	1728,131	1878,177	916,855
PR	1302,313	1899,900	1418,560	2820,520	1147,618
UO	1117,429	1724,791	1494,221	1181,508	1196,406

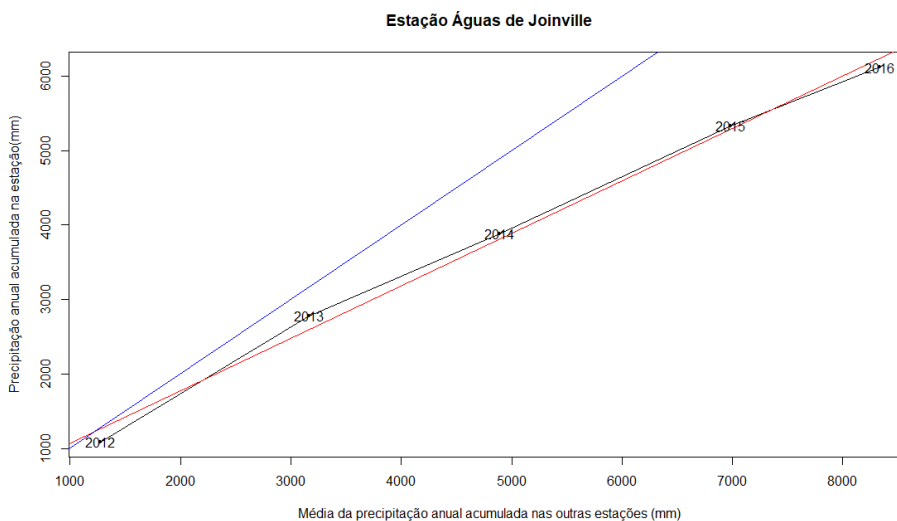
Fonte: A autora (2017).

Os resultados obtidos com esse método de preenchimento também foram analisados através do método da Curva Dupla Massa, com o propósito de verificar o comportamento dos dados preenchidos. Para a construção dos gráficos com a Curva Dupla Massa, foram utilizados os valores para os acumulados anuais mostrados na tabela 14. O valor acumulado para uma determinada estação foi plotado no eixo das ordenadas, e a média dos outros nove valores acumulados pelas outras estações foram plotados no eixo das abcissas. Uma reta com inclinação de 45° e de cor azul foi inserida no gráfico para facilitar a interpretação da reta obtida com os dados de precipitação acumulada, pois dessa forma pode-se comparar a inclinação e visualizar os pontos de mudança na direção e a distância entre elas. Além disso, também foram obtidos os Coeficientes de Determinação (R^2) referentes a cada equação de reta ajustada, sendo ela identificada com a cor vermelha, em todos os gráficos.

A estação Águas de Joinville foi a primeira a ser analisada, e o gráfico da Curva Dupla Massa gerado mostrou que para o início do período em estudo, os acumulados estavam mais

próximos da reta com inclinação de 45° . Uma mudança considerável na inclinação pode ser percebida após o término de 2013, conforme mostra a Figura 25. O Coeficiente de Determinação (R^2) da equação da reta, denominado no *software R*® (R CORE TEAM, 2017) como *Multiple R-squared* foi de 0,9947.

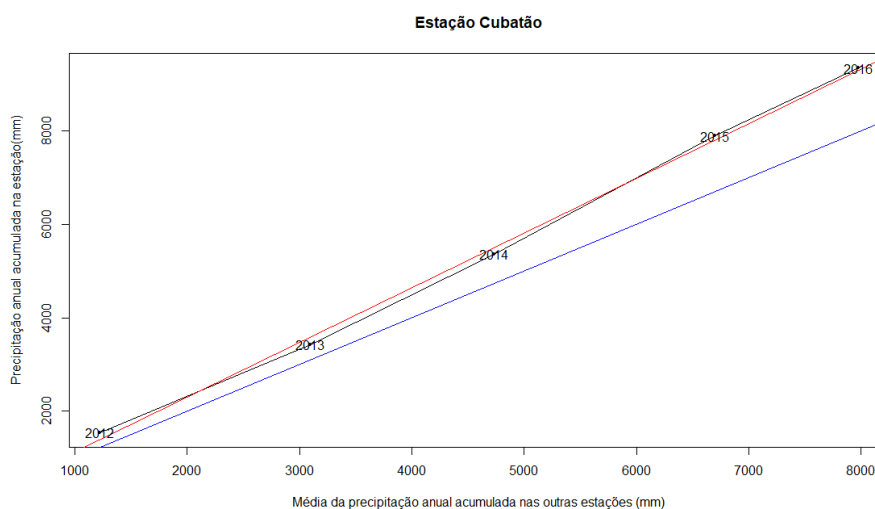
Figura 25 – Análise de consistência dos dados da estação Águas de Joinville.



Fonte: A autora (2017).

A segunda estação a ter seus dados analisados após o preenchimento foi a estação Cubatão. A Figura 26 mostrou retas com inclinação mais próxima a 45° do que a reta resultante da análise dos dados da estação Águas de Joinville, além dessa reta estar acima da reta com 45° . O valor referente ao Coeficiente de Determinação (R^2) da equação da reta foi de 0,9981.

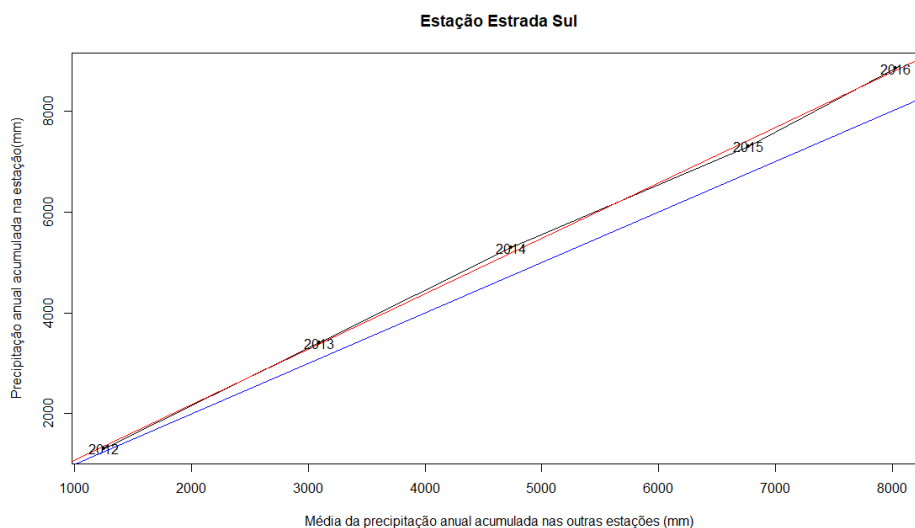
Figura 26 – Análise de consistência dos dados da estação Cubatão.



Fonte: A autora (2017).

A Figura 27, resultante da análise de consistência dos dados da estação Estrada Sul também mostrou retas próximas a reta com inclinação de 45° , um pouco mais próxima do que a última estação, e localizadas acima dela. O Coeficiente de Determinação (R^2) da equação da reta obtida para a estação Estrada Sul foi de 0,9992.

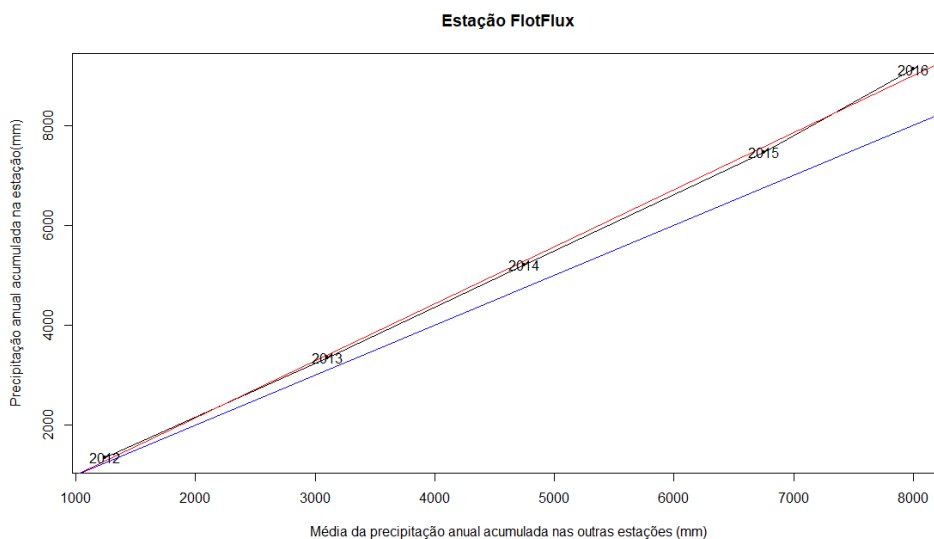
Figura 27 – Análise de consistência dos dados da estação Estrada Sul.



Fonte: A autora (2017).

Para a estação FlotFlux, a análise de dados após o preenchimento de falhas teve como resultado o gráfico 28. No gráfico foi possível verificar que as inclinações das retas obtidas a partir dos acumulados de chuva ficaram próximas a reta de 45° , e que os dados referentes aos anos de 2012 e 2013 ficaram mais próximos do que os dados dos anos de 2014, 2015 e 2016. O Coeficiente de Determinação (R^2) da equação da reta para essa estação foi de 0,9989.

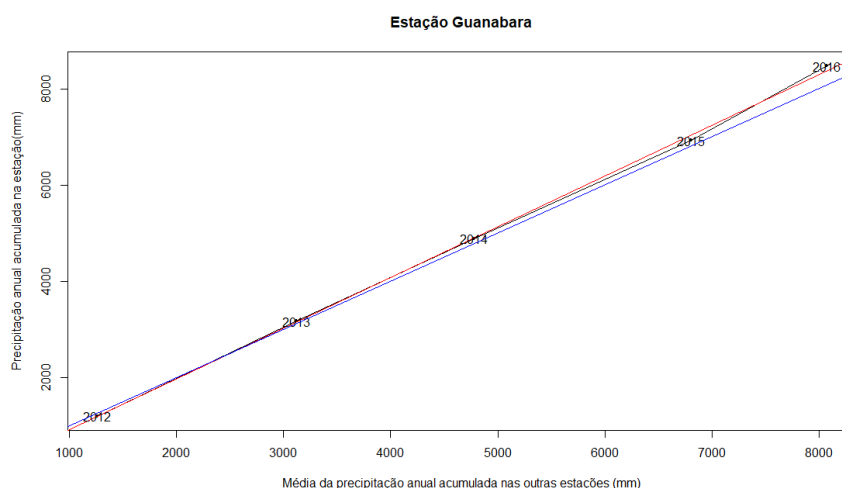
Figura 28 – Análise de consistência dos dados da estação FlotFlux.



Fonte: A autora (2017).

A análise dos dados da estação Guanabara teve bons resultados, pois as retas obtidas ficaram muito próximas a reta com inclinação de 45° . Isso significa que através do método de preenchimento utilizado, foram calculados valores que se estiveram próximos aos valores observados pelas outras estações meteorológicas. Um intercepto pode ser observado próximo ao ponto de indicação do ano de 2013, ou seja, nos meses finais desse mesmo ano, conforme mostra a Figura 29. O Coeficiente de Determinação (R^2) da equação da reta foi de 0,9993.

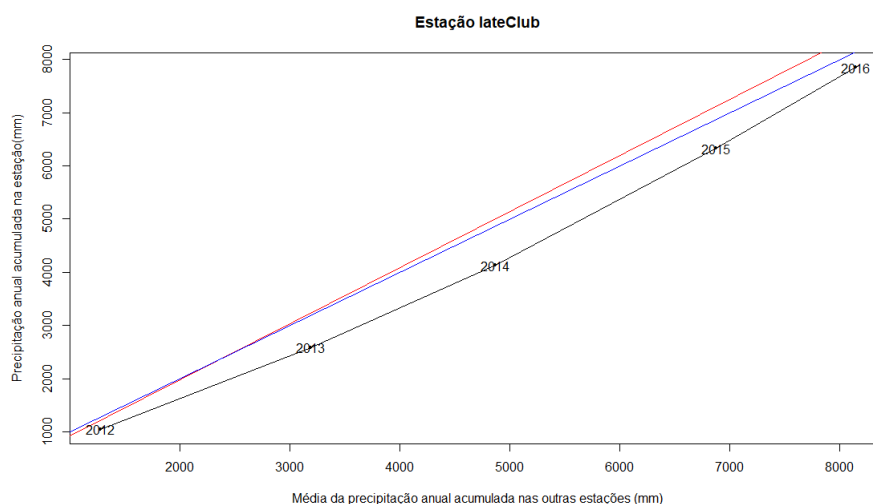
Figura 29 – Análise de consistência dos dados da estação Guanabara.



Fonte: A autora (2017).

Diferentemente dos outros gráficos, a análise dos dados da estação IateClub gerou retas próxima a reta que serve de referência, dessa vez localizadas abaixo dela, como pode ser visualizado na Figura 30. O resultado para o Coeficiente de Determinação (R^2) da equação da reta foi de 0,9938.

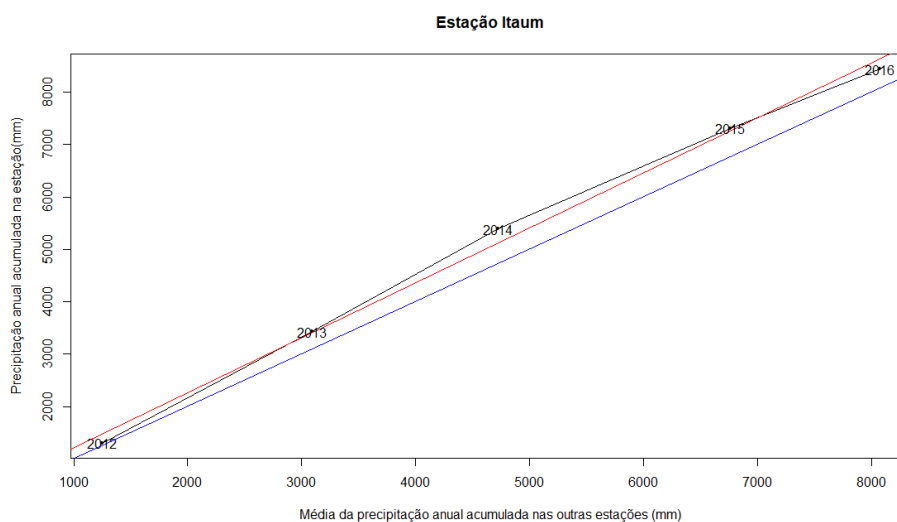
Figura 30 – Análise de consistência dos dados da estação IateClub.



Fonte: A autora (2017).

A estação Itaum também mostrou retas próximas a reta com 45° , sendo que todas ficaram localizadas acima dela. O gráfico 31 mostra o resultado da Curva Dupla Massa para a estação Itaum. Para a estação Itaum, o Coeficiente de Determinação (R^2) da equação da reta foi de 0,9958.

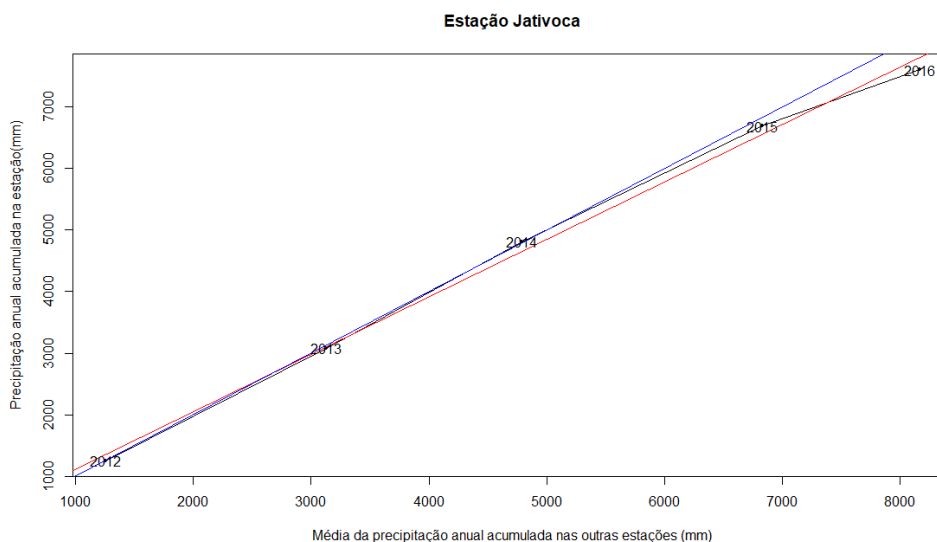
Figura 31 – Análise de consistência dos dados da estação Itaum.



Fonte: A autora (2017).

Para a estação Jativoca, o resultado da análise de dados gerou retas muito próximas a reta de 45° , chegando até a interceptá-la em um ponto próximo a identificação do ano de 2014, como pode ser verificado na Figura 32. O Coeficiente de Determinação (R^2) referente a equação da reta, foi de 0,9966.

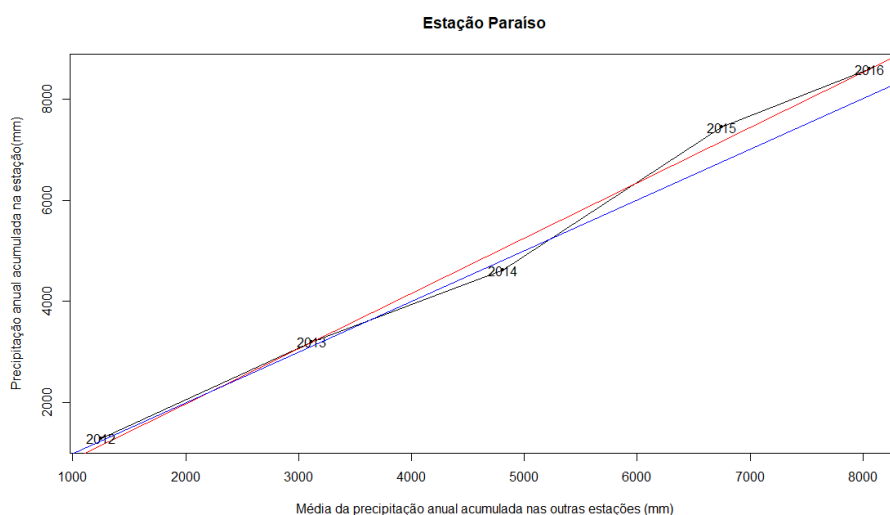
Figura 32 – Análise de consistência dos dados da estação Jativoca.



Fonte: A autora (2017).

Comportamento semelhante também foi observado na estação Paraíso, pois as retas obtidas a partir dos dados dessa estação ficaram próximas a reta de referência. Além disso, elas também se interceptaram em um ponto médio entre os anos de 2013 e 2014, conforme a Figura 33. O Coeficiente de Determinação (R^2) da equação da reta foi de 0,9922.

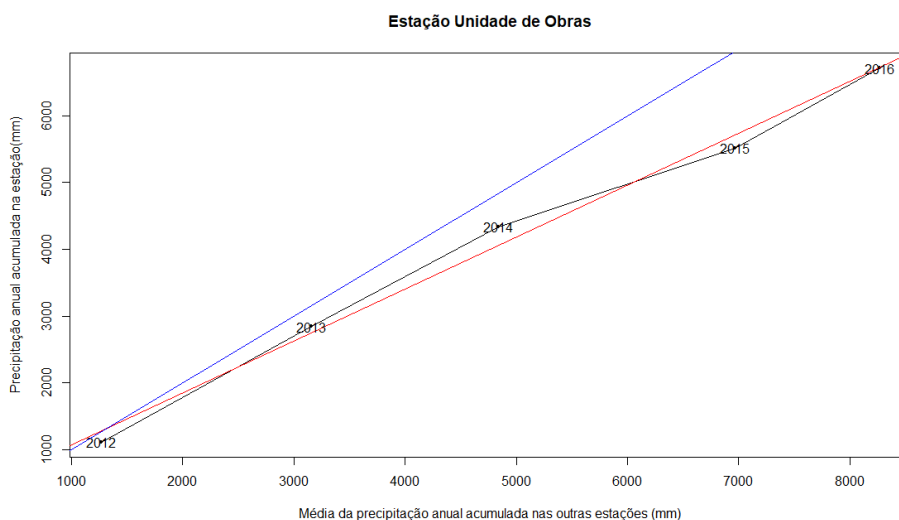
Figura 33 – Análise de consistência dos dados da estação Paraíso.



Fonte: A autora (2017).

As retas resultantes dos acumulados anuais de chuva pertencentes a estação Unidade de Obras se apresentaram mais próximas da reta de referência nos anos de 2012, 2013 e 2014. Já os anos de 2015 e 2016 ficaram mais distantes. O gráfico 34 mostra a curva obtida para a estação Unidade de Obras. O valor do Coeficiente de Determinação (R^2) da equação da reta foi de 0,9923.

Figura 34 – Análise de consistência dos dados da estação Unidade de Obras.



Fonte: A autora (2017).

Os gráficos obtidos mostraram retas próximas a reta com 45° e com resultados para os Coeficientes de Determinação (R^2) sendo superiores a 0,99, indicando dados consistentes e homogêneos, pois representam comportamentos semelhantes com relação às chuvas ocorridas em Joinville, entre 2012 e 2016. Logo, o método adotado de regressão linear pertencente ao pacote *Hyfo* (YUANCHAO XU, 2017) se mostrou capaz de realizar o preenchimento de dados faltantes de forma que os mesmos pudessem ser considerados nesse estudo.

4.2 ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS

Após a análise dos dados pluviométricos deu-se início a coleta de informações sobre as ocorrências de deslizamentos registradas pela Defesa Civil de Joinville, dando origem ao inventário de deslizamentos. Durante a coleta foram investigadas as ocorrências datadas entre 19 de abril de 2012 e 31 de dezembro de 2016, e que estivessem inseridas na área urbana do município de Joinville.

Com isso, foram levantadas 192 ocorrências de deslizamentos, conforme o mapa de localização no apêndice A. Nele é possível verificar que existem bairros que registraram mais casos de deslizamentos que outros, e bairros que não registraram nenhum caso ao longo de todo o período, como Morro do Meio e Espinheiros. As 192 ocorrências registradas se distribuem em 32 casos em 2012, 37 casos em 2013, 27 casos em 2014, 66 casos em 2015 e 30 casos em 2016.

No ano de 2012, foram registradas ocorrências nos bairros América, Anita Garibaldi, Boa Vista, Costa e Silva, Glória, Floresta, Iririú, Itaum, Jarivatuba, Nova Brasília, Paranaguamirim, Parque Guarani, Pirabeiraba, Profipo, São Marcos, Vila Nova e Zona Industrial Norte. No apêndice B pode ser visualizada a quantidade de ocorrências referentes a deslizamentos que a Defesa Civil de Joinville registrou entre 19 de abril e 31 de dezembro de 2012, por bairro.

Através do mapa do apêndice O, viu-se que os bairros mais atingidos por casos de deslizamentos foram Costa e Silva, com um total de 5 ocorrências, e Nova Brasília e Vila Nova, todos com 3 ocorrências registradas. Os três bairros mencionados estão localizados na parte leste da área urbana de Joinville. O logradouro e a data de abertura dessas ocorrências estão dispostos no apêndice I, presente no final desse trabalho.

Os bairros Adhemar Garcia, Aventureiro, Atiradores, Boehmerwald, Bom Retiro, Bucarein, Centro, Comasa, Dona Francisca, Espinheiros, Fátima, Guanabara, Jardim Iririú, Jardim Paraíso, Jardim Sofia, João Costa, Itinga, Morro do Meio, Petrópolis, Rio Bonito,

Saguaçu, Santa Catarina, Santo Antônio, Ulysses Guimarães, Vila Cubatão e Zona Industrial Tupy não registraram casos de deslizamentos nesse ano.

Analisando as informações coletadas nas 32 ocorrências de deslizamentos de 2012 pode-se perceber que poucos campos do formulário utilizado na pesquisa, presente no anexo A, puderam ser preenchidos. Entretanto, os campos relacionados a drenagem, obra de contenção existente, grau de risco e consequências tiveram uma quantidade de informações maior, com isso foram gerados gráficos, que caracterizam os casos de deslizamentos.

No ano de 2013 foram registradas ocorrências nos bairros América, Aventureiro, Boa Vista, Boehmerwald, Costa e Silva, Glória, Guanabara, Iririú, Itaum, Itinga, Jarivatuba, João Costa, Nova Brasília, Parque Guarani, Petrópolis, Profipo, Saguaçu, Ulysses Guimarães, Vila Nova e Zona Industrial Norte. A Figura 37 mostra a quantidade de ocorrências de deslizamentos registrados pela Defesa Civil de Joinville entre 1º de janeiro e 31 de dezembro de 2013, por bairro.

O resultado obtido com o apêndice P mostrou que Nova Brasília, Iririú, Guanabara, Itinga, Jarivatuba e Petrópolis foram os bairros com maior quantidade de casos de deslizamentos no ano de 2013. O bairro Nova Brasília apareceu novamente, porém totalizando 5 ocorrências dessa vez. O bairro Iririú teve um total de 4 ocorrências e os bairros Guanabara, Itinga, Jarivatuba e Petrópolis totalizaram 3 ocorrências cada um. O apêndice C mostra a localização dos pontos de ocorrências de deslizamentos citados, e os logradouros e datas de aberturas dessas ocorrências estão presentes no apêndice J.

As informações coletadas nas ocorrências registradas em 2013 utilizando como base o formulário presente no anexo A, também mostraram que poucos campos puderam ser preenchidos, sendo que os mais preenchidos foram os mesmos para o ano de 2012, ou seja, a existência de obra de contenção, os tipos de consequências, grau de risco e drenagem.

Para o ano de 2014, os bairros que registraram ocorrências de deslizamentos foram Anita Garibaldi, Boehmerwald, Costa e Silva, Floresta, Iririú, Itaum, Itinga, Jarivatuba, João Costa, Paranaguamirim, Petrópolis, Saguaçu, Santa Catarina, Vila Nova e Zona Industrial Norte. No apêndice Q pode ser visualizada a quantidade de ocorrências registradas pela Defesa Civil de Joinville entre 1º de janeiro e 31 de dezembro de 2014 por bairro.

Os bairros que apresentaram as maiores quantidades de ocorrências registradas durante o ano de 2014 foram Boehmerwald com um total de 4 ocorrências, Costa e Silva, Paranaguamirim e Petrópolis com 3 ocorrências cada um. Pode-se notar no apêndice D, que alguns pontos de ocorrências se concentraram na parte sul da área urbana de Joinville, e no apêndice K podem ser visualizados os logradouros e datas de aberturas dessas ocorrências.

Com os formulários preenchidos sobre os casos de deslizamentos ocorridos em 2014 foi percebido que além dos campos drenagem, existência de obra de contenção, grau de risco e consequências, havia uma quantidade significativa de anotações sobre os elementos em risco e optou-se por mostrar as quantidades de elementos em risco presentes nas ocorrências. Apenas uma ocorrência apresentou dois tipos de elementos em risco.

Diferentemente dos outros anos analisados, 2015 foi o ano com mais registros de ocorrências, logo com mais bairros atingidos, sendo eles América, Atiradores, Aventureiro, Boa Vista, Boehmerwald Bom Retiro, Costa e Silva, Floresta, Glória, Iriirú, Itaum, Itinga, Jardim Sofia, Jarivatuba, João Costa, Nova Brasília, Paranaguamirim, Parque Guarani, Petrópolis, Pirabeiraba, Saguacu, Santo Antônio, Vila Nova e Zona Industrial Norte. O total é de 66 casos de deslizamentos. O apêndice R mostra o número de casos de deslizamentos registrados nesses bairros.

Em 2015, os bairros com maiores quantidades de ocorrências foram Costa e Silva, João Costa, Floresta, Boehmerwald, Iriirú e Nova Brasília. Os bairros Costa e Silva e João Costa obtiveram o mesmo número de ocorrências, 7 casos em cada um deles. No bairro Floresta foram registradas 6 ocorrências e, Boehmerwald, Iriirú e Nova Brasília registraram 5 casos. O apêndice E mostra os pontos de registros de deslizamentos no ano de 2015, e o apêndice L contém os logradouros e datas em que foram abertas as ocorrências referentes ao ano de 2015.

Não foi somente o número maior de casos de deslizamentos que destacou 2015 dos outros anos, mas também a quantidade de informações registradas nas ocorrências, o que indica que neste ano os agentes da Defesa Civil preencheram mais os campos existentes nos laudos de vistoria. As características do local vistoriado foi um dos campos que mostrou uma quantidade significativa de informações, logo será mostrado esse resultado assim como os resultados obtidos para drenagem, existência de obra de contenção, grau de risco, consequências e elementos em risco.

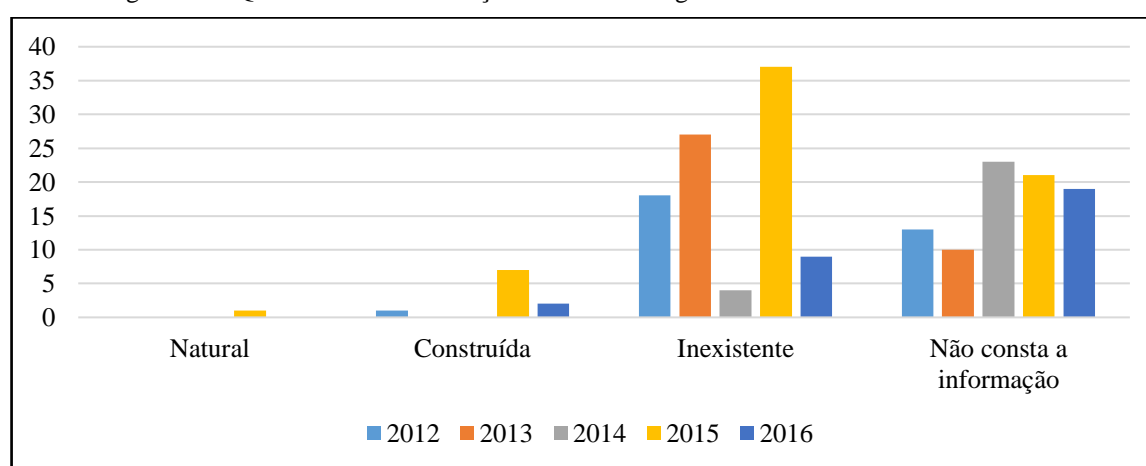
América, Anita Garibaldi, Boa Vista, Boehmerwald, Bom Retiro, Itaum, Itinga, Iriirú, Jarivatuba, João Costa, Nova Brasília, Paranaguamirim, Rio Bonito, Saguacu, Santa Catarina, Santo Antônio, Vila Nova e Zona Industrial Norte. O apêndice S mostra a quantidade de ocorrências registradas nesses bairros em 2016.

Em 2016, os bairros que mais registraram casos de deslizamentos foram Itaum, Boehmerwald e Iriirú, com 4, 3 e 3, ocorrências respectivamente. O apêndice F mostra a localização dos pontos de deslizamentos nesse ano, e no apêndice M pode ser visualizada uma tabela com os logradouros e datas de aberturas das ocorrências desse ano.

Nas ocorrências registradas em 2016, foi possível verificar que a maioria não possuía informação sobre a drenagem. Em apenas dois dos 30 casos é que foi verificado a existência de um sistema de drenagem.

A seguir são mostrados os gráficos obtidos a partir das informações coletadas nas ocorrências de deslizamentos. A Figura 35 mostra a quantidade de informações coletadas sobre o tipo de drenagem verificado nas ocorrências. Com esse gráfico percebe-se que a maioria dos casos não possuía um sistema de drenagem ou não foram anotadas informações referentes a esse aspecto nos laudos da Defesa Civil de Joinville.

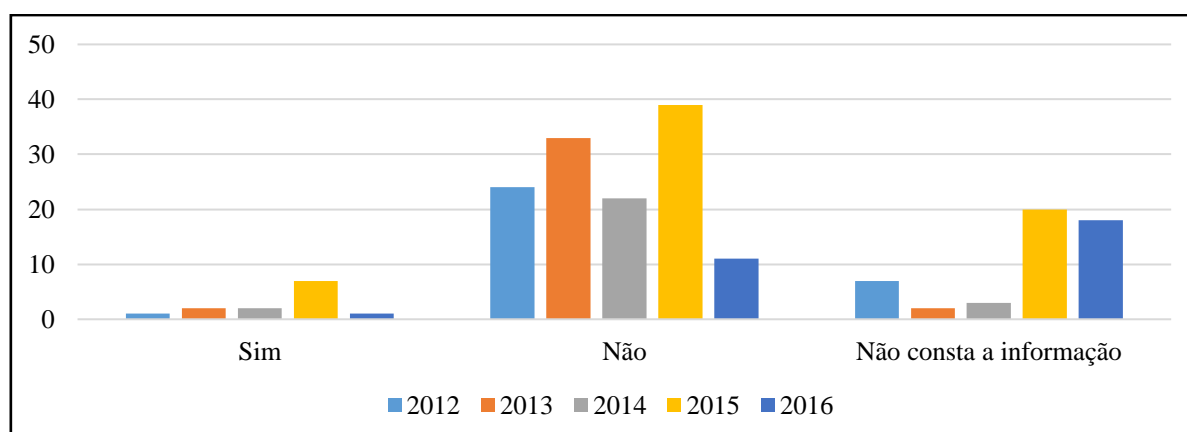
Figura 35 – Quantidade de informações sobre a drenagem obtidas através das ocorrências.



Fonte: A autora (2017).

Sobre a existência de obras de contenção, foi verificado que a maioria dos casos de deslizamentos não possuía obra de contenção. Também foi verificado que os anos de 2012, 2013 e 2014 tiveram mais informações sobre esse aspecto, pois as barras referentes a quantidade de ocorrências que não constam informações são menores se comparadas as barras dos anos de 2015 e 2016. A quantidade de informações sobre a existência de obra de contenção pode ser visualizada na Figura 36.

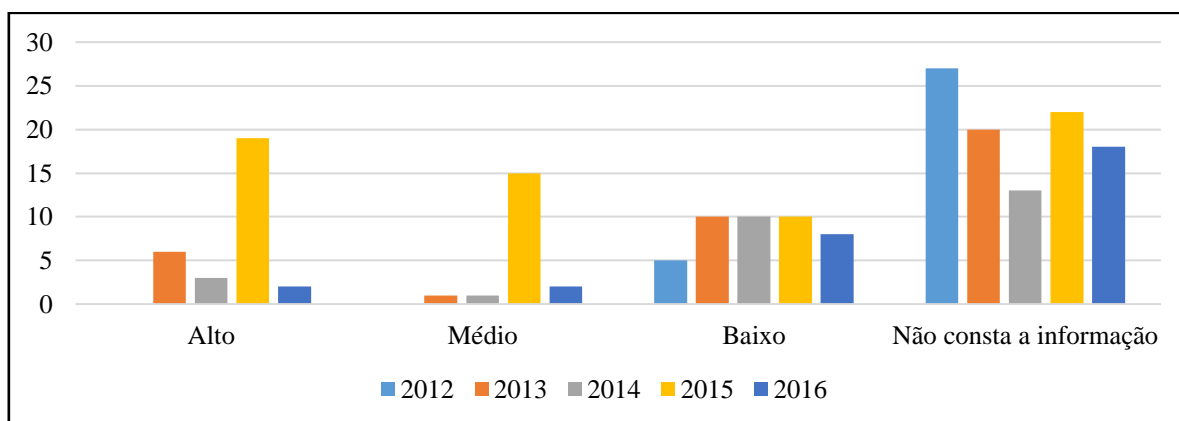
Figura 36 – Quantidade de informações sobre a existência de obra de contenção obtidas através das ocorrências.



Fonte: A autora (2017).

Muitas ocorrências não apresentaram informações sobre o grau de risco, sendo que a maioria delas foram coletadas através dos laudos técnicos realizados pelo geólogo da Defesa Civil de Joinville. Porém, entre as ocorrências que continham essa informação, foi verificado que muitos casos eram de baixo risco. O ano de 2015 foi o que apresentou mais casos com alto e médio grau de risco, conforme pode ser visualizado na Figura 37.

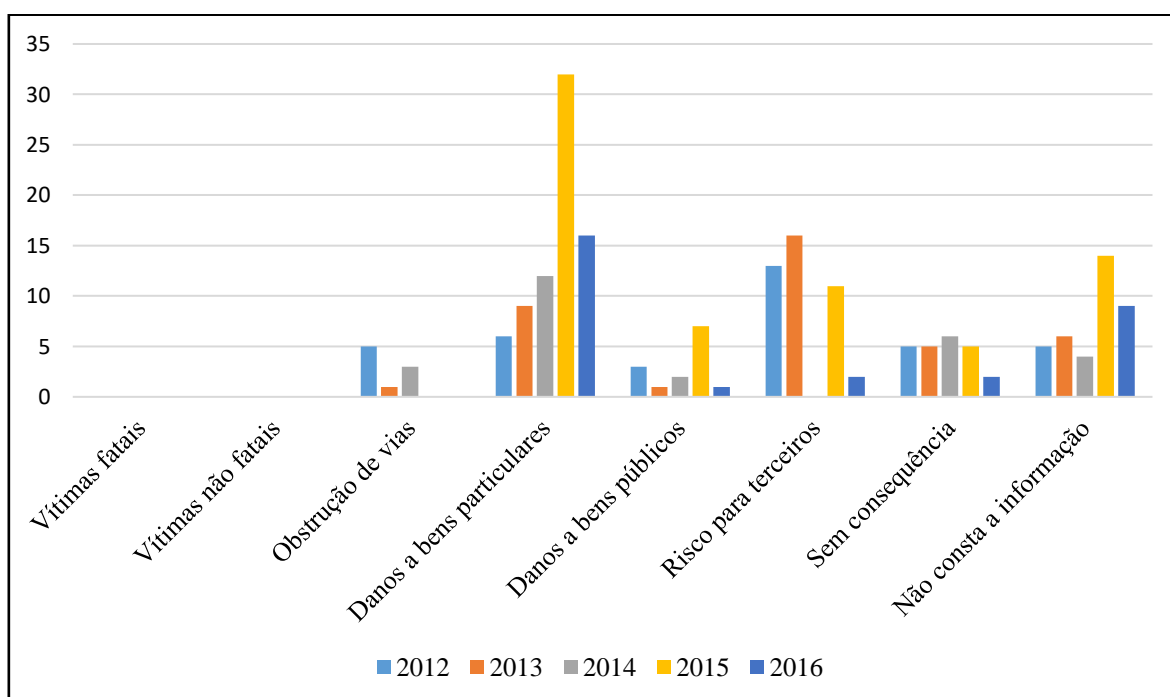
Figura 37 – Quantidade de informações sobre o grau de risco obtidas através das ocorrências.



Fonte: A autora (2017).

O tipo de consequência mais presente nas ocorrências foi o relacionado aos danos a bens particulares, principalmente no ano de 2015, conforme pode ser verificado na Figura 38.

Figura 38 – Quantidade de informações sobre os tipos de consequências obtidas através das ocorrências.

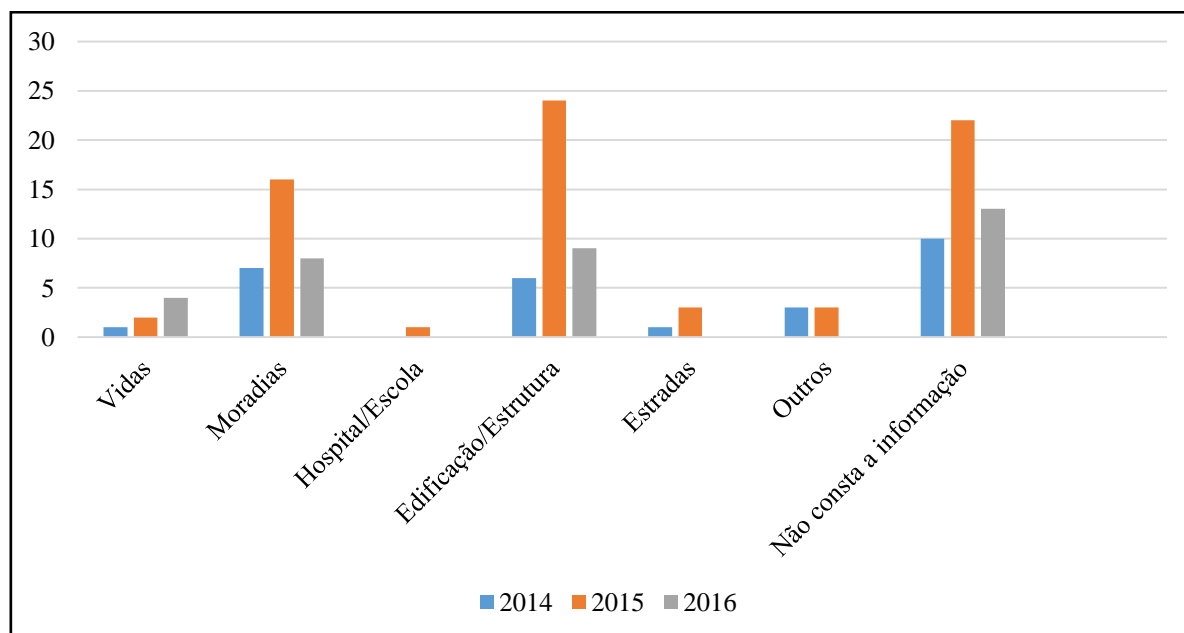


Fonte: A autora (2017).

Diferentemente dos aspectos mencionados até o momento, informações sobre os elementos em risco só estiveram presentes nas ocorrências dos anos de 2014, 2015 e 2016.

Entre eles, destaca-se a quantidade de ocorrências que possuíam edificações ou estruturas como elementos em risco, como pode ser visto na Figura 39.

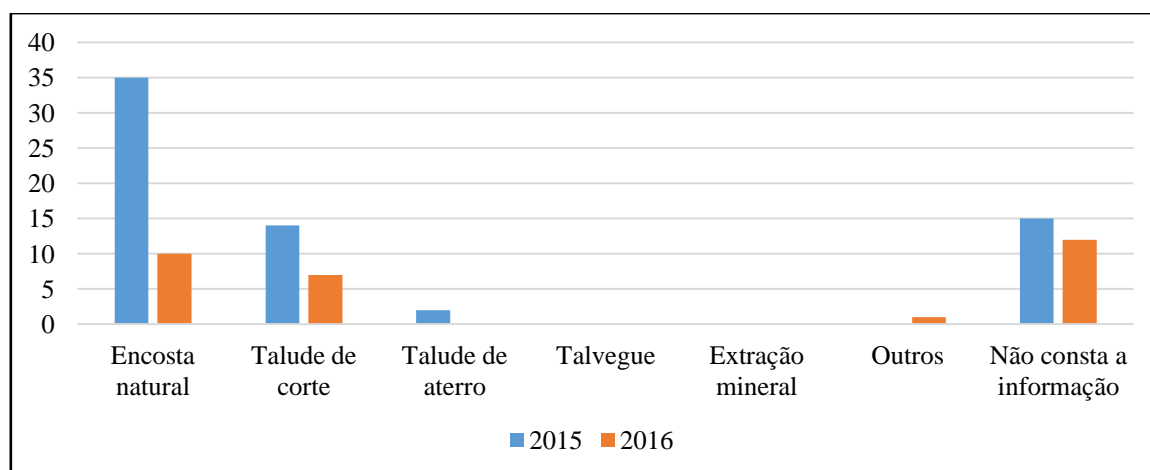
Figura 39 – Quantidade de informações sobre os elementos em risco obtidas através das ocorrências.



Fonte: A autora (2017).

Entre as informações presentes nos laudos de vistorias realizados nos locais vistoriados, foi verificado que a maioria deles foi assinalado como ocorrências em encostas naturais. A Figura 40 mostra a quantidade de informações obtidas referentes aos locais vistoriados, somente para os anos 2015 e 2016, pois nos outros anos não foram constatadas informações sobre esse aspecto. Com relação a esse tipo de informação se faz importante considerar que existe uma dificuldade na separação dos casos ocorridos em encostas naturais e em taludes de corte, já que essa informação depende da interpretação de quem preencheu o formulário de vistoria.

Figura 40 – Quantidade de informações sobre os locais vistoriados obtidas através das ocorrências.



Fonte: A autora (2017).

Os gráficos criados a partir da quantidade de informações coletadas sobre alguns aspectos anotados pela Defesa Civil de Joinville durante o processo de abertura da ocorrência, mostraram que poucas informações foram obtidas. A inexistência de informações constatada na fase de coleta impossibilitou que as mesmas fossem consideradas como variáveis explicativas no modelo proposto. Logo, nesse estudo foi possível considerar somente os dados pluviométricos, sendo que os resultados obtidos com o ajuste do modelo são apresentados no capítulo seguinte, assim como os gráficos gerados que demonstram a relação entre as chuvas e os deslizamentos.

5 RESULTADOS

5.1 RELAÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS E AS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS

Após uma primeira análise das informações coletadas sobre as alturas pluviométricas registradas pelas estações meteorológicas e as ocorrências de deslizamentos, foi possível dar início ao estudo sobre a relação existente entre elas. Para a determinação da altura pluviométrica registrada na data da abertura da ocorrência aplicou-se o método para cálculo de abrangência de Thiessen, através de uma ferramenta específica para tal finalidade presente no *software ArcGis®* versão 10.1. Essa ferramenta fez o cálculo automaticamente, sendo necessário apenas a entrada de um arquivo em extensão *shapefile (.shp)* com a localização das estações meteorológicas e outro arquivo na mesma extensão, com um mapa do perímetro urbano de Joinville. O mapa da área de abrangência das estações meteorológicas pode ser visualizado no apêndice G.

As áreas das estações FlotFlux e Itaum ocuparam a maior parcela da área urbana de Joinville. A área de abrangência da estação Estrada Sul foi a menor de todas, sendo representada por uma pequena parcela ao lado oeste do mapa. Utilizando o mapa da área de abrangência das estações meteorológicas, determinou-se em qual delas cada ocorrência estava contida. O apêndice H mostra a localização das estações meteorológicas, as suas respectivas áreas de abrangência e os pontos de ocorrências existentes em cada uma delas.

O *software ArcGis®* versão 10.1 possui ferramentas que possibilitam determinar a quantidade de ocorrências contidas em cada área de abrangência. O resultado obtido para a quantidade de ocorrências em cada área pode ser verificado pela tabela 15.

Tabela 15– Quantidade de ocorrências por área de abrangência.

Estação	2012	2013	2014	2015	2016
Águas de Joinville	8	3	2	11	3
Cubatão	1	0	0	1	2
Estrada Sul	0	0	0	0	0
FlotFlux	13	11	7	25	9
Guanabara	1	3	0	0	0
IateClub	0	0	0	2	1
Itaum	6	16	16	24	13
Jativoca	0	1	0	1	0

Paraíso	1	1	1	1	1
Unidade de Obras	2	2	1	1	1

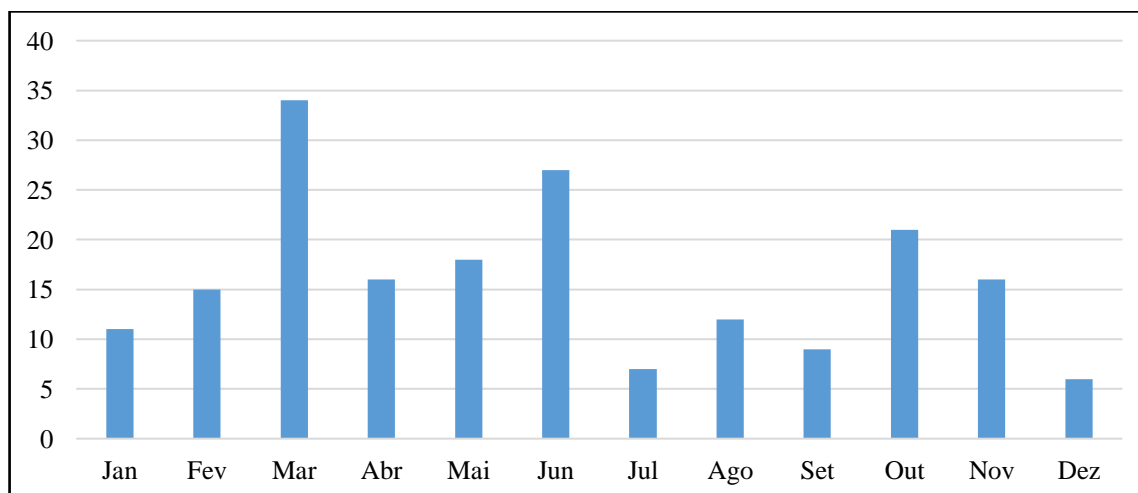
Fonte: A autora (2017).

As áreas de abrangências das estações FlotFlux e Itaum são as maiores como pode-se perceber, o que explica a maior quantidade de ocorrências pertencentes as suas respectivas áreas. O contrário também foi visto, pois, a estação Estrada Sul, a menor área de abrangência, não possui casos de deslizamentos.

Os valores de precipitação diária foram calculados no *software Excel®*, aplicando o método de cálculo de Thiessen, conforme descrito por Lima (2008), utilizando os valores das áreas de abrangências e alturas pluviométricas registradas de cada estação meteorológica. Com esses valores foi possível calcular os acumulados para 48, 72, 96, 120, 144 e 168 horas.

Também foi verificado o número de ocorrências registradas em cada mês, e assim foi gerado o gráfico 41. Para isso, foram agrupadas as ocorrências registradas em cada mês, e após foram somados esses números. Nele, foi visto que os meses de março e junho possuem os maiores totais de ocorrências registradas. O oposto disso foi verificado para os meses de julho e dezembro, os quais apresentam os menores totais.

Figura 41 – Quantidade total de ocorrências registradas por mês em todo o período de estudo.

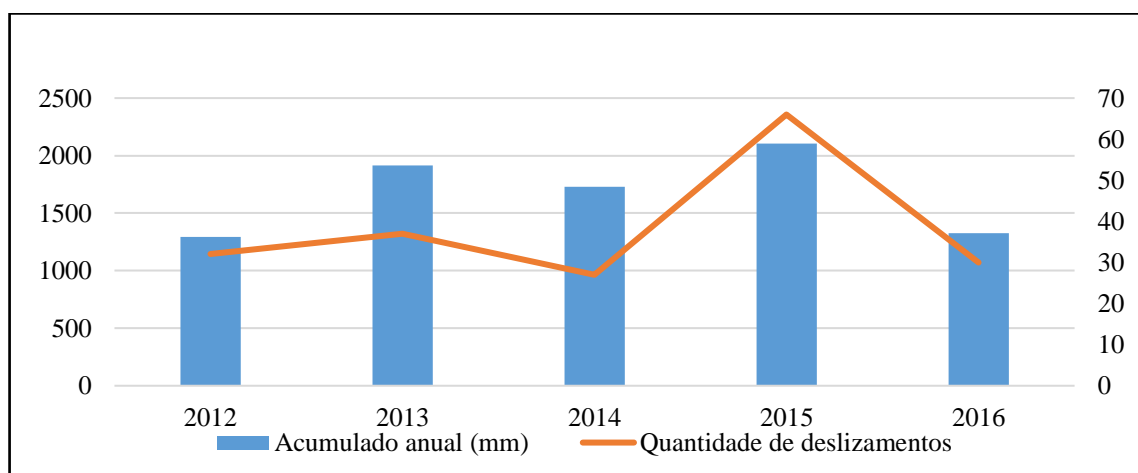


Fonte: A autora (2017).

Utilizando os acumulados anuais de cada estação, obtidos através do pacote *Hyfo* (YUANCHAO XU, 2017), foram calculados os acumulados anuais para a área em estudo, através também do método de Thiessen. Esses resultados foram transformados em gráficos de barras e que, combinados com as quantidades anuais de deslizamentos, deram origem a Figura 42, mostrada a seguir. Nesse gráfico percebeu-se uma relação entre os acumulados anuais e as

quantidades de ocorrências registradas em cada ano pois, o comportamento das barras azuis que correspondem aos dados de chuva se aproximou do comportamento do traço laranja, correspondente as quantidades de deslizamentos.

Figura 42 – Acumulados e quantidades de deslizamentos anuais.



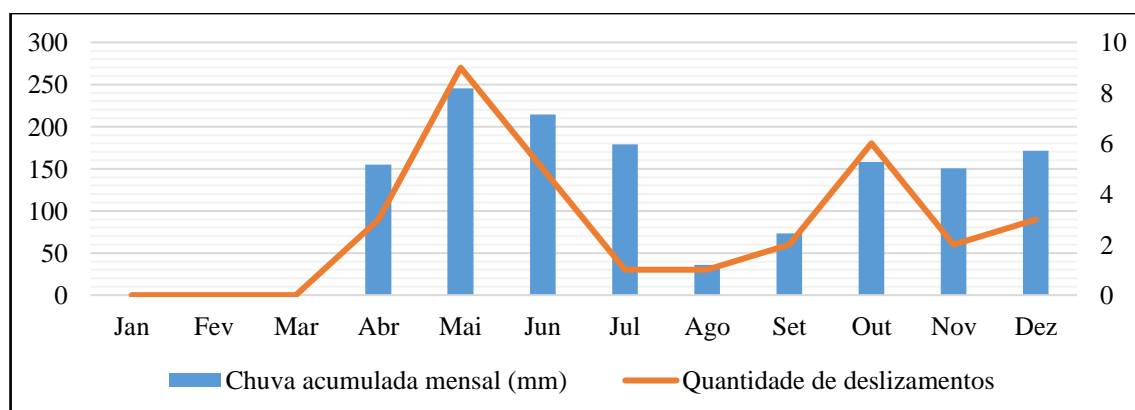
Fonte: A autora (2017).

A relação dos acumulados pluviométricos e quantidades de deslizamentos registrados por mês também foi analisada. As Figuras 43, 44, 45, 46 e 47 são referentes a isso, sendo que os dados foram separados por ano a fim de melhorar a visualização dos seus comportamentos.

Os maiores valores para acumulados de chuva em 2012 foram registrados nos meses de maio a julho, seguido dos meses outubro, novembro e dezembro. Muitas ocorrências também foram registradas nos meses de maio, junho e outubro. Analisando o comportamento dos elementos do gráfico, foi verificada uma aproximação, que possivelmente indica a existência de relação entre eles.

Este comportamento foi verificado nos gráficos construídos a partir dos dados dos outros anos. As barras que representam os acumulados de chuva se aproximaram das linhas que representam a quantidade de ocorrências registradas.

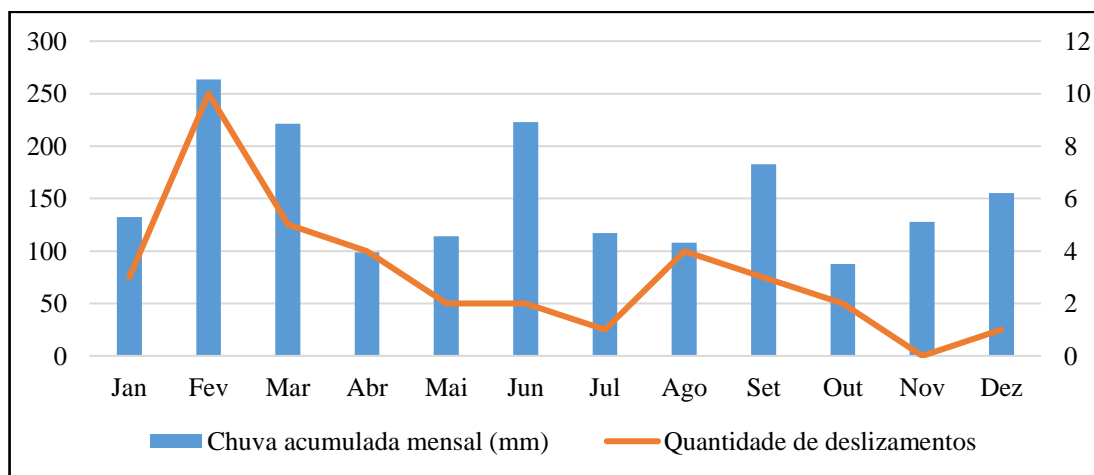
Figura 43– Acumulados e quantidades de deslizamentos mensais para o ano de 2012.



Fonte: A autora (2017).

A Figura 44 mostra os acumulados de chuva mensais e a quantidade de ocorrências registradas em 2013. Neste gráfico foi verificado que os meses de fevereiro, março, junho e setembro tiveram os maiores acumulados de chuvas, porém a quantidade de ocorrências registradas nos meses de junho e setembro foram baixas. No entanto, se percebeu uma relação entre o comportamento desses índices.

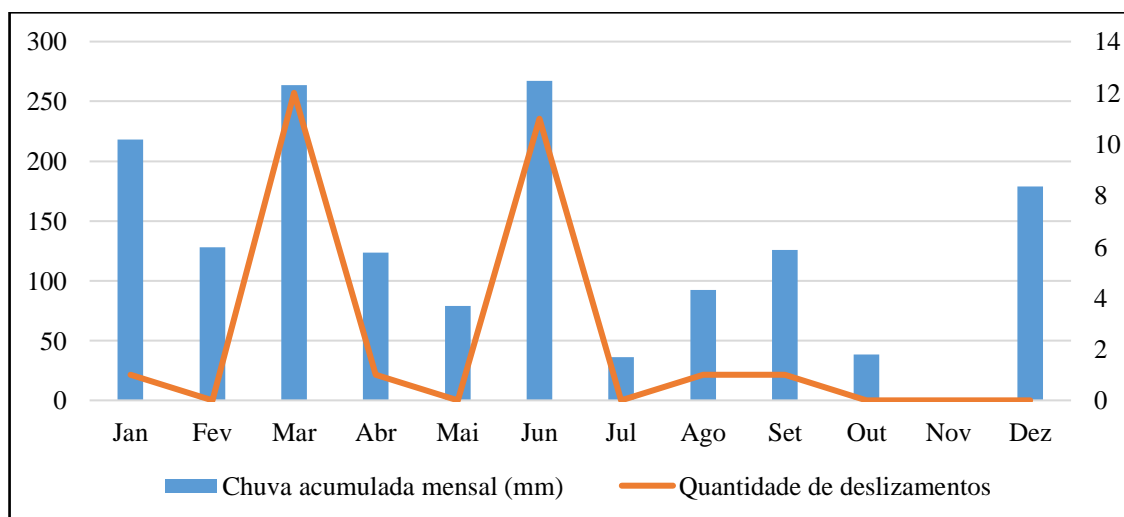
Figura 44 – Acumulados e quantidades de deslizamentos mensais para o ano de 2013.



Fonte: A autora (2017).

Com o gráfico referente ao ano de 2014, viu-se que os acumulados mensais foram altos nos meses de janeiro, março, junho e dezembro, mas somente os meses de março e junho apresentaram quantidades consideráveis de ocorrências de deslizamentos, como pode ser visualizada na Figura 45.

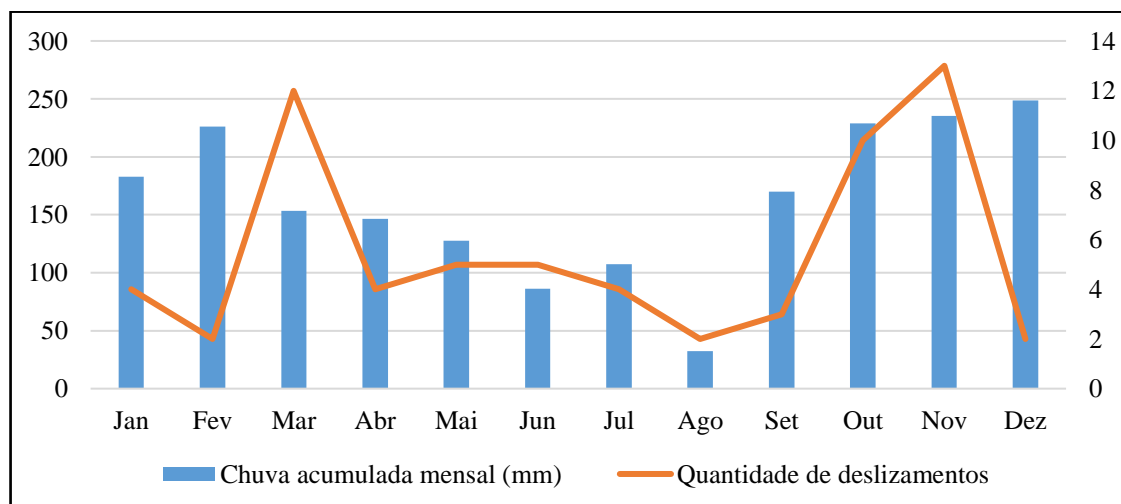
Figura 45 – Acumulados e quantidades de deslizamentos mensais para o ano de 2014.



Fonte: A autora (2017).

A relação existente entre o comportamento das chuvas e a quantidade de ocorrências registradas pode ser percebida de forma clara no ano de 2015, pois a maioria dos meses com acumulados de chuva mensais altos foram os mesmos a apresentar as maiores quantidades de ocorrências de deslizamentos.

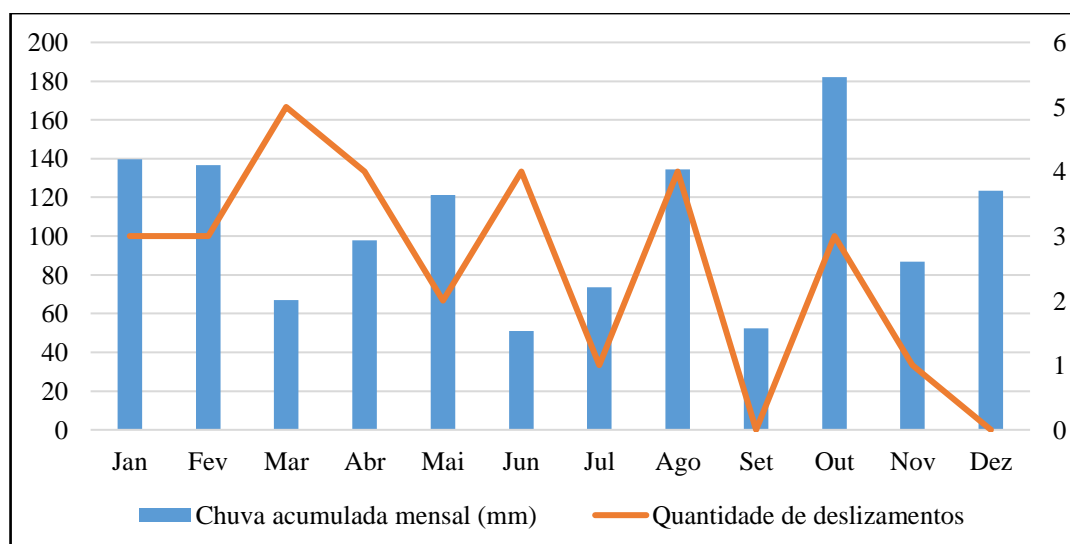
Figura 46 – Acumulados e quantidades de deslizamentos mensais para o ano de 2015.



Fonte: A autora (2017).

No gráfico referente ao ano de 2016, não foi possível perceber de forma clara a relação existente entre os acumulados mensais de chuva e a quantidade de ocorrência registradas, já que os comportamentos dos respectivos índices diferem na maioria das vezes. A Figura 47 mostra o comportamento dos acumulados mensais e da quantidade de ocorrência de deslizamento no ano de 2016.

Figura 47 – Acumulados e quantidades de deslizamentos mensais para o ano 2016.

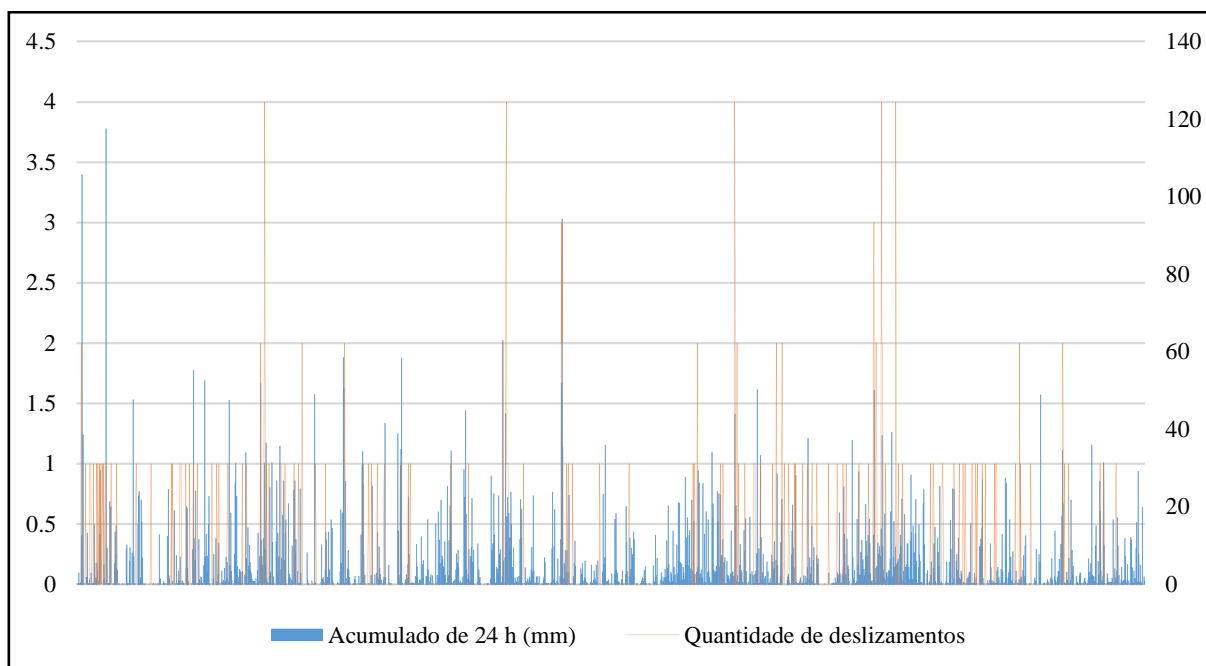


Fonte: A autora (2017).

A seguir pode ser visualizado um gráfico que representa as alturas pluviométricas acumuladas e a quantidade de deslizamentos registrados por dia. No gráfico percebe-se que os

dias em que foram registrados mais casos de deslizamentos também foram os dias com os maiores acumulados de chuva.

Figura 48 – Acumulados e quantidades de deslizamentos diários entre 2012 e 2016.



Fonte: A autora (2017).

5.2 VERIFICAÇÃO DA QUANTIDADE SIGNIFICATIVA DE DIAS DE CHUVA ACUMULADA

Após a criação dos gráficos que mostraram a relação entre os acumulados mensais de chuva e da quantidade de ocorrência de deslizamentos, se deu início a análise da quantidade de dias de chuva acumulada a ser considerada no estudo, por meio de gráficos de dispersão, conforme realizado por Castro (2006) durante a sua pesquisa.

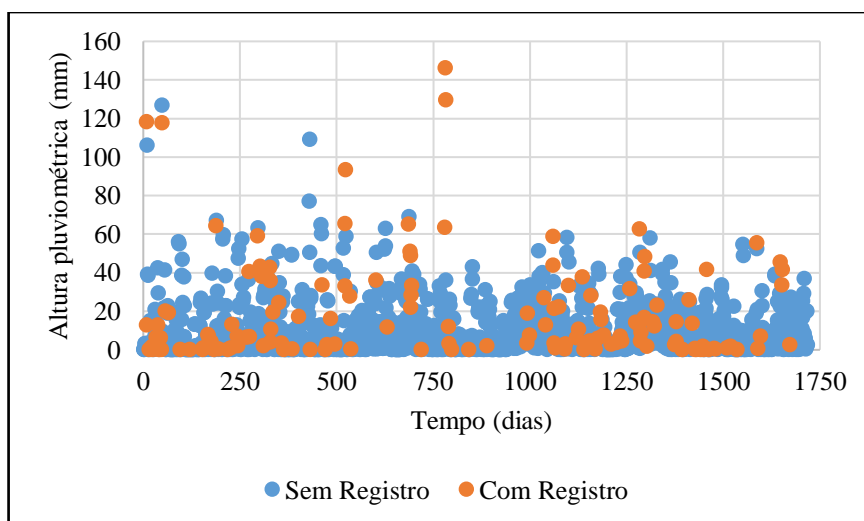
No estudo de Castro (2006, p.80) foram cruzadas “as informações da data da ocorrência com o valor da precipitação acumulada variando o número de dias antecedentes e comparando com os dados pluviométricos acumulados que não causaram escorregamentos”. Dessa forma, a autora levou em consideração o gráfico que apresentou a separação mais visível desses pontos para a definição do número de dias de chuva acumulada mais efetivo no desencadeamento dos escorregamentos.

As Figuras 49, 50, 51, 52, 53 e 54 mostram os acumulados de 48 a 168 horas. Foram plotados pontos com a informação da altura pluviométrica para cada dia do período em estudo, sendo que os dias em que foram registradas ocorrências de deslizamentos foram diferenciados dos dias em que não houve registros através da cor. Nesses gráficos, o eixo das ordenadas corresponde

a altura pluviométrica em milímetros e o eixo das abcissas, por sua vez, corresponde ao tempo em dias, disposto de forma cronológica crescente.

A Figura 49 mostra os acumulados de 48 horas para todos os dias do período estudado. Nele percebeu-se que os pontos se concentram abaixo de 60 mm de altura pluviométrica. Castro (2006) verificou a separação dos pontos com e sem deslizamentos em gráficos de dispersão semelhantes aos mostrados a seguir. Durante a sua pesquisa, Castro (2006) percebeu que essa separação se deu somente para valores elevados de chuva acumulada, sendo que para os valores baixos não foi possível verificar nenhum comportamento.

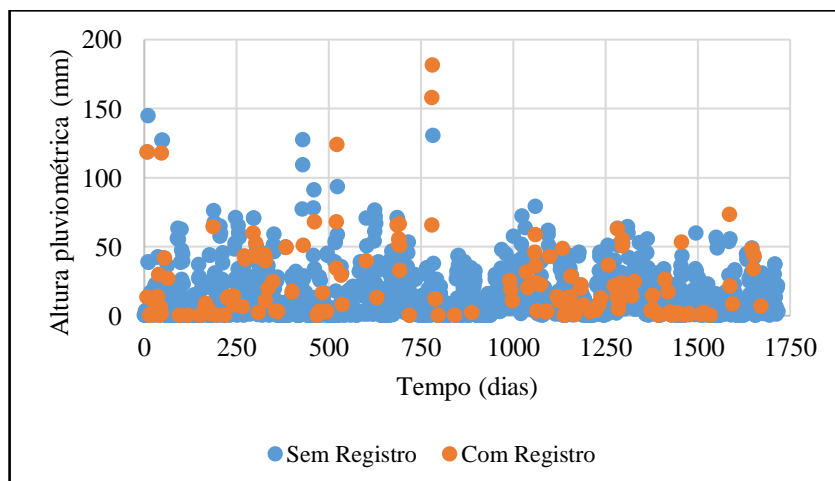
Figura 49 – Altura pluviométrica acumulada em 48 horas registradas em cada dia do período em estudo.



Fonte: A autora (2017).

Os acumulados de 72 horas, conforme pode ser visto na Figura 50, se concentraram abaixo de 100 mm de altura pluviométrica, no entanto também não foi possível verificar a existência de uma faixa de separação dos pontos com ocorrência de deslizamentos dos pontos sem registro de ocorrência.

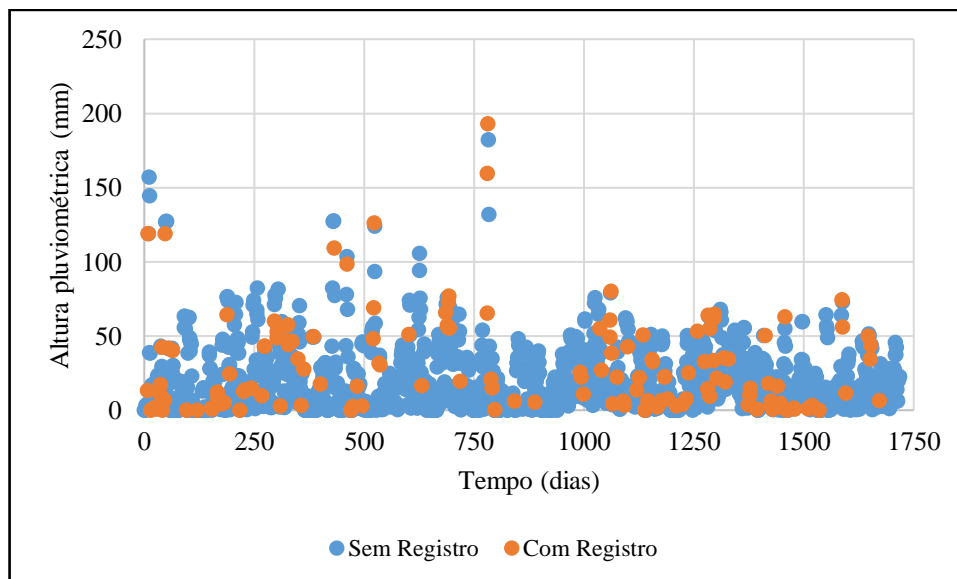
Figura 50 – Altura pluviométrica acumulada em 72 horas registradas em cada dia do período em estudo.



Fonte: A autora (2017).

O gráfico abaixo mostra os acumulados de 96 horas, e que semelhante ao gráfico anterior, os seus valores se concentram também abaixo de 100 mm, e nenhum comportamento de separação foi possível de ser verificado.

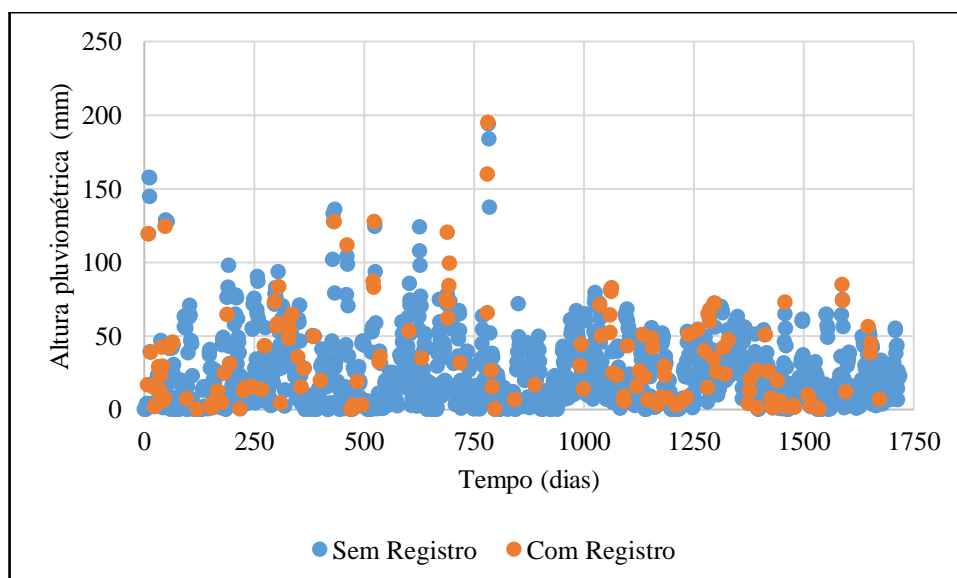
Figura 51 – Altura pluviométrica acumulada em 96 horas registradas em cada dia do período em estudo.



Fonte: A autora (2017).

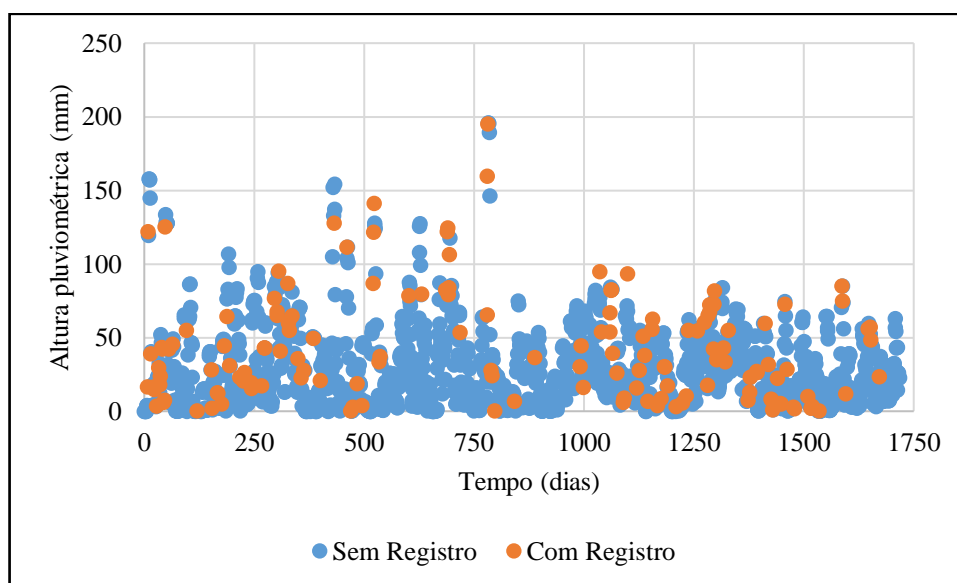
Os gráficos das alturas pluviométricas acumuladas em 120 e 144 horas mostraram comportamentos semelhantes aos gráficos mostrados anteriormente. Eles apresentaram valores concentrados abaixo de 100 mm e nenhum comportamento de separação foi possível de ser verificado.

Figura 52 – Altura pluviométrica acumulada em 120 horas registradas em cada dia do período em estudo.



Fonte: A autora (2017).

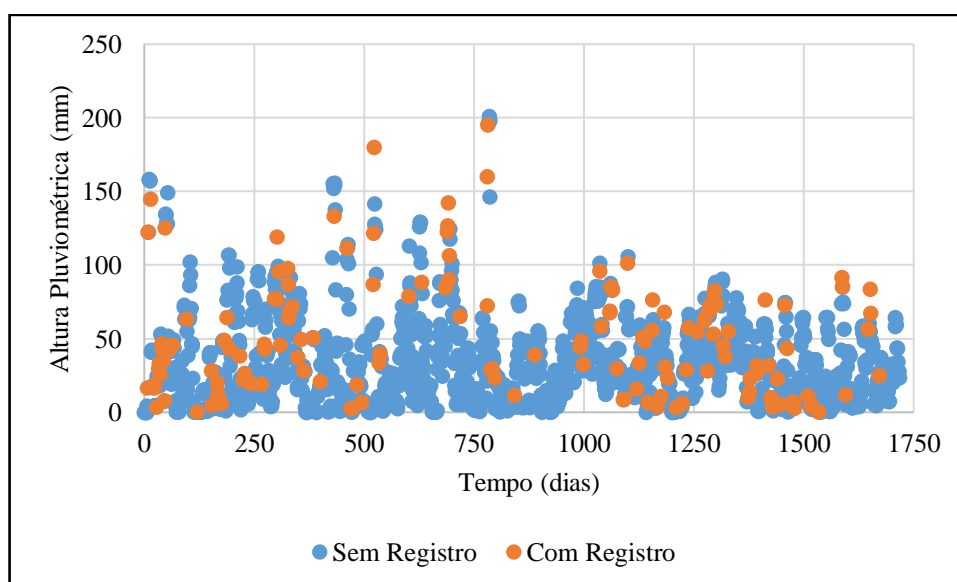
Figura 53 – Altura pluviométrica acumulada em 144 horas para todos os dias do período em estudo.



Fonte: A autora (2017).

O gráfico de chuva acumulada em 168 horas mostrou valores superiores, conforme pode ser visto na Figura 54. Porém, o aumento do valor não foi suficiente para separar as faixas de valores com ocorrências de deslizamentos e sem ocorrência.

Figura 54 – Altura pluviométrica acumulada em 168 horas registradas em cada dia do período em estudo.



Fonte: A autora (2017).

Como não foi possível verificar visualmente algum comportamento nos gráficos para a altura pluviométrica acumulada em 48, 72, 96, 120, 144 e 168 horas, não se conseguiu determinar a quantidade de dias de chuva acumulada a ser considerada para a criação do gráfico

de dispersão o qual mostraria o limiar deflagrador de deslizamentos. Com esses gráficos foi possível verificar que os dados apresentam um comportamento de dispersão.

Com isso, optou-se por verificar a quantidade de dias de chuva acumulada a ser considerada no estudo por meio da criação de um modelo, pela razão de que o método possibilita a verificação das variáveis significativas.

Os resultados obtidos para a análise da existência de multicolinearidade entre as variáveis foram baseados no cálculo da correlação de Pearson entre a chuva diária e os acumulados de chuva de 48 a 168 horas, sendo que se utilizou o *software R*® (R CORE TEAM, 2017) para isso, conforme os comandos apresentados no apêndice N. A tabela 16 mostra os resultados referentes a multicolinearidade existente entre a chuva acumulada em 24 horas e outros períodos de acumulados.

Tabela 16 – Resultado da multicolinearidade entre a chuva acumulada em 24 horas e a chuva acumulada nos seguintes períodos

Período (h)	Multicolinearidade
48	0.7783194
72	0.6378773
96	0.5432331
120	0.4897932
144	0.4424786
168	0.4117723

Fonte: A autora (2017).

Segundo o critério de Montenegro (2009), somente as variáveis chuva diária e acumulada de 48 horas apresentaram uma correlação superior a 0,70. No entanto, também foi verificado que os resultados obtidos para a multicolinearidade diminuíram a medida que a quantidade de dias consideradas no acumulado aumentaram. As variáveis chuva diária e chuva acumulada de 168 horas foram o par de variável com menor correlação.

5.3 AJUSTE DE MODELOS PARA A PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS

Nos próximos tópicos serão apresentados os resultados alcançados durante o ajuste de três modelos para a probabilidade de ocorrência de deslizamentos a partir de dados pluviométricos.

De princípio, foi verificada a existência de lacunas em branco no início de cada coluna de dados sobre os acumulados, resultantes da falta de dados de chuva nos dias anteriores a 19 de abril, o que prejudicou o cálculo dos acumulados seguintes. Como a quantidade de lacunas em branco era pequena em comparação a quantidade de dados existentes na planilha, foi decidido preenchê-las com zero.

Para o ajuste dos modelos, foi necessário dividir a amostra de dados em duas partes, uma para a realização do treino e outra para o teste, conforme feito por Chang e Lei (2013), sendo utilizada a mesma razão proposta pelos autores, de 2/3 e 1/3, respectivamente. Os comandos e variáveis utilizadas no *software R*® (R CORE TEAM, 2017) para a divisão da amostra são mostrados no apêndice N.

Conforme Hair Jr *et al.* (2005), se faz necessário garantir a aleatoriedade na seleção de amostras, para que os resultados dos processos de estimação e validação não sejam afetados. Para garantir que a amostra fosse tomada de forma aleatória e visando com que as características sazonais do clima de cada ano não viessem a interferir nos resultados, foi utilizado o comando que também está descrito no apêndice N, o qual toma uma amostra de forma aleatória.

5.3.1 Primeiro modelo – Chuva diária e acumulada de 168 horas

Um modelo foi ajustado utilizando-se as variáveis referentes aos acumulados de 24 e 168 horas, pela razão das mesmas apresentarem o menor valor de correlação. Para o ajuste do modelo de regressão logística utilizou-se a função *Generalized Linear Models*, da mesma forma que Giannecchini *et al.* (2015) adotaram em seu trabalho. A variável denominada de PadraoOuro refere-se a coluna de dados binários, que informam a ocorrência ou não de deslizamento em determinado dia, sendo utilizada por primeiro a amostra de treinamento, como pode ser visualizado no apêndice N, pela denominação *Chuvastraining*.

No resumo numérico correspondente a esse modelo foi possível verificar que a variável chuva diária foi significativa, isto é, o p-valor foi menor que o nível de significância adotado, de 0,05. A variável chuva diária obteve um p-valor de 0,00052, já a variável chuva acumulada de 168 horas, denominada de Acumulada168, o p-valor foi de 0,07607, maior que 0,05, o que indica que essa variável não foi significativa ao nível de 5%. O trabalho de Soares e Ramos filho (2014) mostrou que em João Pessoa, os resultados que melhor indicaram o início da deflagração dos movimentos foram as chuvas acumuladas entre 7 e 8 dias, isto é, superior que 168 horas. Dai e Lee (2003, tradução nossa) utilizaram os dados de chuva acumulada em 24 horas para o ajuste de um modelo preditivo em *Hong Kong* porém devido à falta de dados, os

autores explicaram que não foi possível usar dados de chuvas antecedentes. Pereira, Zêzere e Bateira (2009) encontraram os melhores resultados a partir da combinação de chuvas acumuladas em 72 horas e 10 dias, para a região norte de Portugal. Riekmann, Pinheiro e Tachini (2005) realizaram curvas de correlações representando a precipitação acumulada de sete dias *versus* a precipitação diária ocorrida no dia dos deslizamentos durante o estudo dos limiares em Blumenau. O resumo numérico desse modelo pode ser visualizado abaixo.

```
summary(modelo1)
```

```
## Call:
## glm(formula = PadraoOuro ~ Acumulada24 + Acumulada168, family = "binomial",
##      data = Chuvastraining)
##
## Deviance Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -1.0716   -0.4245   -0.3815   -0.3564    2.3832
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)  -2.779788    0.167065 -16.639 < 2e-16 ***
## Acumulada24    0.031505    0.009079   3.470 0.00052 ***
## Acumulada168   0.006008    0.003387   1.774 0.07607 .
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
##
##      Null deviance: 673.89  on 1144  degrees of freedom
## Residual deviance: 649.94  on 1142  degrees of freedom
## AIC: 655.94
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 5
```

O modelo ajustado a partir dos dados de chuva diária e chuva acumulada de 168 horas pode ser visualizado na equação abaixo. Nesse modelo a variável X1 corresponde a chuva acumulada no dia e a variável X2, a chuva acumulada na semana anterior ao deslizamento.

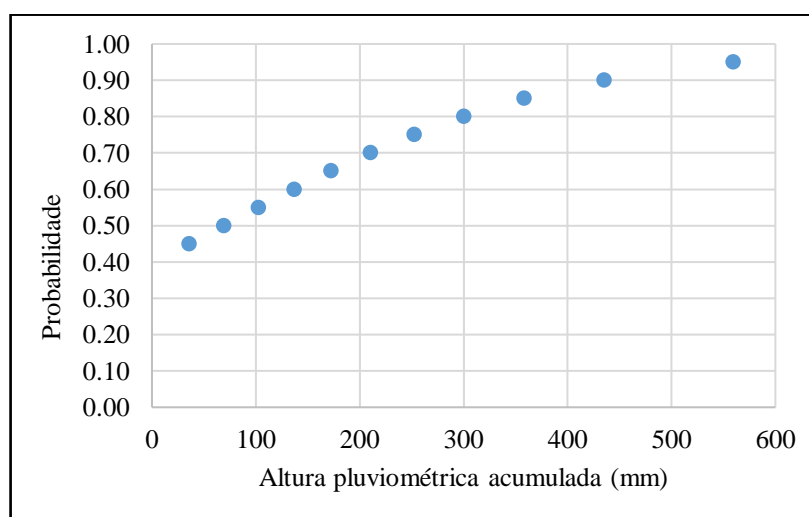
$$p = \frac{e^{-2,779788+0,031505X_1+0,006008X_2}}{1+e^{-2,779788+0,031505X_1+0,006008X_2}} \quad (14)$$

Esse primeiro modelo foi ajustado a partir das variáveis menos correlacionadas verificadas anteriormente, logo não possui um valor limiar já estabelecido no plano de contingência apresentado pela Defesa Civil de Joinville, para que possa ser substituído na equação e assim obter-se a probabilidade de ocorrência de deslizamento.

No entanto, considerando o critério de ocorrência de chuva de 75 mm acumulada em 24 horas proposto pelo CEMADEN, foi possível calcular a altura pluviométrica necessária para probabilidades de ocorrência de deslizamentos. Substituindo-se a variável independente X1 pelo valor de 75 mm de chuva e a variável dependente “p” por valores de probabilidade, obteve-se o valor para chuva acumulada em 168 horas. Foi verificado que para valores de probabilidades inferiores a 45%, os resultados para chuva acumulada em 168 horas foram negativos, o que não corresponde à realidade. O resultado para tal acumulado considerando a probabilidade de 100% também apresentou um valor muito grande, não sendo constatado um valor com essa magnitude na série de dados analisada. Logo, optou-se por mostrar através da Figura 55 os valores de acumulados de chuva em 168 horas, considerando uma chuva acumulada de 75 mm em 24 horas e probabilidades de ocorrência de deslizamento entre 45% e 95%.

Como exemplo tem-se que considerando esse modelo e o caso de uma chuva de 75 mm acumulada em 24 horas, é necessária uma altura pluviométrica acumulada em 168 horas de aproximadamente 74,52 mm para que a probabilidade de ocorrência de deslizamento seja de 50%. Uma comparação entre um evento descrito por Riekmann, Pinheiro e Tachini (2005) pode ser realizada, ocorrido em 24 de novembro de 2004 em Blumenau, onde se registraram mais de 200 deslizamentos para uma chuva acumulada de sete dias de 43,6 mm e chuva acumulada no dia de 81,6 mm.

Figura 55 – Gráfico da probabilidade de ocorrência de deslizamento *versus* chuva acumulada de 168 horas, considerando uma chuva diária de 75 mm.



Fonte: A autora (2017).

Também foram determinadas as razões de chances de ocorrência de deslizamentos, e segundo o resultado mostrado a seguir, cada milímetro de chuva a mais no acumulado de 24 horas faz a chance de ocorrência de deslizamentos aumentar em 1,03, ou seja, faz aumentar em

3%, já para cada milímetro de chuva a mais no acumulado de 168 horas, a chance de ocorrência de deslizamentos aumentou em 1,01.

Tabela 17 – Razão de chances para as variáveis chuva acumulada em 24 e 168 horas.

	OD	2,5%	97,5%
Intercepto	0.06205166	0.04430006	0.08534937
Acumulada 24 h	1.03200621	1.01414930	1.05099001
Acumulada 168 h	1.00602625	0.99910810	1.01251902

Fonte: A autora (2017).

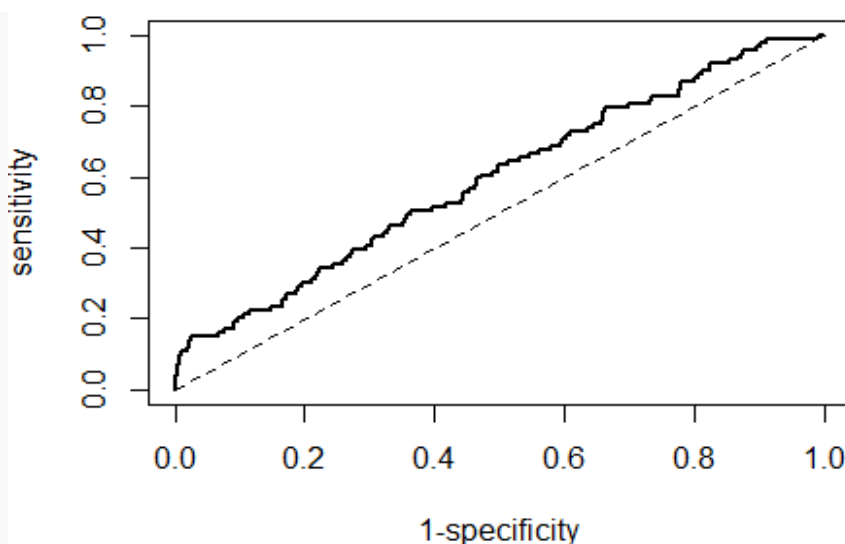
O teste proposto por Hosmer e Lemeshow, mostrou que o resultado para p-valor foi 0,7676, maior que o nível de significância adotado nesse estudo. Esse resultado indicou que a hipótese nula não pode ser rejeitada, logo os valores ajustados foram iguais aos observados. Esse resultado pode ser visualizado a seguir.

```
hoslem.test(modelo1$y, fitted(modelo1))
```

```
## Hosmer and Lemeshow goodness of fit (GOF) test
##
## data: modelo1$y, fitted(modelo1)
## X-squared = 4.9054, df = 8, p-value = 0.7676
```

A curva ROC gerada para esse modelo pode ser visualizada na Figura 56, a qual obteve um valor de 0,595 para a área abaixo da curva (AUC), sensibilidade de 0,020 e especificidade de 1,000, para um ponto de corte ajustado pelo próprio *software* de 0,783.

Figura 56 – Curva ROC correspondente ao modelo ajustado com os dados de chuva diária e chuva acumulada em 168 horas.



Fonte: A autora (2017).

O comando para a previsão realizada com esse modelo utilizando a amostra de treinamento das variáveis chuva diária e chuva acumulada em 168 horas é mostrado no apêndice N.

Nesse estudo optou-se pela verificação do desempenho dos modelos para diferentes valores para ponto de corte, assim como Giannechinni *et al.* (2015). Na tabela 18 podem ser visualizados os resultados obtidos para a classificação dos resultados da previsão realizada com o modelo ajustado com os dados de chuva diária e acumulada em 168 horas.

Tabela 18 – Métricas de avaliação da classificação dos resultados da previsão realizada no primeiro modelo com a amostra de treinamento dos dados de chuva diária e acumulada em 168 horas.

Ponto de corte	50%	20%	15%	10%
Acurácia	0,9153	0,91	0,8847	0,7834
Kappa	0,0363	0,1453	0,1264	0,0532
Sensitividade	1,0000	0,9857	0,9541	0,8346
Especificidade	0,0202	0,1111	0,1515	0,2424
VP	2	11	15	24
VN	1046	1031	998	873
FP	0	15	48	173
FN	97	88	84	75

Fonte: A autora (2017).

Na tabela percebeu-se que os valores de acurácia diminuíram à medida que o valor para ponto de corte também diminuiu. Os resultados para o índice Kappa mostraram que o ponto de corte correspondente a probabilidade de 20% foi o que apresentou o melhor resultado, de 0,1453, que segundo Landis e Koch (1977), indica uma concordância baixa. A sensibilidade também diminuiu conforme os pontos de corte diminuíram, ao contrário da especificidade, que teve um comportamento de aumento.

O comando utilizado para a geração da matriz de confusão para a classificação com ponto de 50% de probabilidade de ocorrência pode ser visualizado no apêndice N. A estrutura desse comando foi utilizada também para a geração das matrizes de confusão para os outros pontos de corte, sendo necessária apenas a modificação do valor presente na primeira linha de código e a amostra utilizada, na terceira linha.

De acordo com Fawcett (2006), os números dispostos na diagonal principal de uma matriz de confusão indicam a quantidade de eventos que foram classificados corretamente.

Na tabela 18 também estão os resultados obtidos nas matrizes de confusão oriundas do processo de classificação com os pontos de corte de 20%, 15% e 10% de probabilidade, lembrando que esse processo utilizou a amostra de treinamento dos dados de chuva diária e acumulada em 168 horas.

Nessa tabela podem ser visualizadas as quantidades de eventos classificados como verdadeiros positivos (VP), verdadeiros negativos (VN), falsos positivos (FP) e falsos negativos (FN) para os pontos de corte 50%, 20%, 15% e 10%. O resultado mostrou que à medida que o ponto de corte diminuiu, as quantidades referentes aos verdadeiros e falsos negativos diminuíram também, porém os verdadeiros e falsos positivos aumentaram.

No apêndice N também pode ser visualizado o comando para a previsão realizada ainda com o mesmo modelo, porém com a utilização da amostra reservada para teste, denominada de *Chuvastest*. A tabela 19 apresenta as métricas de avaliação da classificação dos resultados obtidos com a previsão fazendo uso do mesmo modelo, mas a partir da amostra de teste, sendo que os valores para ponto de corte foram mantidos. Os resultados de acurácia indicaram que à medida que o ponto de corte diminuiu, a acurácia também diminuiu. Esse comportamento indica que para pontos de corte menores a proporção de acertos do modelo também é menor, segundo Raposo (2014). O mesmo comportamento foi observado com os resultados da sensibilidade. Ao contrário disso, os resultados da especificidade aumentaram à medida que o ponto de corte diminuiu. O maior valor para o índice Kappa também foi obtido com o ponto de corte 20% de probabilidade de ocorrência de deslizamentos, e segundo a proposta de Landis e Koch (1977), indica uma concordância razoável.

Tabela 19 – Métricas de avaliação da classificação dos resultados da previsão realizada no primeiro modelo com a amostra de teste dos dados de chuva diária e acumulada em 168 horas

Ponto de corte	50%	20%	15%	10%
Acurácia	0,9162	0,9075	0,8796	0,7941
Kappa	0,0707	0,2129	0,177	0,1812
Sensibilidade	1,0000	0,9771	0,9426	0,8260
Especificidade	0,0400	0,1800	0,2200	0,4600
VP	2	9	11	23

VN	523	511	493	432
FP	0	12	30	91
FN	48	41	39	27

Fonte: A autora (2017).

Os resultados de VP, VN, FP e FN das matrizes de confusão, mostraram o mesmo comportamento observado na tabela anterior, pois a diminuição do valor de ponto de corte ocasionou a diminuição da quantidade verdadeiros e falsos negativos e aumento dos verdadeiros e falsos positivos.

5.3.2 Segundo modelo – Chuvas diárias

O mesmo método foi aplicado para o ajuste de um modelo a partir da série de chuvas diárias, com o objetivo de estimar a probabilidade de ocorrência de deslizamento segundo um dos critérios propostos pelo CEMADEN a Defesa Civil de Joinville para a ativação do Plano de Contingência. Esse critério propõe que o plano seja ativado quando da ocorrência de uma altura pluviométrica de 75 mm em 24 horas.

O comando para o ajuste pode ser visualizado no apêndice N, e o respectivo resumo numérico é mostrado a seguir. No resumo numérico verificou-se que a variável chuva diária, denominada de Acumulada24, foi significativa levando em consideração o nível de significância de 0,05.

```
summary(modelo2)
```

```
## Call:
## glm(formula = PadraoOuro ~ Acumulada24, family = "binomial",
##      data = Chuvastraining)
##
## Deviance Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -1.0333  -0.4079  -0.3832  -0.3797   2.3091
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept) -2.593770   0.123237 -21.047  < 2e-16 ***
## Acumulada24  0.038404   0.008352   4.598 4.26e-06 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
```

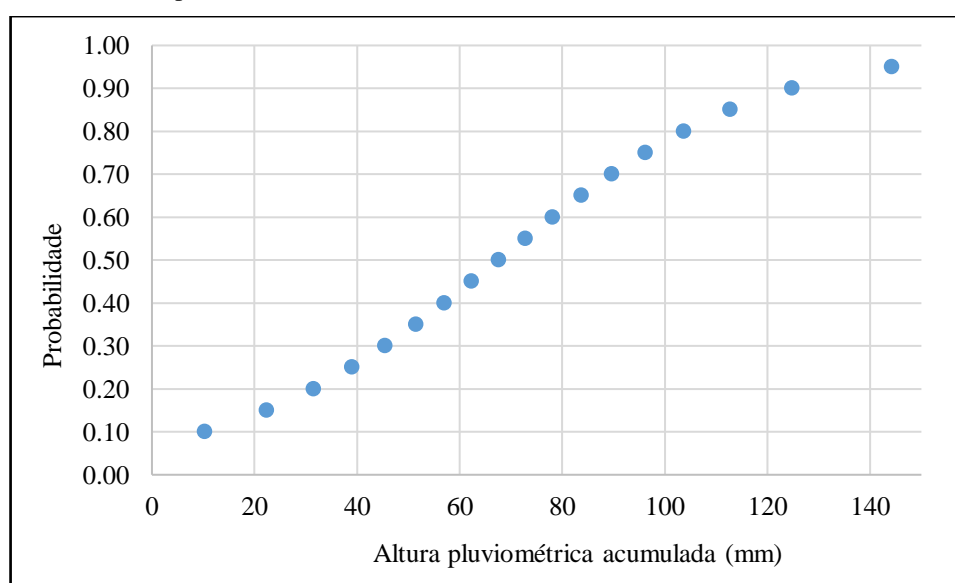
```
##
## Null deviance: 673.89 on 1144 degrees of freedom
## Residual deviance: 652.88 on 1143 degrees of freedom
## AIC: 656.88
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 5
```

A equação 15 representa o modelo ajustado com os dados de chuva diária, onde a variável X1 representa a chuva acumulada em um dia, expressa em milímetros de altura pluviométrica.

$$p = \frac{e^{-2,593770+0,038404X1}}{1 + e^{-2,593770+0,038404X1}} \quad (15)$$

Substituindo a variável X1 pelo valor de 75mm, foi possível calcular a probabilidade de ocorrência de deslizamento para o critério proposto pelo CEMADEN, e o resultado encontrado foi de 0,571146408, ou seja, de aproximadamente 57,11%. Substituindo a variável dependente “p” por valores de probabilidade entre 0 e 100% pode-se calcular os acumulados diários. A Figura 57 mostra o gráfico que contém esses resultados, sendo que para probabilidades inferiores a 10%, os resultados para os acumulados foram negativos e para a probabilidade de 100% o resultado foi muito alto. Como esses resultados não representam valores possíveis de serem verificados na realidade, optou-se por retirá-los do gráfico.

Figura 57 – Gráfico da probabilidade de ocorrência de deslizamento *versus* chuva acumulada de 24 horas.



Fonte: A autora (2017).

O resultado obtido para as razões de chance de ocorrência de deslizamento mostrou que para cada milímetro de chuva acumulada em 24 horas a mais, fez aumentar a chance de ocorrer um deslizamento na área de estudo em aproximadamente 1,04.

Tabela 20 – Razão de chances para as variáveis chuva acumulada em 24 horas.

	OR	2,5%	97,5%
Intercepto	0.07473772	0.05822457	0.09444508
Acumulada 24 horas	1.03915110	1.02255895	1.05661815

Fonte: A autora (2017).

O teste de Hosmer e Lemeshow apresentou um p-valor maior que o nível de significância adotado, logo os valores esperados são iguais aos observados. O comando utilizado para a execução do teste e o resultado de p-valor pode ser visualizado abaixo.

```
hoslem.test(modelo2$y, fitted(modelo2))
```

```
## Hosmer and Lemeshow goodness of fit (GOF) test
```

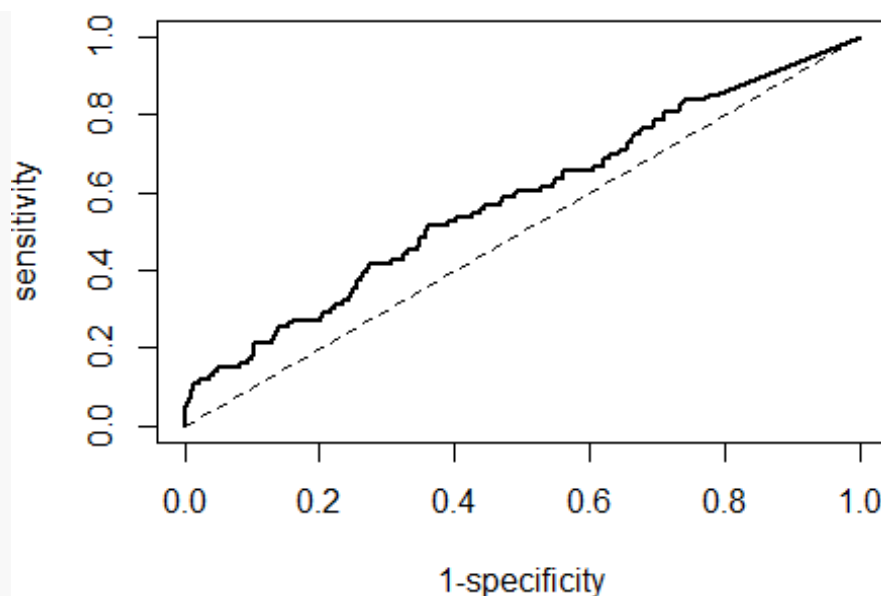
```
##
```

```
## data: modelo2$y, fitted(modelo2)
```

```
## X-squared = 5.8556, df = 8, p-value = 0.6634
```

O resultado da curva ROC é mostrada na Figura 58, sendo que o valor obtido para a área abaixo dela, AUC, foi de 0,564. A sensibilidade obtida foi de 0,030 e o valor da especificidade foi de 1,000, para um ponto de corte ajustado pelo próprio *software* de 0,455.

Figura 58 – Curva ROC correspondente ao modelo ajustado com os dados de chuva diária.



Fonte: A autora (2017).

Também se fez a previsão com esse modelo utilizando a amostra de treinamento, nesse caso denominada de *Chuvastraining*. O comando utilizado para a previsão é mostrado no apêndice N.

A tabela 21 traz os resultados para acurácia, índice Kappa, sensibilidade e especificidade resultantes do processo de classificação realizado com a previsão desse modelo, utilizando-se a amostra de treinamento. Os valores para acurácia e sensibilidade diminuíram à medida que se diminuiu o valor do ponto de corte, diferentemente dos valores de especificidade que apresentaram um aumento. O maior valor para o índice Kappa foi obtido com o ponto de corte de 20% de probabilidade, que segundo Landis e Koch (1977) indicam uma concordância baixa.

Na mesma tabela ainda podem ser visualizadas as quantidades de VP, VN, FP e FN oriundas das matrizes de confusão para essa previsão. Como visto no caso anterior, o comportamento de queda na quantidade verdadeiros e falsos negativos à medida que o ponto de corte diminui também foi observado. Ao contrário desse comportamento, a quantidade de verdadeiros e falsos positivos aumentou.

Tabela 21 – Métricas de avaliação da classificação dos resultados da previsão realizada no segundo modelo com a amostra de treino dos dados de chuva diária.

Ponto de corte	50%	20%	15%	10%
Acurácia	0,9153	0,91	0,8873	0,8114
Kappa	0,0363	0,1453	0,1223	0,0762
Sensibilidade	1,0000	0,9857	0,9579	0,8662
Especificidade	0,0202	0,1111	0,1414	0,2323
VP	2	11	14	23
VN	1046	1031	1002	906
FP	0	15	44	140
FN	97	88	85	76

Fonte: A autora (2017).

A previsão utilizando-se a amostra de teste também foi realizada, sendo o conjunto de dados indicado pelo nome *Chuvastest*, como pode ser visto no apêndice N. A tabela 22 mostra os resultados para acurácia, índice Kappa, sensibilidade e especificidade relacionados a essa mesma previsão. Com a diminuição dos valores para o ponto de corte percebeu-se que a acurácia e a sensibilidade diminuíram e a especificidade aumentou. O maior valor para o índice

Kappa foi obtido para o ponto de corte de 15%, indicando uma concordância razoável, segundo Landis e Koch (1977). Na tabela também estão as quantidades de VP, VN, FP e FN, obtidas com as matrizes de confusão considerando os diferentes pontos de corte. O comportamento de diminuição da quantidade de verdadeiros e falsos negativos e aumento de verdadeiros e falsos positivos à medida que se diminuiu o valor de ponto de corte também foi verificado nesse caso.

Tabela 22 – Métricas de avaliação da classificação dos resultados da previsão realizada no segundo modelo com a amostra de teste dos dados de chuva diária.

Ponto de corte	50%	20%	15%	10%
Acurácia	0,9145	0,9058	0,8883	0,8063
Kappa	0,0359	0,1457	0,2135	0,1678
Sensitividade	1,0000	0,9809	0,9503	0,8451
Especificidade	0,0200	0,1200	0,2400	0,4000
VP	1	6	12	20
VN	523	513	497	442
FP	0	10	26	81
FN	49	44	38	30

Fonte: A autora (2017).

5.3.3 Terceiro modelo – Chuvas acumuladas de 72 horas

Os mesmos comandos foram utilizados para o ajuste de um modelo de probabilidade de ocorrência de deslizamento para a série de dados de chuva acumulada em 72 horas. Vale lembrar que um dos critérios recomendados pelo CEMADEN para a ativação do Plano de Contingência da Defesa Civil de Joinville é a ocorrência de um acumulado de chuva de 100 mm em 72 horas.

O comando para o ajuste pode ser visualizado no apêndice N e o respectivo resumo numérico é mostrado a seguir. Com o resumo numérico se verificou que a variável relacionada a chuva acumulada em 72 horas, denominada no modelo de Acumulada72 foi significativa, por apresentar p-valor de 0,000176, menor que o nível de significância adotado de 0,05.

```
summary(modelo3)
```

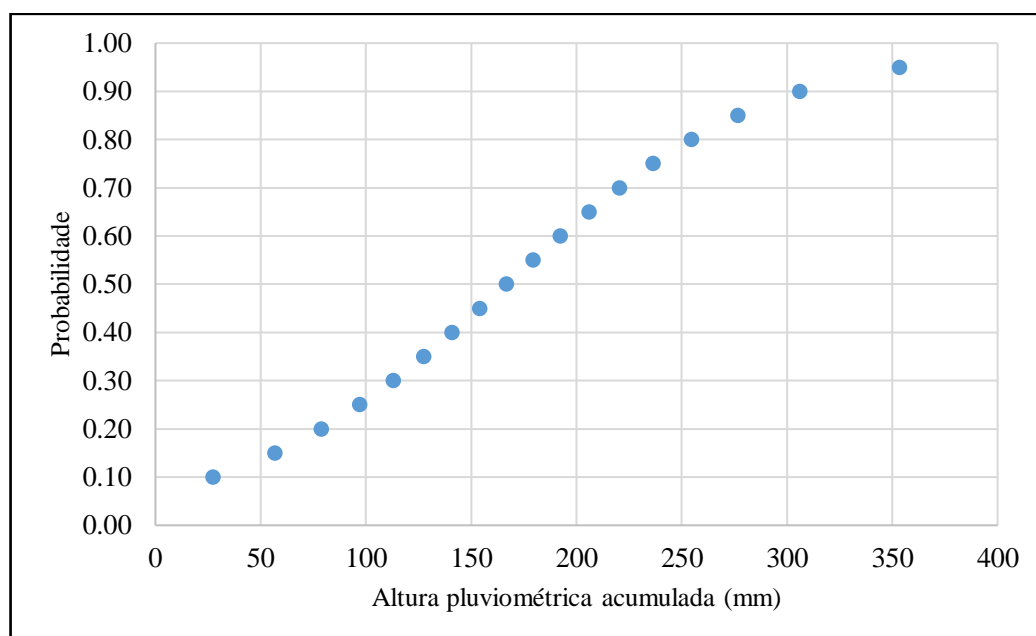
```
## Call:
## glm(formula = PadraoOuro ~ Acumulada72, family = "binomial",
##      data = Chuvastraining)
##
## Deviance Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -1.0330   -0.4308   -0.3903   -0.3748    2.3233
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept) -2.629145    0.135134 -19.456  < 2e-16 ***
## Acumulada72  0.015768    0.004204   3.751 0.000176 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
##
##      Null deviance: 673.89  on 1144  degrees of freedom
## Residual deviance: 661.54  on 1143  degrees of freedom
## AIC: 665.54
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 5
```

O modelo ajustado segundo os coeficientes apresentados no resumo numérico pode ser visualizado na equação 16, onde a variável X_1 indica a chuva acumulada em 72 horas. Foi calculada a probabilidade de ocorrência de deslizamentos por meio da substituição de X_1 pelo valor de 100 mm. O resultado encontrado foi de 0,2587750508, o que indica uma probabilidade de ocorrência de deslizamentos se caso for registrada uma chuva acumulada de 100 em 72 horas na área de estudo, de aproximadamente 25,88%.

$$p = \frac{e^{-2,629145+0,015768X_1}}{1+e^{-2,629145+0,015768X_1}} \quad (16)$$

Na Figura 59 estão os resultados dos cálculos realizados com a substituição de valores entre 0 e 100% para a probabilidade de ocorrência de deslizamentos, e os respectivos acumulados de 72 horas. Probabilidades inferiores a 10% estão relacionadas a acumulados de 72 horas negativos, logo optou-se por mostrar no gráfico apenas valores positivos. A probabilidade de 100% foi obtida com um valor muito alto para o acumulado, e por isso também foi retirada.

Figura 59 – Gráfico da probabilidade de ocorrência de deslizamento *versus* chuva acumulada de 72 horas.



Fonte: A autora (2017).

A razão de chances também foi determinada, sendo que o resultado mostrou que para cada milímetro de chuva acumulada em 72 horas a mais que precipitar, a chance de ocorrer um deslizamento aumenta em aproximadamente 1,02, conforme pode ser visto abaixo.

Tabela 23 – Razão de chances para as variáveis chuva acumulada em 72 horas.

	OR	2,5%	97,5%
Intercepto	0.07214012	0.05491481	0.0933425
Acumulada 72 horas	1.01589263	1.00731249	1.0242137

Fonte: A autora (2017).

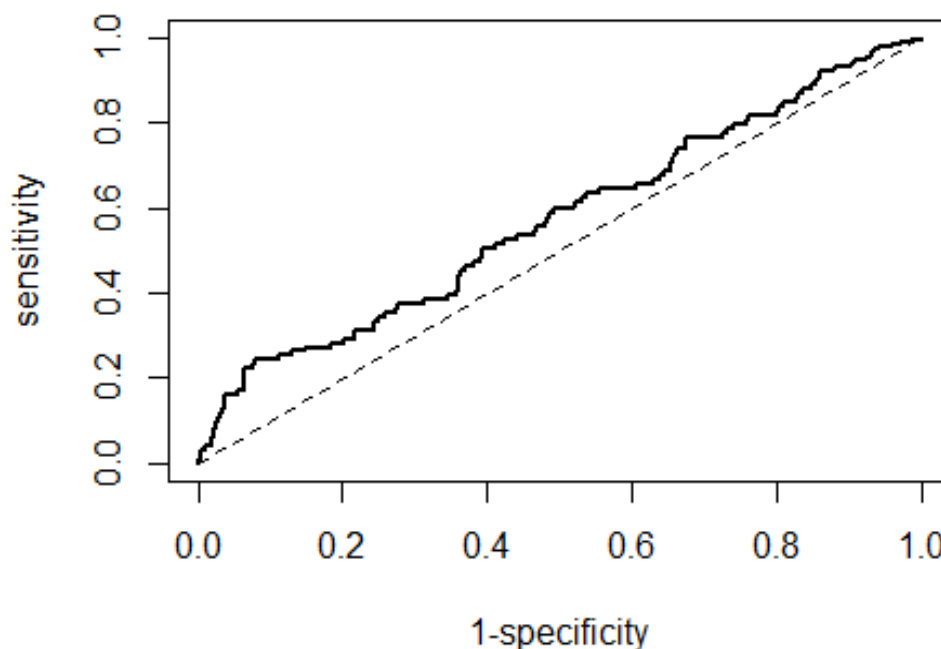
O teste de Hosmer e Lemeshow obteve um p-valor maior que o nível de significância adotado.

```
hoslem.test(modelo3$y, fitted(modelo3))
```

```
##
## Hosmer and Lemeshow goodness of fit (GOF) test
##
## data: modelo3$y, fitted(modelo3)
## X-squared = 11.47, df = 8, p-value = 0.1764
```

A curva ROC obtida com esse modelo pode ser visualizada na Figura 60. A área abaixo da curva (AUC) para um ponto de corte ajustado pelo próprio *software* de 0,577 foi de 0,570, já a sensibilidade e a especificidade foram de 0,010 e 1,000, respectivamente.

Figura 60 – Curva ROC correspondente ao modelo ajustado com os dados de chuva acumulada de 72 horas.



Fonte: A autora (2017).

A previsão da probabilidade de ocorrência também foi realizada para esse modelo, sendo utilizada primeiramente a amostra de treinamento, conforme pode ser visualizado no apêndice N.

A tabela 24 mostra os valores de acurácia, índice Kappa, sensibilidade e especificidade. Nesse caso também foi verificado que conforme o valor de ponto de corte diminuiu, os valores da acurácia e sensibilidade também diminuíram, ao contrário do comportamento verificado para a especificidade. O maior valor obtido para o índice Kappa foi com o ponto de corte de 15%, indicando uma concordância baixa.

Na tabela 24 ainda são apresentadas as quantidades de VP, VN, FP e FN obtidas com o processo de classificação. As quantidades indicam que o comportamento de aumento dos verdadeiros e falsos positivos e diminuição dos verdadeiros e falsos negativos se manteve nesse caso.

Tabela 24 – Métricas de avaliação da classificação dos resultados da previsão realizada no terceiro modelo com a amostra de treino dos dados de chuva acumulada de 72 horas.

Ponto de corte	50%	20%	15%	10%
Acurácia	0,9144	0,9083	0,8987	0,7764
Kappa	0,0183	0,036	0,0934	0,064
Sensitividade	1,0000	0,9914	0,97514	0,8241
Especificidade	0,0101	0,0303	0,09091	0,2727
VP	1	3	9	27
VN	1046	1037	1020	862
FP	0	9	26	184
FN	98	96	90	72

Fonte: A autora (2017).

Finalmente, fez-se a análise dos resultados para a previsão utilizando-se a amostra de dados reservados para teste. O comando utilizado para a realização dessa previsão pode ser visualizado no apêndice N. Na tabela 25 estão os resultados das medidas de avaliação, sendo que pela primeira vez foi percebido que os valores de acurácia não diminuíram conforme a redução dos pontos de corte, já que a maior acurácia foi obtida para o ponto de corte de 20%. No entanto a sensibilidade continuou a apresentar o comportamento de diminuição, ao contrário da especificidade. Quanto ao índice Kappa, o maior valor obtido foi para o ponto de corte de 10%, indicando uma concordância baixa.

Tabela 25 – Métricas de avaliação da classificação dos resultados da previsão realizada no terceiro modelo com a amostra de teste dos dados de chuva acumulada de 72 horas.

Ponto de corte	50%	20%	15%	10%
Acurácia	0,9127	0,9145	0,8953	0,7993
Kappa	0	0,0662	0,1197	0,1586
Sensitividade	1,0000	0,9981	0,9694	0,8375
Especificidade	0,0000	0,0400	0,1200	0,4000
VP	0	2	6	20
VN	523	522	507	438

FP	0	1	16	85
FN	50	48	44	30

Fonte: A autora (2017).

5.3.4 Comparação dos resultados obtidos com a previsão dos modelos

Comparando os resultados das métricas de avaliação da previsão realizada com o primeiro modelo a partir das amostras de treino e de teste, foi verificado que os valores de acurácia e sensibilidade podem ser considerados muito próximos. Entretanto, os valores de especificidade e índice Kappa apresentaram variações, conforme pode ser visto na tabela 26.

Com os resultados dispostos na forma de tabela foi possível concluir que a previsões realizadas com as duas amostras apresentou valores maiores de acurácia para os pontos de corte de 50% e 20%. No entanto, percebeu-se que dada a proximidade dos resultados obtidos com a amostra de treino e de teste, a proporção de acertos foi próxima para as duas previsões. O mesmo comportamento ocorreu com a sensibilidade, o que indicou que a proporção de verdadeiros positivos em relação ao total de positivos foi próxima para as duas previsões.

Já os resultados para especificidade mostraram valores baixos, o que leva a conclusão de que a proporção de verdadeiros negativos em relação a todos os negativos foi pequena. Os resultados para o índice Kappa variou entre 0,0363 e 0,2129, indicando graus de concordância baixa a razoável, respectivamente, conforme a escala de Landis e Koch (1977).

Tabela 26 – Comparação entre as métricas de avaliação da previsão realizada com o primeiro modelo a partir das amostras de treino e de teste.

Ponto de corte	50%	20%	15%	10%
Acurácia (treino)	0,9153	0,91	0,8847	0,7834
Acurácia (teste)	0,9162	0,9075	0,8796	0,7941
Sensibilidade (treino)	1,000	0,9857	0,9541	0,8346
Sensibilidade (teste)	1,000	0,9771	0,9426	0,8260
Especificidade (treino)	0,0202	0,1111	0,1515	0,2424
Especificidade (teste)	0,0400	0,1800	0,2200	0,4600
Kappa (treino)	0,0363	0,1453	0,1254	0,0532
Kappa (teste)	0,0707	0,2129	0,177	0,1812

Fonte: A autora (2017).

Os resultados das métricas de avaliação do segundo desempenho mostraram uma proximidade maior se comparada com o primeiro modelo. Na tabela 27 pode ser visualizado esses resultados. Para os pontos de corte de 50% e 20% foi verificado que os valores de todas as métricas mostraram resultados mais próximos do que para os pontos de corte de 15% e 10%. No entanto, concluiu-se que o segundo modelo apresentou uma grande proporção de acertos, dados os valores de acurácia. A proporção de verdadeiros positivos em relação a todos os positivos também foi grande, considerando os resultados de sensibilidade. A proporção de verdadeiros negativos em relação a todos os negativos se mostrou baixa devido aos valores baixos de especificidade. Os resultados para o índice Kappa variaram entre 0,0359 e 0,2135, que segundo a escala de Landis e Koch (1977), indicam uma concordância baixa e razoável, respectivamente.

Tabela 27 – Comparação entre as métricas de avaliação da previsão realizada com o segundo modelo a partir das amostras de treino e de teste.

Ponto de corte	50%	20%	15%	10%
Acurácia (treino)	0,9153	0,91	0,8873	0,8114
Acurácia (teste)	0,9145	0,9058	0,8883	0,8063
Sensitividade (treino)	1,000	0,9857	0,9579	0,8662
Sensitividade (teste)	1,000	0,9809	0,9503	0,8451
Especificidade (treino)	0,0202	0,1111	0,1414	0,2323
Especificidade (teste)	0,0200	0,1200	0,2400	0,4000
Kappa (treino)	0,0363	0,1453	0,1223	0,0762
Kappa (teste)	0,0359	0,1457	0,2135	0,1678

Fonte: A autora (2017).

Os resultados das métricas de avaliação da previsão realizada com o terceiro modelo também mostraram valores próximos, e com o mesmo comportamento já observado nos outros dois modelos. Os valores altos de acurácia para os pontos de corte de 50% e 20% indicaram uma alta proporção de acertos do modelo tanto para a amostra de treino quanto para a de teste, assim como a sensibilidade, que devido aos seus resultados altos, pode-se concluir que a proporção de verdadeiros positivos em relação a todos os positivos foi grande. Semelhante aos outros modelos, a especificidade apresentou resultados baixos, o que indicou uma pequena proporção de verdadeiros negativos em relação a todos os negativos. Os valores para o índice

Kappa variaram entre 0,0000 e 0,1586, que conforme a escala proposta por Landis e Koch (1977), indicam uma concordância baixa. A tabela 28 mostra a comparação dos resultados.

Tabela 28 – Comparação entre as métricas de avaliação da previsão realizada com o terceiro modelo a partir das amostras de treino e de teste.

Ponto de corte	50%	20%	15%	10%
Acurácia (treino)	0,9144	0,9083	0,8987	0,7764
Acurácia (teste)	0,9127	0,9145	0,8953	0,7993
Sensitividade (treino)	1,000	0,9914	0,97514	0,8241
Sensitividade (teste)	1,000	0,9981	0,9694	0,8375
Especificidade (treino)	0,0101	0,0303	0,09091	0,2727
Especificidade (teste)	0,0000	0,0400	0,1200	0,4000
Kappa (treino)	0,0183	0,036	0,0934	0,064
Kappa (teste)	0,0000	0,0662	0,1197	0,1586

Fonte: A autora (2017).

Os três modelos apresentaram resultados que podem ser considerados altos para acurácia com os pontos de corte de 50% e 20%. Os valores também altos para sensibilidade, indicam que os modelos dificilmente classificarão valores da classe positiva à classe negativa, segundo a explicação de Raposo (2014), o que resulta em uma baixa taxa de falsos negativos.

Ao contrário disso, os baixos valores para especificidade encontrados indicam que os modelos podem classificar valores da classe negativa à classe positiva, o que pode resultar em muitos falsos positivos, ainda de acordo com Raposo (2014).

Esse comportamento pode ter sido ocasionado em virtude da pouca quantidade de deslizamentos registrados em comparação a toda amostra, ou seja, existem muito mais casos que dias que não registraram deslizamentos em comparação aos dias que tiveram registro. Isso pode explicar o motivo de que as previsões realizadas com esses modelos apresentaram valores baixos para a taxa de falsos negativos.

6 CONCLUSÃO

O estudo sobre os limiares pluviométricos deflagradores de deslizamentos em Joinville entre 2012 e 2016 envolveu uma sequência de etapas e atividades diferenciadas, que iniciaram com a realização de um termo de cooperação técnica e por fim, o ajuste de modelos matemáticos para a probabilidade de ocorrências de deslizamentos.

Durante o processo de coleta de informações no banco de dados da Defesa Civil de Joinville foi possível perceber a pouca quantidade de registros de informações em cada caso de deslizamentos, sendo que na maioria das ocorrências havia apenas dados sobre a data da sua abertura, local e as suas consequências. Com relação a isso, percebeu-se também que os campos a serem preenchidos nos laudos técnicos do órgão se apresentaram de forma aberta, deixando margem para a interpretação do agente que realizou as vistorias. Em alguns desses documentos foram vistas informações administrativas relacionadas ao atendimento do órgão, o que não se enquadrava como características dos casos de deslizamentos. Devido a esse motivo, foi necessário pesquisar informações nos laudos técnicos realizados pelo geólogo do órgão, afim de se obter dados mais precisos sobre os casos de deslizamentos.

A série de dados pluviométricos registrados por algumas estações pertencentes a rede de monitoramento da Defesa Civil de Joinville apresentou períodos com falhas, sendo que para algumas estações meteorológicas como Cubatão e Unidade de Obras esses períodos podem ser considerados longos, lembrando que os dados da estação Ceasa não participaram desse estudo devido à grande quantidade de dados faltantes. Ao contrário dessas estações, viu-se que a estação Paraíso registrou a maioria dos dados pluviométricos, mesmo apresentando pequenos intervalos com falhas.

Algumas causas levantadas e que explicam as falhas durante os registros segundo a Defesa Civil de Joinville foram primeiramente, a falta de um programa de manutenção da rede de monitoramento, o vandalismo sofrido por algumas estações e problemas com a estação repetidora devido a temporais ocorridos na região.

O *software R*® (R CORE TEAM, 2017) e sua respectiva interface *Rstudio*® (2017), assim como os pacotes estatísticos pertencentes a ele, se mostraram como uma alternativa tanto para a realização da análise dos dados pluviométricos, quanto para o ajuste dos modelos para a probabilidade de ocorrência de deslizamentos com base nos acumulados de chuva. É importante ressaltar a praticidade durante a aplicação dos comandos existentes nos pacotes estatísticos utilizados durante essa pesquisa, o que possibilitou o desenvolvimento dos modelos mencionados.

O método de preenchimento de dados faltantes nas séries pluviométricas adotado nessa pesquisa pertence ao pacote estatístico *Hyfo* (YUANCHAO XU, 2017), e tem base na correlação e regressão linear entre duas estações meteorológicas. O resultado obtido com este método mostrou ser apropriado após análise das Curva Dupla Massa de cada estação. Para todas elas, os Coeficientes de Determinação resultantes dos modelos baseados nos dados após o preenchimento foram superiores a 0,99.

As análises das informações coletadas sobre os deslizamentos mostraram que os bairros que mais registraram ocorrências na Defesa Civil de Joinville foram Costa e Silva, Nova Brasília, Boehmerwald e Iriirú, com 15, 13, 12 e 12 ocorrências respectivamente, durante o período em estudo.

No ano de 2012, os bairros com mais ocorrências abertas foram Costa e Silva, Nova Brasília e Vila Nova. No ano de 2013, os bairros foram Nova Brasília, Iriirú, Guanabara, Itinga, Jarivatuba e Petrópolis. Em 2014, as maiores quantidades de ocorrências originaram nos bairros Boehmerwald, Costa e Silva, Paranaguamirim e Petrópolis. Em 2015, os maiores números de registros foram nos bairros Costa e Silva, João Costa, Floresta, Boehmerwald, Iriirú e Nova Brasília. E finalmente em 2016, os bairros com mais ocorrências registradas foram Itaum, Boehmerwald e Iriirú.

As informações coletadas nos laudos técnicos realizados pelo geólogo da Defesa Civil do município, indicaram que para a maioria dos casos de deslizamentos as características foram drenagem inexistente, inexistência de obra de contenção, grau de risco baixo, consequências como danos a bens particulares e riscos a terceiros e elementos em risco como edificações e moradias. O local da maioria desses casos foram as encostas naturais e taludes de corte.

Características como a praticidade e aplicabilidade também puderam ser percebidas com o uso o *software ArcGis®* versão 10.1, já que a partir de alguns arquivos disponíveis no SIMGeo (2017) foi possível construir diferentes tipos de mapas e assim obter as informações necessárias para a continuidade dessa pesquisa.

Por meio desse mesmo *software* foram definidas as áreas de abrangência de cada estação meteorológica, e conseqüentemente, estabeleceu-se o peso que cada uma dessas áreas possuía em relação ao cálculo da altura pluviométrica equivalente para toda a região através do método do Polígono de Thiessen.

A análise temporal dos acumulados de chuva em paralelo com a quantidade de ocorrências registradas através de gráficos mostrou que para o período em estudo, os meses de março, junho e outubro foram os que apresentaram as maiores quantidades de ocorrências. O

ano com a maior quantidade de ocorrências de deslizamentos e também o maior acumulado de chuva foi 2015.

Com os gráficos de chuva acumulada e quantidade de ocorrências registradas, distribuídos por mês, foi possível visualizar uma relação entre os dados para os anos de 2012, 2013, 2014 e 2015. No ano de 2016 não foi possível visualizar essa relação da mesma forma que os outros anos.

Também não foi possível visualizar faixas de valores nos gráficos de altura pluviométrica acumulada entre 24 e 168 horas que fossem capazes de indicar a quantidade de dias de chuva acumulada a ser considerada para o estudo dos limiares. Por esse motivo, se optou por verificar a significância dessas variáveis por meio da construção de modelos de regressão logística.

Três modelos foram ajustados para estimar a probabilidade de ocorrência de deslizamentos no perímetro urbano de Joinville. O primeiro modelo considerou as variáveis chuva diária e chuva acumulada de 168 horas, as quais se mostraram ter a menor correlação. O segundo e o terceiro modelo se basearam em dois dos critérios propostos pelo CEMADEN à Defesa Civil de Joinville para a ativação do Plano de Contingência.

O primeiro critério define que para a ativação do plano seja necessária a ocorrência de uma altura pluviométrica de 75 mm em 24 horas. Para o segundo critério de ativação do plano se faz necessária a ocorrência de uma altura pluviométrica acumulada de 100 mm em 72 horas. Logo, o ajuste do segundo e terceiro modelo utilizaram dados de chuva acumulada em 24 horas e 72 horas, respectivamente.

A avaliação dos modelos foi realizada através dos resultados obtidos com a análise das variáveis significativas considerando o nível de significância de 0,05, a verificação da razão de chances para cada variável, o p-valor resultante do teste proposto por Hosmer e Lemeshow e os valores referentes a curva ROC, como a área abaixo da curva (AUC), sensibilidade e especificidade.

No primeiro modelo se verificou que somente a variável chuva diária foi significativa durante o seu ajuste. Essa variável apresentou uma razão de chances de ocorrências de deslizamentos de 1,03, ou seja, a cada milímetro a mais de chuva acumulada num dia, aumenta as chances de ocorrência de deslizamentos em 1,03. Esse modelo apresentou um p-valor de 0,7676 para o teste proposto por Hosmer e Lemeshow, o que significa que os valores previstos são iguais aos observados. A área abaixo da curva ROC obtida com esse modelo foi de 0,595, com sensibilidade de 0,020 e especificidade de 1,000, para um ponto de corte ajustado pelo próprio programa de 0,783.

Esse primeiro modelo diferentemente dos outros dois modelos ajustados, não possui um valor limiar já estabelecido no plano de contingência apresentado pela Defesa Civil de Joinville, já que o mesmo foi ajustado a partir das variáveis menos correlacionadas verificadas durante esse estudo. Logo, optou-se por fixar o critério de 75 mm para o acumulado de chuva em 24 horas e então calcular os respectivos acumulados em 168 horas para diferentes valores de probabilidade de ocorrência de deslizamento.

Realizando essas substituições, foram obtidos valores para chuva acumulada em 168 horas. Com esses resultados, se verificou que para valores de probabilidades inferiores a 45%, os resultados para chuva acumulada em 168 horas foram negativos, o que não corresponde à realidade. O resultado desse acumulado considerando a probabilidade de 100% também apresentou um valor muito grande, não sendo constatado um valor com essa magnitude na série de dados analisada.

O resumo numérico do segundo modelo proposto mostrou que a variável chuva diária foi significativa e que cada milímetro registrado a mais, faz aumentar as chances de ocorrência de deslizamentos em 1,03. O resultado obtido com o teste de Hosmer e Lemeshow foi positivo, já que o p-valor encontrado foi de 0,6634. A curva ROC resultante desse modelo teve AUC de 0,564, sensibilidade 0,030 e especificidade de 1,000. A probabilidade de ocorrência de deslizamentos calculada através da substituição de X1 pelo valor de 75 mm, foi de aproximadamente 57,11%.

No terceiro modelo verificou-se que a variável referente a chuva acumulada de 72 horas foi significativa no ajuste e que cada milímetro a mais registrado nesse período faz aumentar a chance de ocorrência de deslizamentos em 1,02. Esse modelo obteve um p-valor de 0,1764 no teste de Hosmer e Lemeshow, o que indicou que os valores previstos são iguais aos observados. A área abaixo da curva ROC foi de 0,570, sendo os valores para a sensibilidade de 0,010 e para a especificidade de 1,000. Após a substituição da variável X1 pelo valor de 100 mm, foi obtida uma probabilidade de ocorrência de deslizamentos igual a 25,88%.

Os valores de acurácia dos modelos apresentaram resultados considerados altos para pontos de corte de 50% e 20%. Os valores altos para sensibilidade, indicaram que os modelos propostos dificilmente classificarão valores da classe positiva à classe negativa. Porém, os baixos valores para especificidade encontrados indicaram que os modelos podem classificar valores da classe negativa à classe positiva.

Um motivo para a ocorrência desses resultados pode ser a pouca quantidade de dias com deslizamentos registrados se comparados a todos os dias que compõem a amostra, o que explica

as previsões realizadas com esses modelos apresentarem valores baixos para a taxa de falsos negativos.

Essa pesquisa, em seu princípio, teve o objetivo de estudar os limiares críticos deflagradores de deslizamentos no Perímetro Urbano de Joinville, no entanto a falta de informações presentes nos laudos de vistorias da Defesa Civil do município dificultou a definição desses limites críticos. Porém, por meio da Regressão Logística foi possível verificar valores de acumulados que chuva capazes de aumentar a probabilidade de ocorrência de deslizamentos, e assim atender ao objetivo desse trabalho.

Devido à pouca quantidade de informações coletadas nos laudos técnicos da Defesa Civil de Joinville, não foi possível ajustar um modelo que utilizasse essas informações como variáveis. Por essa razão, sugere-se que sejam feitos mais estudos sobre o uso de SIG para a determinação de algumas características do local e que possam contribuir com o ajuste desse modelo.

Estudos sobre a parcela de contribuição de cada uma dessas características para a ocorrência de deslizamentos em Joinville também são necessários, pois dessa forma será possível conhecer os comportamentos das áreas de risco do local. Mais estudos também são necessários quanto ao método de preenchimento de dados faltantes adotado nesse trabalho, realizando uma validação cruzada, por exemplo.

Uma outra sugestão é um estudo que vise a criação de um questionário a ser utilizado pela Defesa Civil de Joinville, de maneira concomitante ou até substituindo o questionário utilizado atualmente. O objetivo desse questionário é facilitar a coleta de informações, tornando os campos de preenchimento mais claros através da inclusão de mais perguntas e até mesmo ilustrações explicativas. Um exemplo de melhoria que poderia ser realizada nesses formulários e que tange o objetivo desse trabalho, diz respeito ao nome dado ao evento, evitando assim que ocorrências de deslizamentos possam ser nomeadas como colapso de estruturas.

Esse estudo deu continuidade ao trabalho de conclusão de curso da autora, o qual teve o objetivo de analisar a existência da relação entre os casos de deslizamentos e as chuvas no perímetro urbano de Joinville. Maiores estudos são necessários nessa área com o objetivo de contribuir e melhorar os resultados apresentados nessa dissertação, e por essa razão é dada ênfase a sua continuidade.

Com base no que foi presenciado durante esse trabalho e nas necessidades da Defesa Civil de Joinville, sugere-se que seja realizado um estudo que vise a criação de mapas de suscetibilidade a deslizamentos e que considerem as características locais, como geologia, geometria das encostas, declividade e entre outras, durante a sua confecção.

Além de tudo isso, é importante que os resultados alcançados com as pesquisas relacionadas a Defesa Civil sejam arquivados em um banco de dados próprio, e assim sugere-se o estudo da criação de um acervo digital para tais pesquisas e que possa ser facilmente acessado pelos agentes desse órgão e outros pesquisadores.

REFERÊNCIAS

ATLAS do Desenvolvimento Humano no Brasil. Brasília: PNUD, IPEA, Fundação João Pinheiro, 2014.

AMARAL JÚNIOR, Alberto Ferreira do. **Mapeamento geotécnico aplicado a análise de processos de movimentos de massa gravitacionais: Costa Verde – RJ – Escala 1:10.000**, 2007. 189 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

ANOCHI, Juliana Aparecida. **Previsão climática de precipitações por redes neurais autoconfiguradas**, 2015. 135 f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2015.

ARISTIZÁBAL, Edier; GONZÁLEZ, Tommy; MONTOYA, Juan David; VÉLEZ, Jaime Ignacio; MARTINEZ, Hermám; GUERRA, Alexánder. Análisis de umbrales empírico de lluvia para el pronóstico de movimientos en masa em el Valle del Aburrá, Colombia. **Revista EIA**, n. 15, p. 95-111, 2011. Disponível em: <http://scielo.org.co/pdf.eia/n15/n15a09.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11.682**: Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro, 2009.

AZEVEDO, George Fernandes. **Análise da relação chuva-escorregamento em regiões tropicais montanhosas urbanas, caso de estudo Rio de Janeiro, Brasil**, 2011. 120 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

BAUZYS, Fernanda. Identificação, análise e mapeamento dos movimentos de massa ocorridos em novembro de 2008, no alto da Bacia do Ribeirão Belchior, Gaspar – SC, 2010. 237 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. Precipitação. In: TUCCI, C. E. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/ Editora UFRGS, 2001. p. 177 – 239.

BITTENCOURT, Hélio Radke. Regressão Logística politômica: revisão teórica e aplicações, **Revista Acta Scientiae**, v.5, n.1, p.77-86, 2003. Disponível em: < <http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/acta/article/view/146>>. Acesso em: 15 maio de 2017.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional da Defesa Civil. **Glossário de Defesa Civil, Estudos de Riscos e Medicina de Desastres**. Brasília, [201-]. 191 f. Disponível em: < <http://www.mi.gov.br/web/guest/defesacivil/publicacoes>>. Acesso em 16 dez. 2016.

BRITO, Mariana Madruga de. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS**, 2014. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

CAMPBELLSCI. Disponível em: <<https://www.campbellsci.com>>. Acesso em: 21 abr. de 2016.

CARVALHO, Hudson de Paula; RUIZ, Marcos Vinícius dos Santos. Avaliação da consistência de séries históricas de chuva da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, em Minas Gerais. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 12, n. 6, p. 76 - 84, 2016. Disponível em: <http://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/1480>. Acesso em: 16 dez. 2016.

CASTRO, Jeanne Michelle Garcia. **Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto**. 2006, 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006. Disponível em:

<<http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2737>>. Acesso em: 15 mar. 2016.

CHANG, Kang-tsung; CHIANG, Shou-Hao; LEI, Feng. Analysing the Relationship Between Typhoon - Triggered Landslides and Critical Rainfall Conditions. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 33, n. 8, p. 1261–1271, 2008. Disponível em:

<<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/esp.1611/full>>. Acesso em: 19 jun. 2016.

CHANG, Kang-Tsung; CHIANG, Shou-Hao. An integrated model for predicting rainfall-induced landslides. **Geomorphology**, v. 105, n. 3-4, p.366 – 373, 2009. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X08004649>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

CHECHI, Leonardo; SANCHES, Fábio de Oliveira. O Uso do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) na avaliação do Fenômeno do El Niño Oscilação Sul (ENOS) no Alto Uruguai Gaúcho entre 1957-2012. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 6, p. 1586 -1597, 2013.

Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbge/index.php/revista/article/viewArticle/655>>. Acesso em: 16 dez. 2016.

CORREIA, Tamíres Partélli; DOHLER, Rafael Esteves; DAMBROZ, Carlos Silva; BINOTI, Daniel Henrique Breda. Aplicação de redes neurais artificiais no preenchimento de falhas de precipitação mensal na região serrana do espírito Santo. **Geociências**, v. 35, n. 4, p. 560 – 567, 2016. Disponível em:

<<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/9971>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

DAI, F. C.; EE, C. F. A spatiotemporal probabilistic modelling of storm-induced shallow landsliding using aerial photographs and logistic regression. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 28, n. 5, p. 527 – 545, 2003. Disponível em:

<<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/esp.456/abstract>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

FAWCETT, Tom. An introduction to ROC analysis. **Pattern Recognition Letters**, v.27, n.8, p.861-874, 2006. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016786550500303X>>. Acesso em: 15 maio 2017.

FIORI, Alberto Pio. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE JOINVILLE (JOINVILLE). **Joinville Cidade em Dados 2016**. Joinville: Prefeitura Municipal, 2016.

GIANNECHINI, Roberto. Relationship between rainfall and shallow landslides in the southern Apuan Alps (Italy). **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 6, n. 3, 357-364, 2006. Disponível em: <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/6/357/2006/>. Acesso em: 20 jul. 2016.

GIANNECCHINI, Roberto; GALANTI, Yuri, AVANZI, Giacomo D'amato; BARSANTI, Michele. Probabilistic rainfall thresholds for triggering debris flow in a human-modified landscape. **Geomorphology**, v. 257, p. 94 – 107, 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X15302312>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

GUIDICINI, Guido; NIEBLE, Carlos Manoel. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1983.

HAIR JR., Joseph F.; ANDERSON, Rolph E.; TATHAM, Ronald L., BLACK, William C. **Análise Multivariada de Dados**. Porto Alegre: Bookman Companhia Editora, 2005.

HAIR JR., Joseph; BLACK, William C.; BABIN, Barry J.; ANDERSON, Rolph E.; TATHAM, Ronald L. **Análise Multivariada de Dados**. Porto Alegre: Bookman Companhia Editora, 2009.

HOSMER, David W.; LEMESHOW, Stanley. **Applied Logistic Regression**. New York: John Wiley & Sons, INC, 2000.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>. Acesso em: 19 nov. 2016.

INTERNATIONAL GEOTECHNICAL SOCIETIES' UNESCO WORKING PARTY ON WORLD LANDSLIDE INVENTORY - WP/WLI. **Multilingual Landslide Glossary**. Bulletin International Association for Engineering Geology. Canadá, 1993.

JOINVILLE. Plano Básico de Urbanismo (PBU). Joinville: Prefeitura Municipal, 1966.
JOINVILLE. Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil, Eventos Naturais Extremos. Joinville: Prefeitura Municipal, v. 4, 2016.

LANDIS, J. Richards; KOCH, Gary G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. **Biometrics**, v. 3, n. 1, p. 159 – 174, 1977. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2529310> >. Acesso em: 04 jul. 2017.

LIN, Gwo-Fong; CHANG, Ming-Jui; HUANG, Ya-Chiao; HO, Jui-Yi. Assessment of susceptibility to rainfall-induced landslides using improved self-organizing linear output map, support vector machine, and logistic regression. **Engineering Geology**. v. 227, p. 62-74, 2017. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013795216303933>>. Acesso em: 22 jun 2017.

LIMA, Walter de Paula. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. 2. ed. Piracicaba, 2008. Disponível em: < www.ipef.br/hidrologia/hidrologia.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2016.

MASSAD, Façal. **Obras de terra Curso Básico de Geotecnia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

MELLO, Yara de. **Distribuição de precipitações no município de Joinville (SC) e sua relação com a incidência de leptospirose**, 2015. 92 f. Dissertação (Mestrado em Saúde e meio Ambiente) – Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2015.

MELLO, Yara Rúbia de; OLIVEIRA, Therezinha Maria Novais de. Análise Estatística e Geoestatística da Precipitação Média para o Município de Joinville (SC). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 2, p. 229-239, 2016. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v31n2/0102-7786-rbmet-31-02-0229.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2016.

MENDES, Rodolfo Moreda; VALERIO FILHO, Mario; BERTOLDO, Mathilde Aparecida; SILVA, Marlon Ferreira. Estudo de limiares críticos da chuva deflagradores de deslizamentos no município de São José dos Campos/SP (Brasil). **Territorium**, n. 22, p. 119-129, 2015. Disponível em: < <http://livrozilla.com/doc/1591889/territorium-22--2015--119-129>>. Acesso em: 31 mar. 2016.

MOLINA, Ellen A. N., CARDOSO, Andréa O., NOGUEIRA, Fernando R. Relação Precipitação-Deslizamento no Município de São Bernardo do Campo-SP. **Ciência e Natura**, v. 37, p. 46-54, 2015. Disponível em: <<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:vfTPTn9oICQJ:cascavel.ufsm.br/revistas/ojs2.2.2/index.php/cienciaenatura/article/download/16214/pdf+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>>. Acesso em: 31 mar. 2016.

MONTENEGRO, Santhiago Guedes. **Modelo de Regressão Logística ordinal em dados categóricos na área de ergonomia experimental**. 2009. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

MOREIRA, J. L. B. **Estudo da distribuição espacial das chuvas em belo horizonte e seu entorno**. 2002. 107f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

OHLMACHER, Gregory, C.; DAVIS, John C. Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslides hazard in northeast Kansas, USA. **Engineering Geology**, v. 69, n. 3-4, p.331-343, 2003.

OLIVEIRA, G. A.; EHRLICH, M.; LACERDA, W. Correlação chuvas, piezometria e movimentos das encostas dos km 87 e km101 da BR-116/RJ. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 5., 2009, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: ABMS, 2009. Disponível em: <<https://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/cobrae/2009-oliveira-ehrllich.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2016.

OLIVEIRA, Luiz F. C. de; FIOREZE, Ana P.; MEDEIROS, Antonio M. M.; SILVA, Mellissa A. S. Comparação de metodologia de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n. 11, p.1186 – 1192, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n11/v14n11a08.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2016.

PACA, Victor Hugo da Motta; LIMA, Aline Maria Meiguins de; AZAMBUJA, Andressa Macêdo Silva de; FORTES, Julio Domingos Nunes; SOUZA, Johelder Eduardo Fornari de. Condições de operação e implantação de estações da rede hidrométrica da Amazônia oriental - Estado do Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais eletrônicos...** Maceió: SBRH, 2011. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/Evento_Consid_Paca.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2016.

PARIZZI, Maria Giovana; SEBASTIÃO, Cristiane Silva; VIANA, Cláudia de Sanctis; PFLUEGER, Marcelo de Carvalho; CAMPOS, Luciane de Castro; CAJAZEIRO, Joana Maria Drumond; TOMICH, Rodolfo Sena; GUIMARÃES, Roberta Nunes; ABREU, Magda Luzimar de; SOBREIRA, Frederico Garcia; REIS, Rui Bran dos. Correlação entre chuvas e movimentos de massa no município de Belo Horizonte, MG. **Geografias**, v. 6, p. 49-68, 2010. Disponível em : <<http://www.cantacantos.com.br/revista/index.php/geografias/article/viewFile/117/115>>. Acesso em: 23 maio 2016.

PEREIRA, S.; ZÊZERE, J. L.; BATEIRA, C. Estabelecimento de limiares de precipitação de base empírica para a ocorrência de fluxos de lamas e de detritos no Norte de Portugal. **APGEOM**. v. 6, p. 155-162, 2009. Disponível em: <http://web.letras.up.pt/dynat/PDF/Estabelecimento%20de%20limiares%20criticos%20de%20precipita%C3%A7%C3%A3o_155_162.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2016.

R CORE TEAM (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RAPOSO, Letícia Martins. **Aplicação da Regressão logística e da Rede Neural Probabilística na classificação de resistência aos antirretrovirais Lopinavir e Nelfinavir**, 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

RIEKMANN, C. G.; PINHEIRO, A.; TACHINI, M. Estudo da relação entre precipitações e deslizamentos em áreas de risco em Blumenau – SC. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Sul, 1., 2005, Santa Maria. **Anais eletrônicos...** Santa Maria: ÁguaSul, 2005. Disponível em: <ceops.furb.br/index.php/.../10-simposiorechidricoschuvaxdeslizamentosblumenau>. Acesso em: 31 mar. 2016.

RIGUETTO, Antônio Marozzi. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998.

SANCHES, Fábio de Oliveira; VERDUM, Roberto; FISCH, Gilberto. O Índice de Anomalia de Chuva (Iac) na avaliação das precipitações anuais em Alegrete/RS (1928-2009). **Caminhos de Geografia**, v. 15, n. 51, p. 73-84, 2014. Disponível em:

<<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/26423>>. Acesso em: 16 dez. 2016.

SEPÚLVEDA, Sergio A.; PADILLA, Cristóbal. Rain-induced debris and mudflow triggering factors assessment in the Santiago Cordilleran foothills, Central Chile. **Natural Hazards**, v. 47, n. 2, p. 201 – 245, 2008. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-007-9210-6>>. Acesso em: 30 mai. 2017.

SOARES, Fábio Lopes; RAMOS FILHO, Geraldo Moura. Correlação entre movimentos de massa e pluviosidade nas encostas de João Pessoa-PB. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 17., 2014, Goiânia. **Anais eletrônicos...** Goiânia: COBRAMSEG, 2014. Disponível em: <<http://www.abms.com.br/anais-cobramsegsbmrgeojovem/>>. Acesso em: 31 mar. 2016.

SOUZA, Fábio Teodoro de. **Predição de escorregamentos das encostas do município do Rio de Janeiro através de técnicas de mineração de dados**, 2004. 108 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SQUITTER. Disponível em: <<http://www.squitter.com.br/equipamentos/6/estacoes-hidrologicas>>. Acesso em: 19 nov. 2016.

TOMINAGA, Lúcia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosângela do. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 2ª ed., São Paulo: Instituto Geológico, 2012.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1993.

VARNES, David J. Slope Movements Types and Processes. In: SCHUSTER, Robert L.; KRIZEK, Raymond J. **Landslides Analysis and Control**. Washington: Transportation Research Board, 1978. cap. 2, p. 11-33.

VICTORINO, Mariana M.; SESTREM, Liamara Paglia; KORMANN, Alessandro C. M. Definição de uma faixa pluviométrica crítica para a deflagração de movimentos de terra em taludes rodoviários localizados no trecho da serra do mar da rodovia BR – 376/PR. **Transportes**, v. 25, n. 1, p. 113-120, 2017.

YUANCHAO XU (2017). hyfo: Hydrology and Climate Forecasting. R package version 1.3.9. <https://CRAN.R-project.org/package=hyfo>.

ANEXOS

ANEXO A – QUESTIONÁRIO APLICADO ÀS 192 OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS REGISTRADAS PELA DEFESA CIVIL DE JOINVILLE

VISTORIA Nº:

LOCALIZAÇÃO:

PONTO DE REFERÊNCIA:

COORDENADAS UTM:

SOLICITANTE:

TIPO DE SITUAÇÃO

- () Movimento ocorrido
() Possibilidade de movimento
() Estudo/Projeto

ASPECTOS LOCAIS

TIPOS DE OCUPAÇÃO

- () Favela
() Área urbana estruturada
() Área não ocupada
() Estradas
() Outros

DENSIDADE

- () Alta
() Média
() Baixa

TIPO DE VEGETAÇÃO

- () Arbórea
() Arbustiva
() Rasteira
() Nenhuma

CONDIÇÕES DA VEGETAÇÃO

- () Alta
() Média
() Baixa
() Suave

DRENAGEM

- () Natural
() Construída
() Inexistente

RELEVO

- () Escarpado
() Montanhoso
() Ondulado

PERFIL DA ENCOSTA

- () Côncavo
() Convexo
() Retilíneo

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

LOCAL VISTORIADO

- () Encosta natural
() Talude de corte
() Talude de aterro
() Talvegue
() Extração mineral
() Outros

ALTURA (m): _____

LARGURA (m): _____

INCLINAÇÃO (m) : _____

OBRAS DE CONTENÇÃO EXISTENTE : () Sim () Não

CARÁTER DA OBRA: () Pública () Privada

NATUREZA DO MATERIAL: () Solo () Rocha

CONDIÇÕES DE SATURAÇÃO

- () Seco
() Úmido
() Saturado
() Ver croqui anexo
() Com surgência
() Tubulação rompida
() Artesianismo

ESTADO DO MATERIAL

- () Com trincas
() Sem trincas
() Com blocos (solo)
() Fraturada
() Sem fraturas
() Com blocos (rocha)

ORIGEM DO MATERIAL

- () Tálus
() Aterro
() Solo residual
() Solo sedimentar
() Colúvio
() Entulho
() Lixo

CARACTERÍSTICAS DA SITUAÇÃO

DATA/HORA:

VOLUME ESTIMADO (M³):

PLUVIOMETRIA (ÚLTIMAS 48 H):

GRAU DE RISCO

- () Alto
() Média
() Baixo

CONSEQUÊNCIAS

- () Vítimas fatais
() Vítimas não fatais
() Obstrução de vias

Nº DE ELEMENTOS EM RISCO

- () Vidas
() Moradias
() Hospital/escola

Nº DE VIDAS

- () <10
() Entre 10 e 30
() >30

- ☐ Danos a bens particulares
- ☐ Danos a bens públicos
- ☐ Riscos para terceiros
- ☐ Sem consequências

TIPOLOGIA DO MOVIMENTO

- ☐ Queda
- ☐ Tombamento
- ☐ Escorregamento
- ☐ Escoamento
- ☐ Subsidência
- ☐ Complexo

- ☐ Edificação/estrutura
- ☐ Estradas
- ☐ Outros (especificar)

CARACTERÍSTICAS

- ☐ Rotacional
- ☐ Planar
- ☐ Complexo
- ☐ Lento
- ☐ Rápido

SUPERFÍCIE DO DESLIZAMENTO

- ☐ Solo - solo
- ☐ Solo - rocha
- ☐ Rocha - rocha
- ☐ Não identificada (descrever)

NECESSIDADE DE PROVIDÊNCIA URGENTES:

DESCRIÇÃO (INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES):

NOME:

CREA:

INSTITUIÇÃO:

LOCAL E DATA DESTE RELATÓRIO:

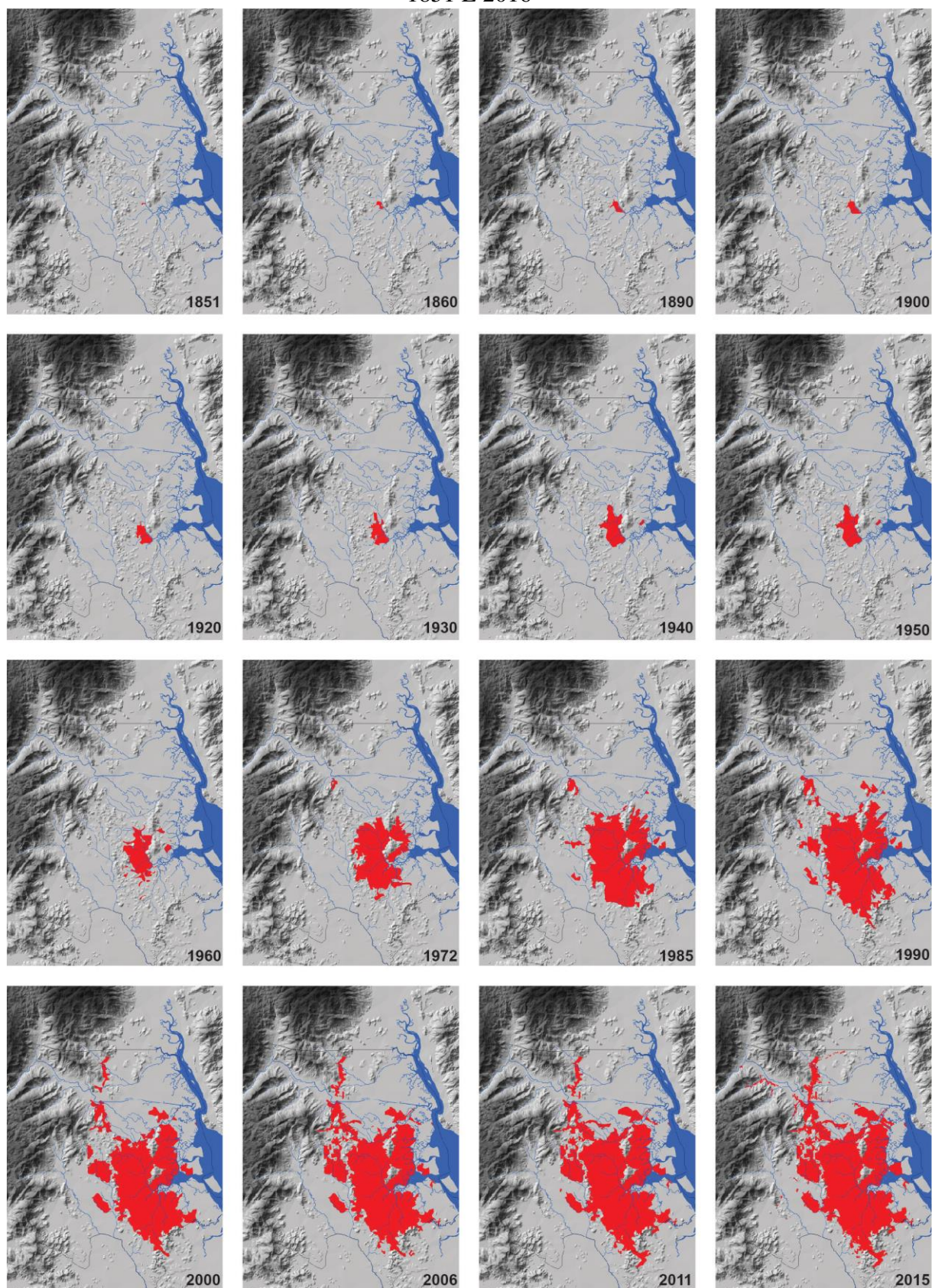
RELATÓRIO PRELIMINAR:

CROQUI:

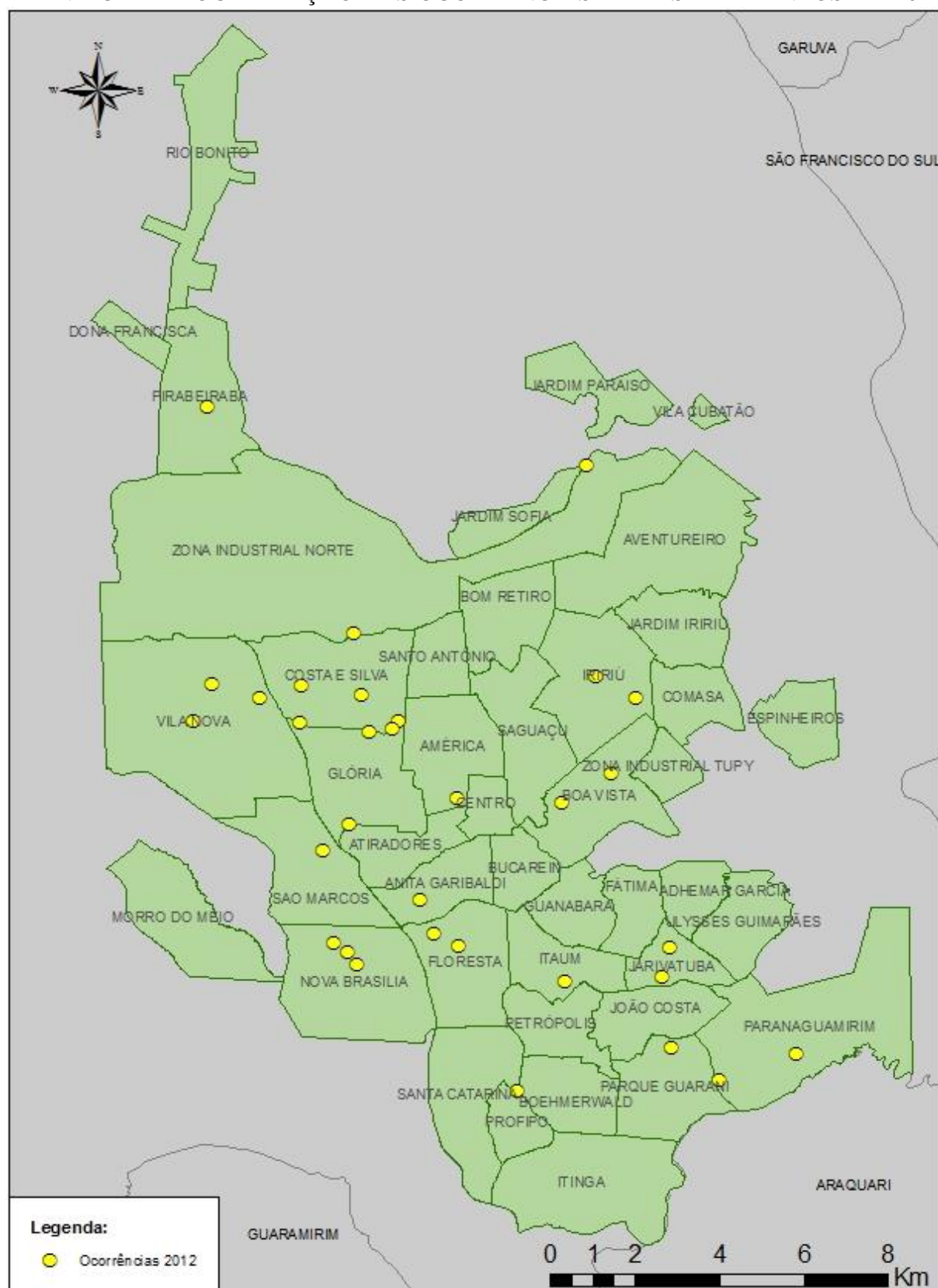
FOTOS:

OUTROS:

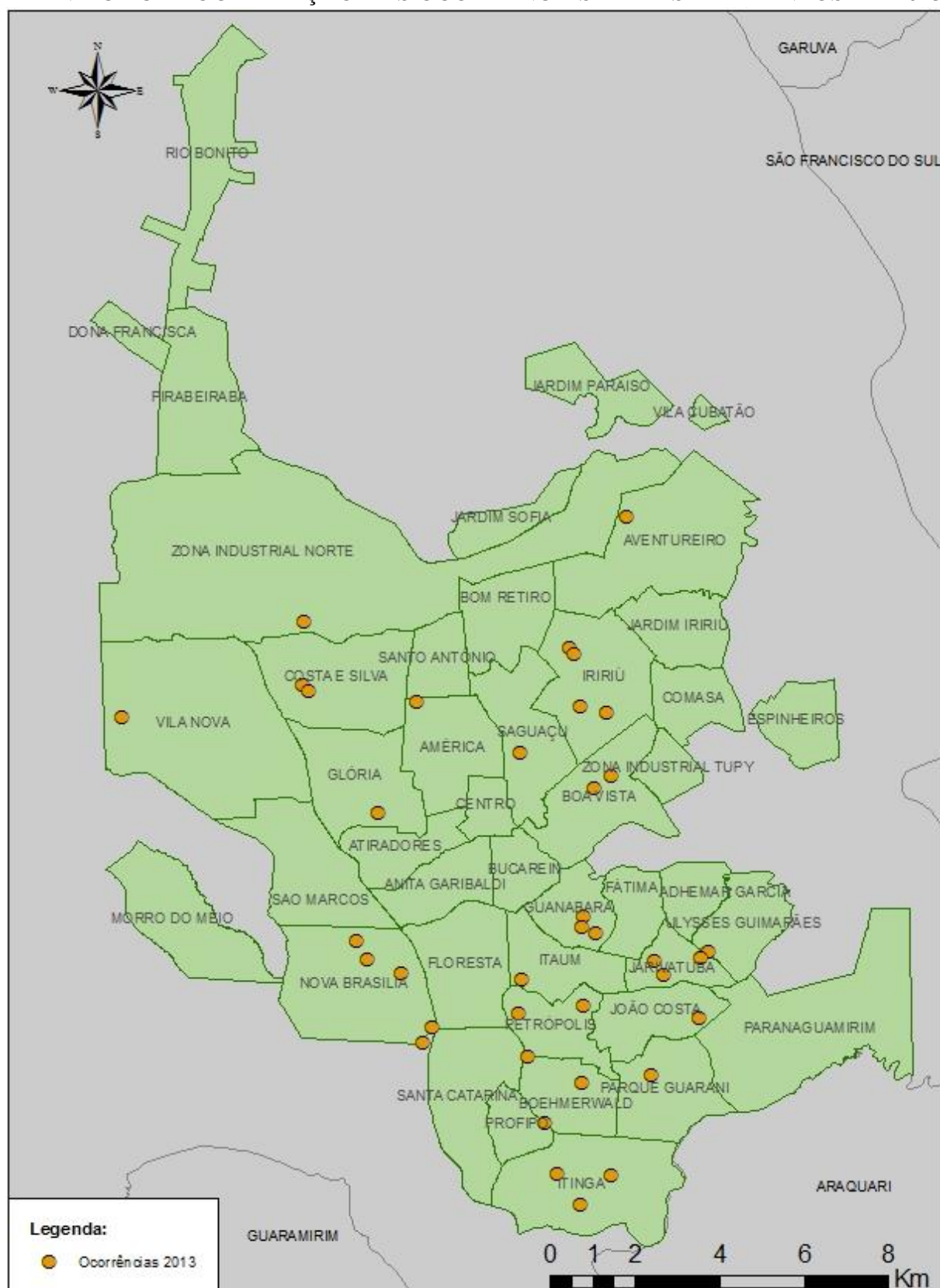
ANEXO B – EVOLUÇÃO URBANA OCORRIDA EM JOINVILLE ENTRE OS ANOS DE
1851 E 2016



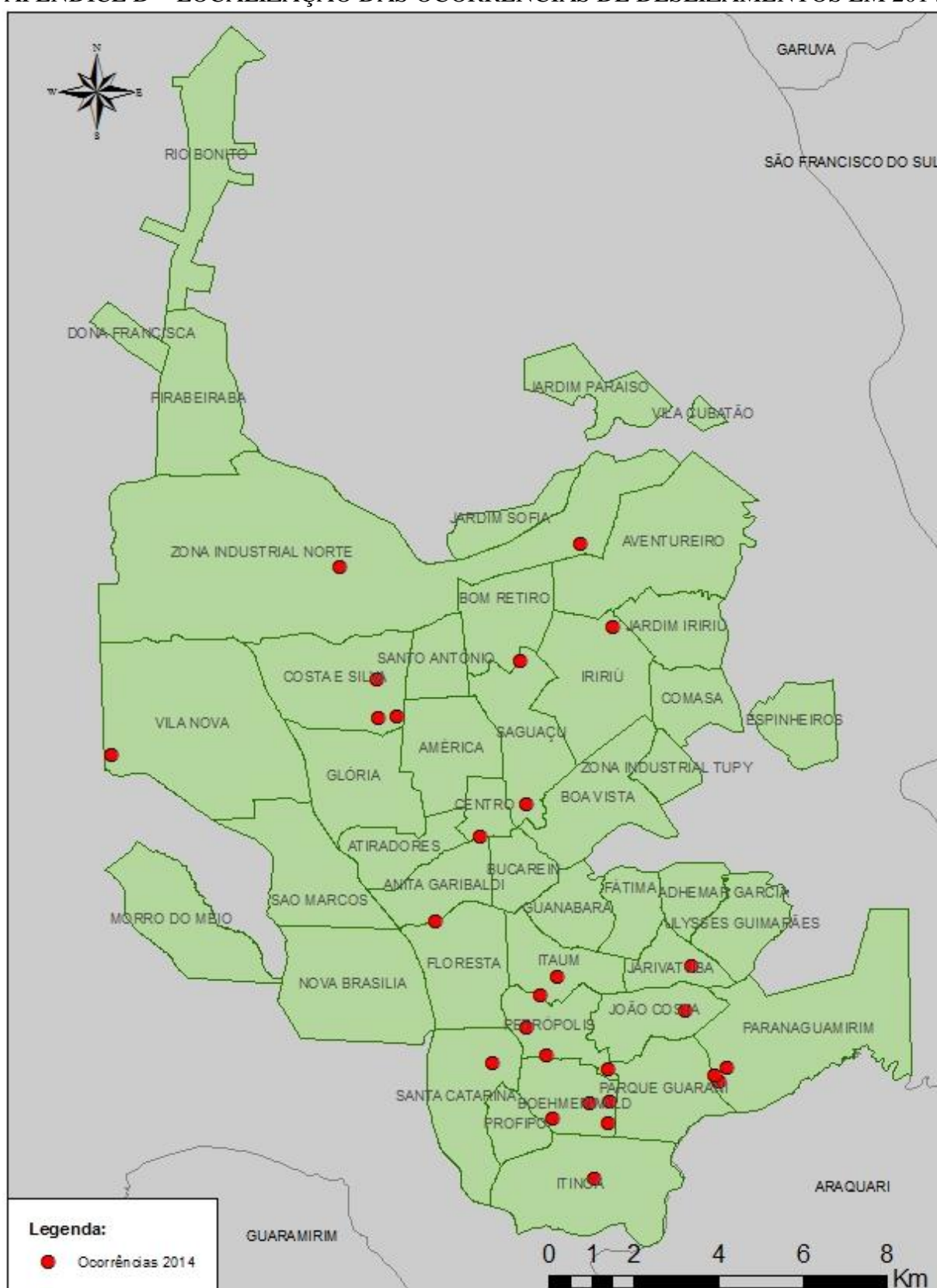
APÊNDICE B – LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS EM 2012



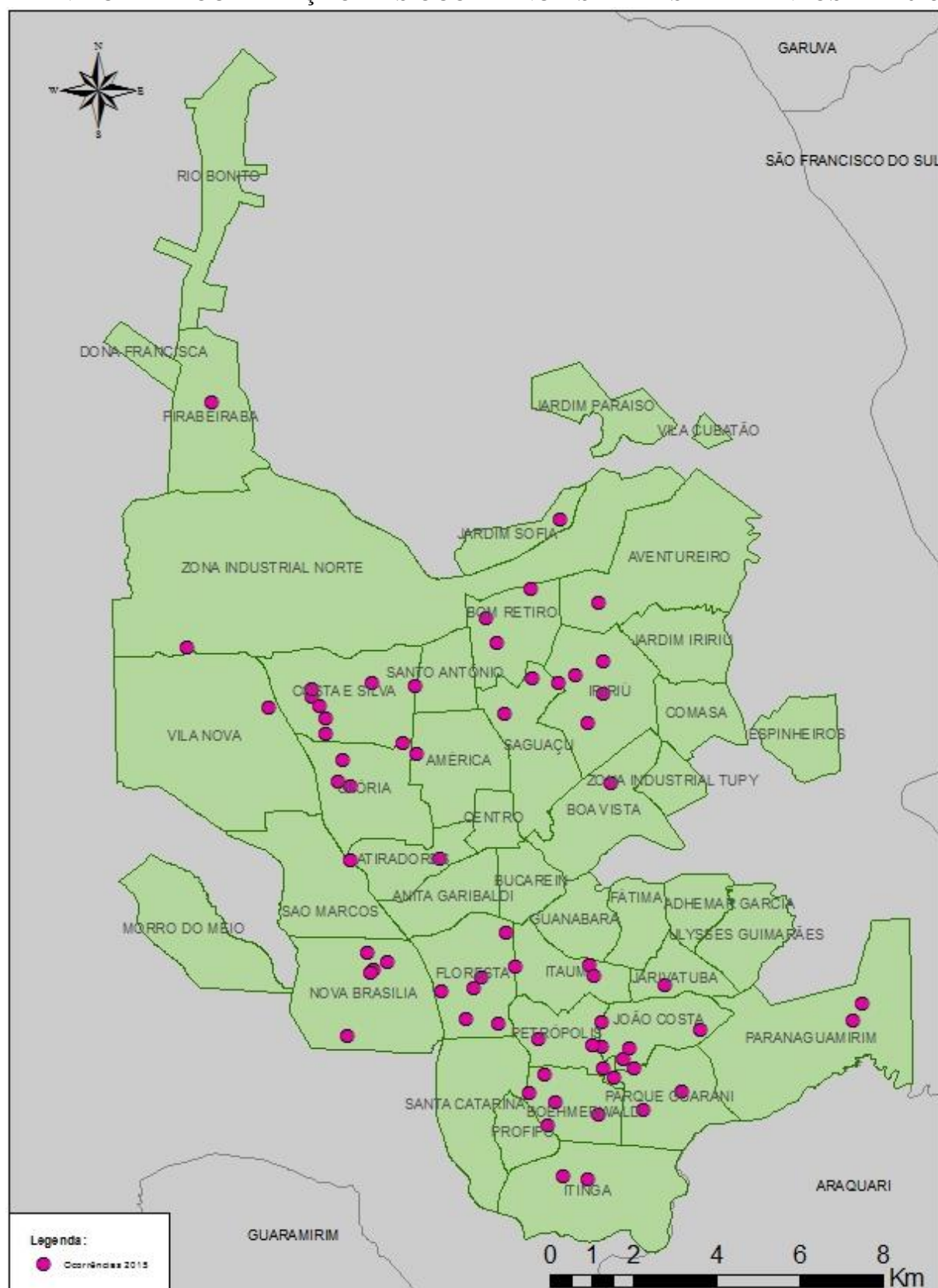
APÊNDICE C – LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS EM 2013



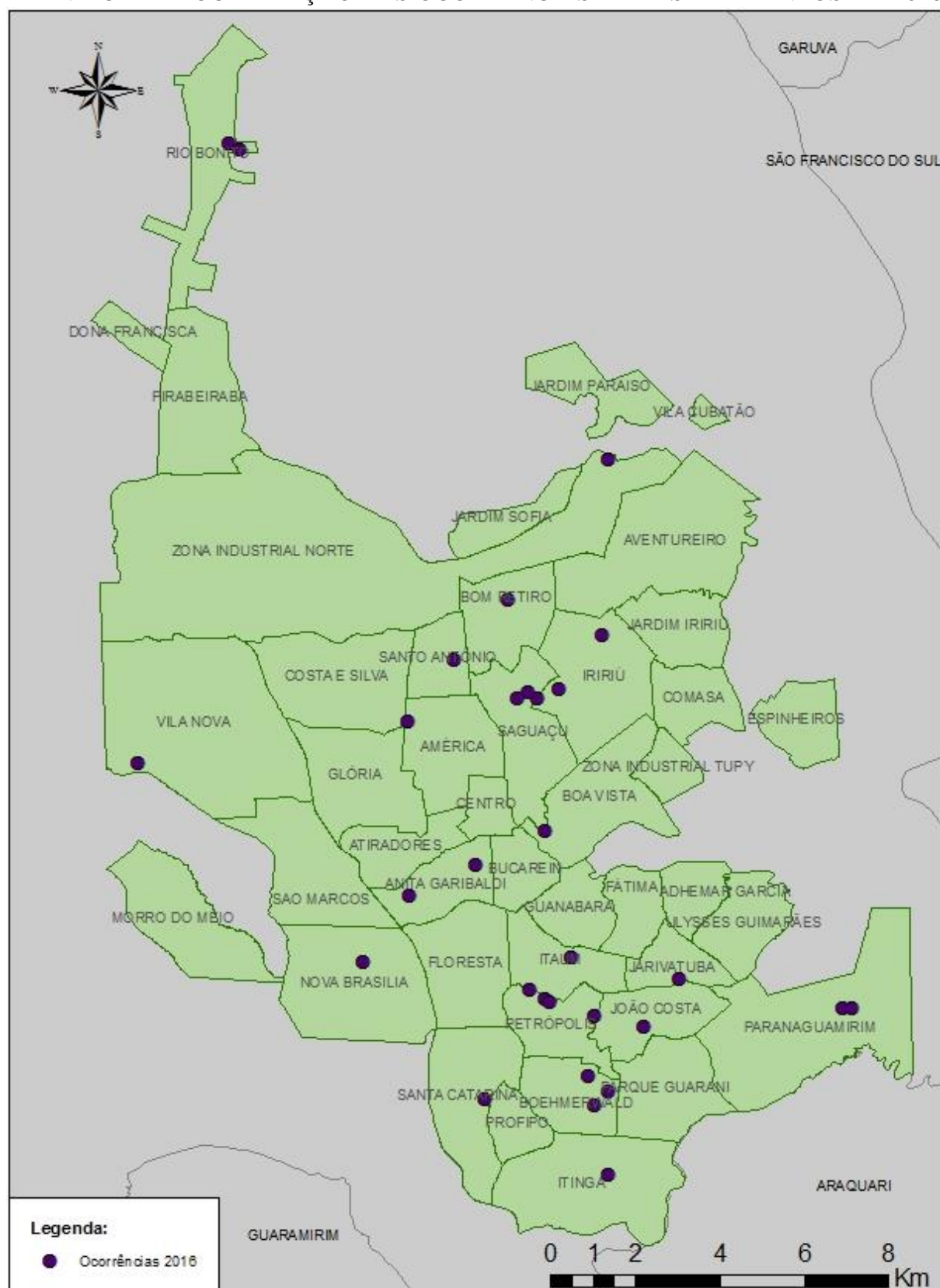
APÊNDICE D – LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS EM 2014



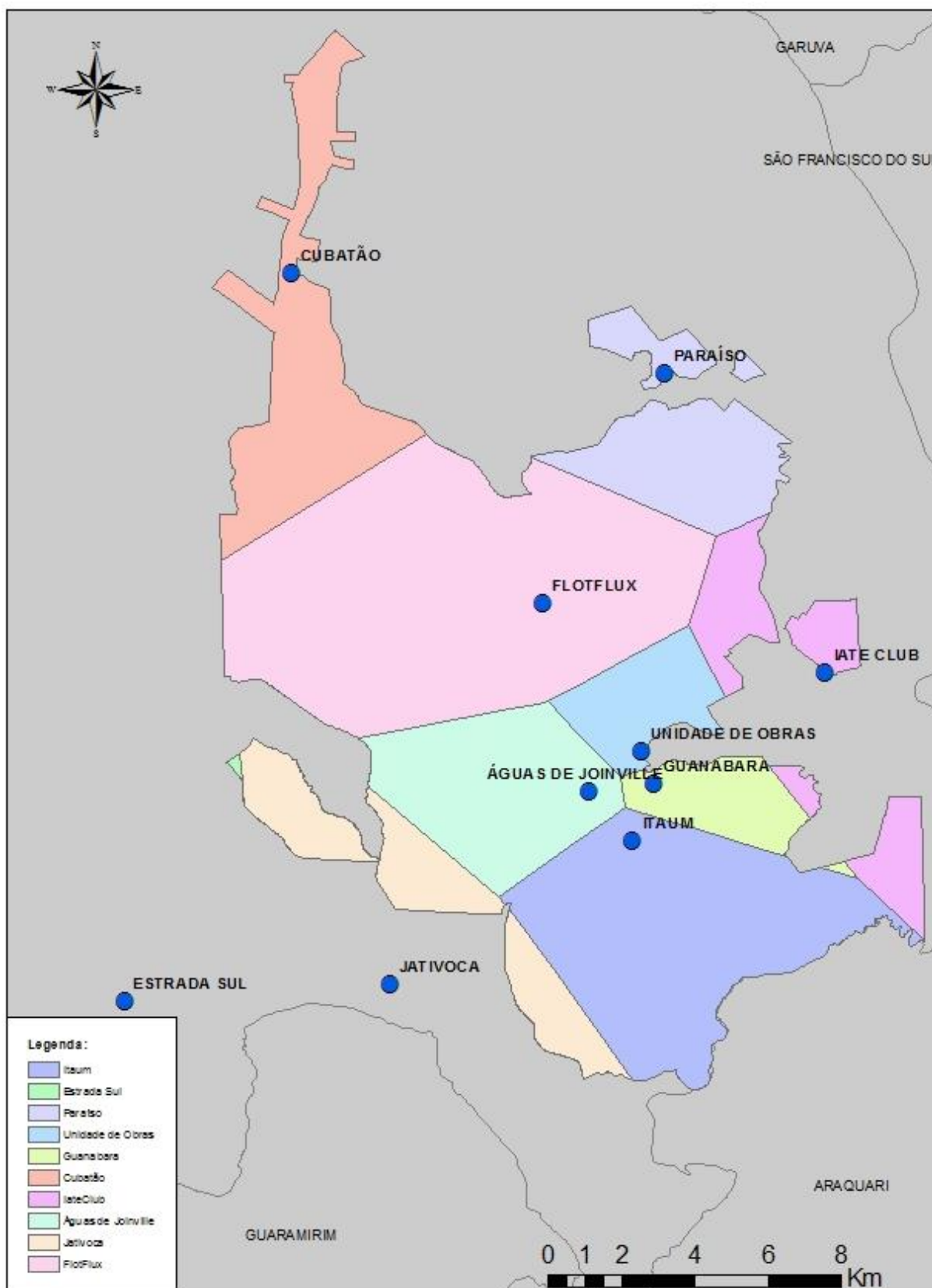
APÊNDICE E – LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS EM 2015



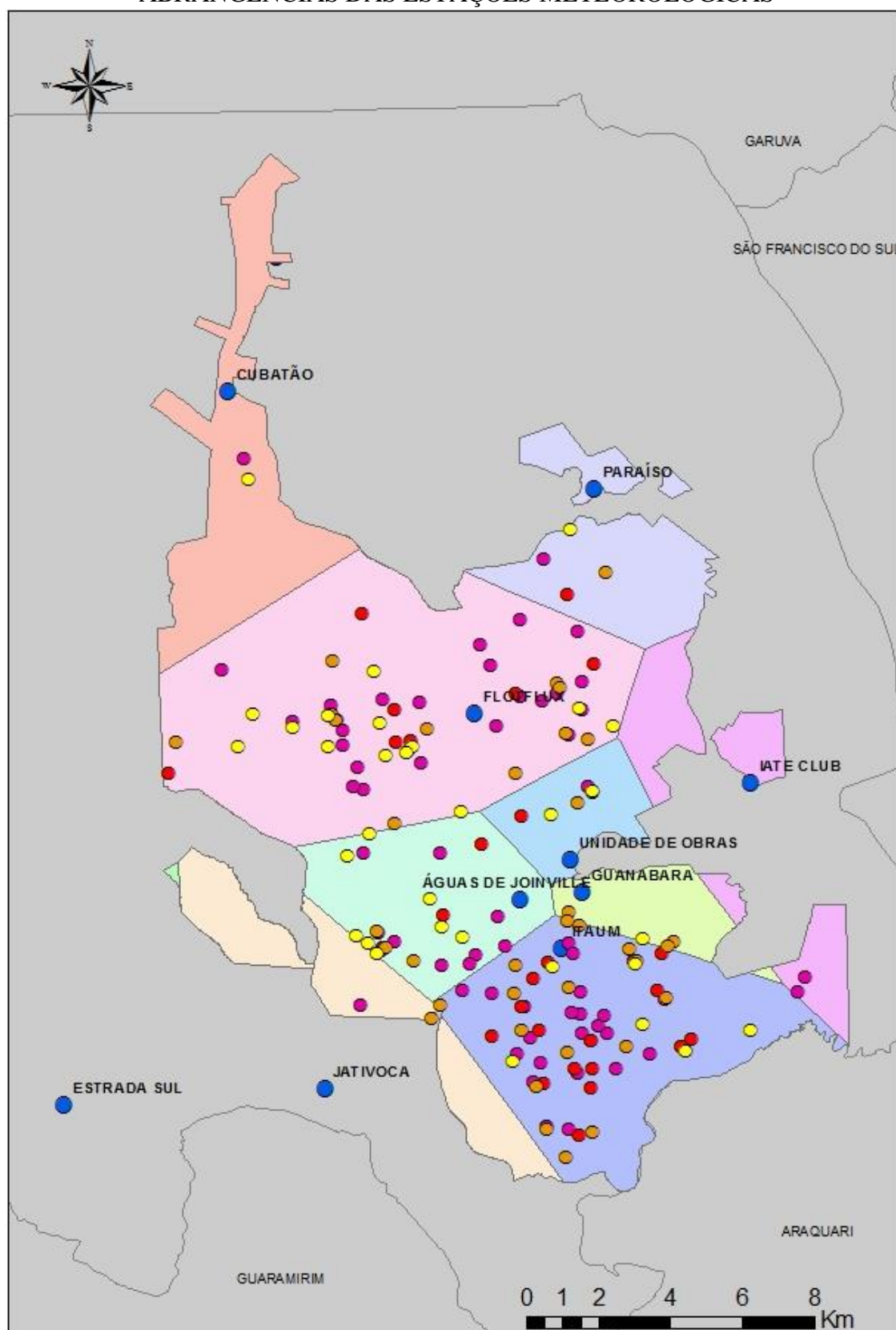
APÊNDICE F – LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS EM 2016



APÊNDICE G – ÁREA DE ABRANGÊNCIA DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS
DENTRO DO PERÍMETRO URBANO DE JOINVILLE



APÊNDICE H – PONTOS DE OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS NAS ÁREAS DE ABRANGÊNCIAS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS



**APÊNDICE I – LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS
REGISTRADAS PELA DEFESA CIVIL DE JOINVILLE EM 2012**

Númeração	Logradouro	Data de abertura
0	R. Willy Tilp	26/04/2012
1	R. Aquino Morbes	26/04/2012
2	R. Pastor Liógenes Domiciliano	27/04/2012
3	R. Copacana	03/05/2012
4	R. Canadá	10/05/2012
5	R. Benjamim Constant	11/05/2012
6	R. Paulo Roberto Anastácio	16/05/2012
7	R. Otto Ludovico Schutzer	21/05/2012
8	R. João Elias de Oliveira	23/05/2012
9	R. Olaria , esquina com a R. Ari Schoereder	25/05/2012
10	R. Cerro Verde	28/05/2012
11	R. Minas Gerais	30/05/2012
12	R. Jairo Germano Korn	01/06/2012
13	R. Independência	04/06/2012
14	R. Alberto Vinci	05/06/2012
15	R. Pomerode	13/06/2012
16	R. Adolfo Bresinik,	22/06/2012
17	R. das Hortênsias	23/07/2012
18	R. Juvenal Reinert	16/08/2012
19	R. Marechal Hermes	18/09/2012
20	R. José Gomes de Freitas	20/09/2012
21	R. Ivora	02/10/2012
22	R. Guilherme	03/10/2012
23	R. Expedicionário Holz	11/10/2012
24	R. Waldomiro José Borges	17/10/2012
25	R. Francisco de Souza Vieira	23/10/2012
26	R. Rui Barbosa	30/10/2012
27	R. Nestor Hintz	22/11/2012
28	R. Dorothóvio do Nascimento	30/11/2012

29	R. Vinte e um de Abril	03/12/2012
30	R. Benjamim Constant	17/12/2012
31	R. Afonso Kieper	18/12/2012

**APÊNDICE J – LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS
REGISTRADAS PELA DEFESA CIVIL DE JOINVILLE EM 2013**

Númeração	Logradouro	Data de abertura
0	R. Álvaro Maia	10/01/2013
1	R. Sol	16/01/2013
2	Estrada Parati	17/01/2013
3	R. Horácio Pereira dos Santos	08/02/2013
4	R. Beda Strehlow	08/02/2013
5	R. Teresópolis	14/02/2013
6	R. Maria Cantilde Gomes	14/02/2013
7	R. Waldomiro José Borges	15/02/2013
8	R. Parati	15/02/2013
9	R. Augusto Schumacher	15/02/2013
10	R. Rodolfo Schoene	15/02/2013
11	R. Otto Holffmann	18/02/2013
12	R. Barra Velha	22/02/2013
13	R. Maria Rosalina Speck	11/03/2013
14	R. Comandante Alberto Lepper	12/03/2013
15	R. Osnildo Bepler	13/03/2013
16	R. Roberto Simonsen	14/03/2013
17	R. dos Motociclistas	20/03/2013
18	R. Santo Amaro da Imperatriz	03/04/2013
19	R. Schoereder	10/04/2013
20	R. Cuco	16/04/2013
21	R. Vinte e Um de Abril	16/04/2013
22	R. Humberto Pinheiro Vieira	08/05/2013
23	R. Estrada do Atalho	24/05/2013
24	R. Carlos Schmidt	24/06/2013
25	R. Luíz Mário Ceolim	24/06/2013
26	R. Tangará	24/07/2013
27	R. Werner Brietzig	01/08/2013
28	R. Monte Cristo	06/08/2013

29	R. Fernando Goll	15/08/2013
30	R. das Domésticas	26/08/2013
31	R. José Rafael Reinert	21/09/2013
32	R. Fraiburgo	22/09/2013
33	R. Nacar	23/09/2013
34	R. Jorge Antônio Cecyn	04/10/2013
35	R. Adelle Hille	07/10/2013
36	R. Engenheiro José Gomes	11/12/2013

**APÊNDICE K – LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS
REGISTRADAS PELA DEFESA CIVIL DE JOINVILLE EM 2014**

Númeração	Logradouro	Data de abertura
0	R. Paulo Setubal	09/01/2014
1	R. Afonso Moreira	05/03/2014
2	R. Petrópolis	05/03//2014
3	R. Servidão João Paulino de Oliveira	09/03/2014
4	R. Alfredo Wagner	10/03/2014
5	R. Palmeiras das Missões	10/03/2014
6	R. Pedro Ernesto	10/03/2014
7	R. Piratininga	11/03/2014
8	R. Vereador Walmor Maes	11/03/2014
9	R. Juvenal Reinert	11/03/2014
10	R. Pedro Felipe Borges	11/03/2014
11	R. Rodrigo Luiz Gonçalves	12/03/2014
12	R. Estrada Blumenau	13/03/2014
13	R. Augusto Kluck	07/04/2014
14	R. Ministro Calógeras	07/06/2014
15	R. Guilherme	07/06/2014
16	R. Guilherme Augusto Frederico Roback	07/06/2014
17	R. João Costa Júnior	08/06/2014
18	R. Rodolfo Plotow	08/06/2014
19	R. Almirante Jaceguay	09/06/2014
20	R. Tabajara	09/06/2014
21	R. Triângulo Mineiro	09/06/2014
22	R. Toda	16/06/2014
23	R. Dona Cesarina	18/06/2014
24	R. dos Agrônomos	25/06/2014
25	R. Leonardo Seiffert	08/08/2014
26	R. Dona Francisca	24/09/2014

**APÊNDICE L – LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS
REGISTRADAS PELA DEFESA CIVIL DE JOINVILLE EM 2015**

Númeração	Logradouro	Data de abertura
0	R. Agenor Antônio Neve	05/01/2015
1	R. Marlene da Silva	07/01/2015
2	R. Luiz Gonzaga Mendonça	12/01/2015
3	R. da Amizade	12/01/2015
4	R. Erich Brietzig	18/02/2015
5	R. Presidente de Gaule	22/02/2015
6	R. Alceu Koentopp	13/03/2015
7	R. Albatroz	13/03/2015
8	R. dos Portugueses	13/03/2015
9	R. Pedro Ernesto	13/03/2015
10	R. dos Bandeirantes	14/03/2015
11	R. Alberto Vinci	14/03/2015
12	R. Maria Rosalina Speck	16/03/2015
13	R. das Domésticas	16/03/2015
14	R. Guaratuba	17/03/2015
15	R. XV de novembro	17/03/2015
16	R. Manoel de Miranda Coutinho	19/03/2015
17	R. São Paulo	29/03/2015
18	R. Avenida Brigadeiro Eduardo Gomes	13/04/2015
20	R. Benjamim Constant	14/04/2015
21	R. Inambu	15/04/2015
22	R. Arno Schwartz	23/04/2015
23	R. Roberto Hermann	13/05/2015
24	R. Aulo Abraão Francisco	19/05/2015
25	R. Antônio Valduí Rodrigues da Silva	19/05/2015
26	R. Dr. Fábio Maurício Aguiar	28/05/2015
27	R. Paulo Boehm	28/05/2015
28	R. Itajubá	01/06/2015
29	R. Waldomiro José Borges	08/06/2015

30	R. Tangará	18/07/2015
31	R. Osnildo Bepler	19/06/2015
32	R. Jativoca	30/06/2015
33	R. Colombo	08/07/2015
34	R. dos Atiradores	16/07/2015
35	R. José Bergui	15/07/2015
36	R. Vereador Guilherme Zuege	23/07/2015
37	R. Diovana Maria Rodrigues	11/08/2015
38	R. Caruarás	25/08/2015
39	R. Jorge Parucker Júnior	03/09/2015
40	R. São Francisco do Sul	08/09/2015
41	R. Tenente Antônio João	29/09/2015
42	R. Colombo	14/10/2015
43	R. Olga Trusz Sboinski	22/10/2015
44	R. Fernando Goll	22/10/2015
45	R. Joaquim dos Santos	23/10/2015
46	R. Itu	23/10/2015
47	R. Frederico Eick	23/10/2015
48	R. Professor Clemens Schmidt	26/10/2015
49	R. Cidade do Arco Verde	26/10/2015
50	R. Ilhéus	27/10/2015
51	R. Locidônia P. Maria	27/10/2015
52	R. Otto Pfzenrauter	04/11/2015
53	R. Piratuba	04/11/2015
54	R. Deputado Paulo Stuart Writh	04/11/2015
55	R. Copacabana	04/11/2015
56	R. Braço do Norte	05/11/2015
57	R. Servidão Borges da Silva	05/11/2015
58	R. Guaíba	06/11/2015
59	R. Araraquara	06/11/2015
60	R. Otto Frederico Guilherme Drietzig	11/11/2015
61	R. Joana D' Arc	27/11/2015
62	R. Américo Vespúcio	27/11/2015

63	R. Teodoro Oscar Bohn	27/11/2015
64	R. João Costa Júnior	27/11/2015
65	R. Severino de Oliveira Borges	01/12/2015
66	R. Cidade de Rodes	08/12/2015

**APÊNDICE M – LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS
REGISTRADAS PELA DEFESA CIVIL DE JOINVILLE EM 2016**

Númeração	Logradouro	Data de abertura
0	R. Prefeito Hellmut Falgater	22/01/2016
1	R. Kurt Jansen	26/01/2016
2	R. Iririú	27/01/2016
3	R. Professor Ricardo Buss	10/02/2016
4	R. Nicéia Gonçalves da Maia	11/02/2016
5	R. Professor Ricardo Buss	29/02/2016
6	R. Gustavo Nass	08/03/2016
7	R. Teodoro Oscar Bohm	14/03/2016
8	R. Izolina Paz Ribeiro	15/03/2016
9	R. Benjamim Constant	18/03/2016
10	R. Dorothóvio do Nascimento	29/03/2016
11	R. Presidente Washington Luís	04/04/2016
12	R. Dona Francisca	06/04/2016
13	R. Jarivatuba	14/04/2016
14	R. Ana Dirce de Medeiros	19/04/2016
15	R. Jacutinga	04/05/2016
16	R. Alfredo Wagner	06/05/2016
17	R. Luís W. Rodolf Schoene	06/06/2016
18	R. Boehmerwald	13/06/2016
19	R. Santa Catarina	13/06/2016
20	R. Servidão Emílio Reddin	15/06/2016
21	R. Cidade de Madri	01/07/2016
22	R. São José dos Cedros	22/08/2016
23	R. Emerson Brandão	22/08/2016
24	R. Alfredo Wagner de Lima	24/08/2016
25	R. Servidão Valdomiro Satiro de Oliveira	31/08/2016
26	R. Teresópolis	21/10/2016
27	R. Rodovia do Arroz	26/10/2016
28	R. Paraná	27/10/2016

29	R. Jorge Parucker Júnior	15/11/2016
----	--------------------------	------------

APÊNDICE N – COMANDOS UTILIZADOS DURANTE O AJUSTE DOS MODELOS

MULTICOLINEARIDADE:

```
cor(Acumulada24, Acumulada48, use = "pairwise.complete.obs")
## [1] 0.7783194
cor(Acumulada24, Acumulada72, use = "pairwise.complete.obs")
## [1] 0.6378773
cor(Acumulada24, Acumulada96, use = "pairwise.complete.obs")
## [1] 0.5432331
cor(Acumulada24, Acumulada120, use = "pairwise.complete.obs")
## [1] 0.4897932
cor(Acumulada24, Acumulada144, use = "pairwise.complete.obs")
## [1] 0.4424786
cor(Acumulada24, Acumulada168, use = "pairwise.complete.obs")
## [1] 0.4117723
```

AMOSTRAS DE TREINAMENTO E DE TESTE:

```
split<-sample.split(Chuvas$PadraoOuro,SplitRatio=2/3)
Chuvastraining<-subset(Chuvas,split==TRUE)
Chuvastest<-subset(Chuvas,split==FALSE)
```

AMOSTRA ALEATÓRIA:

```
set.seed(1234)
```

AJUSTE DO PRIMEIRO MODELO

```
modelo1<-glm(PadraoOuro~Acumulada24+Acumulada168, family = "binomial",
Chuvastraining)
```

PREVISÃO DA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS A PARTIR DO PRIMEIRO MODELO E DA AMOSTRA DE TREINAMENTO

```
Previsao1 = predict(modelo1, newdata=Chuvastraining, type = "response")
```

CLASSIFICAÇÃO DOS RESULTADOS, CONSIDERANDO NESSE CASO PONTO DE CORTE DE 50%

```
previsao1<-ifelse(Previsao1<0.5,0,1)
previsao11<-factor(previsao1)
```

```
tabelaPadrao1<-factor(Chuvastraining$PadraoOuro)
xtab1<-table(previsao11, tabelaPadrao1)
confusionMatrix(previsao11, Chuvastraining$PadraoOuro)
```

PREVISÃO DA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS A PARTIR
A PARTIR DO PRIMEIRO MODELO E DA AMOSTRA DE TESTE

```
Previsao1. = predict(modelo1, newdata=Chuvastest, type = "response")
```

AJUSTE DO SEGUNDO MODELO

```
modelo2<-glm(PadraoOuro~Acumulada24, family = "binomial", Chuvastraining)
```

PREVISÃO DA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS A PARTIR
DO SEGUNDO MODELO E DA AMOSTRA DE TREINAMENTO

```
Previsao2 = predict(modelo2, newdata=Chuvastraining, type = "response")
```

PREVISÃO DA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS A PARTIR
DO SEGUNDO MODELO E DA AMOSTRA DE TESTE

```
Previsao2. = predict(modelo2, newdata=Chuvastest, type = "response")
```

AJUSTE DO TERCEIRO MODELO

```
modelo3<-glm(PadraoOuro~Acumulada72, family = "binomial", Chuvastraining)
```

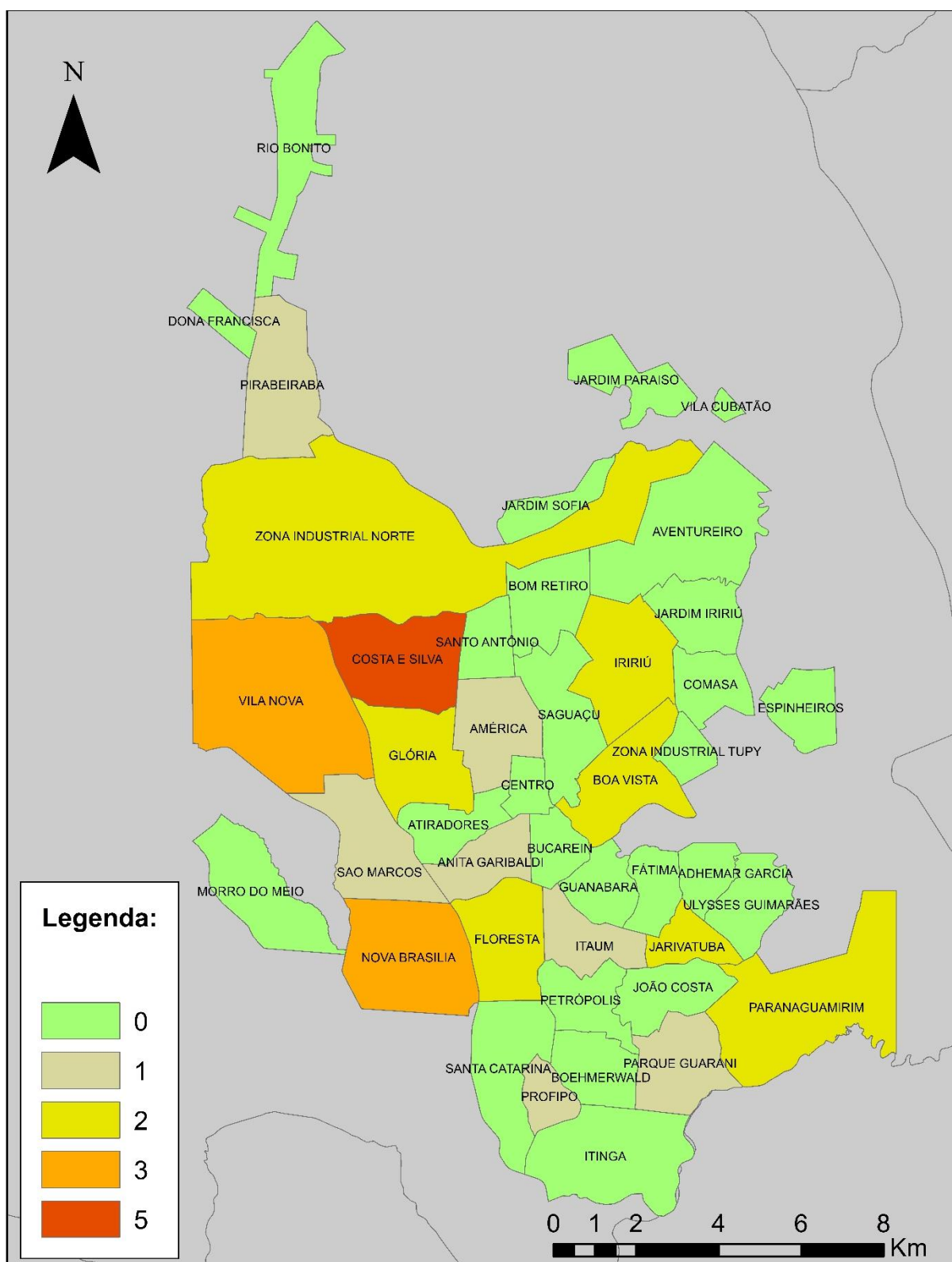
PREVISÃO DA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS A PARTIR
DO TERCEIRO MODELO E DA AMOSTRA DE TREINAMENTO

```
Previsao3 = predict(modelo3, newdata=Chuvastraining, type = "response")
```

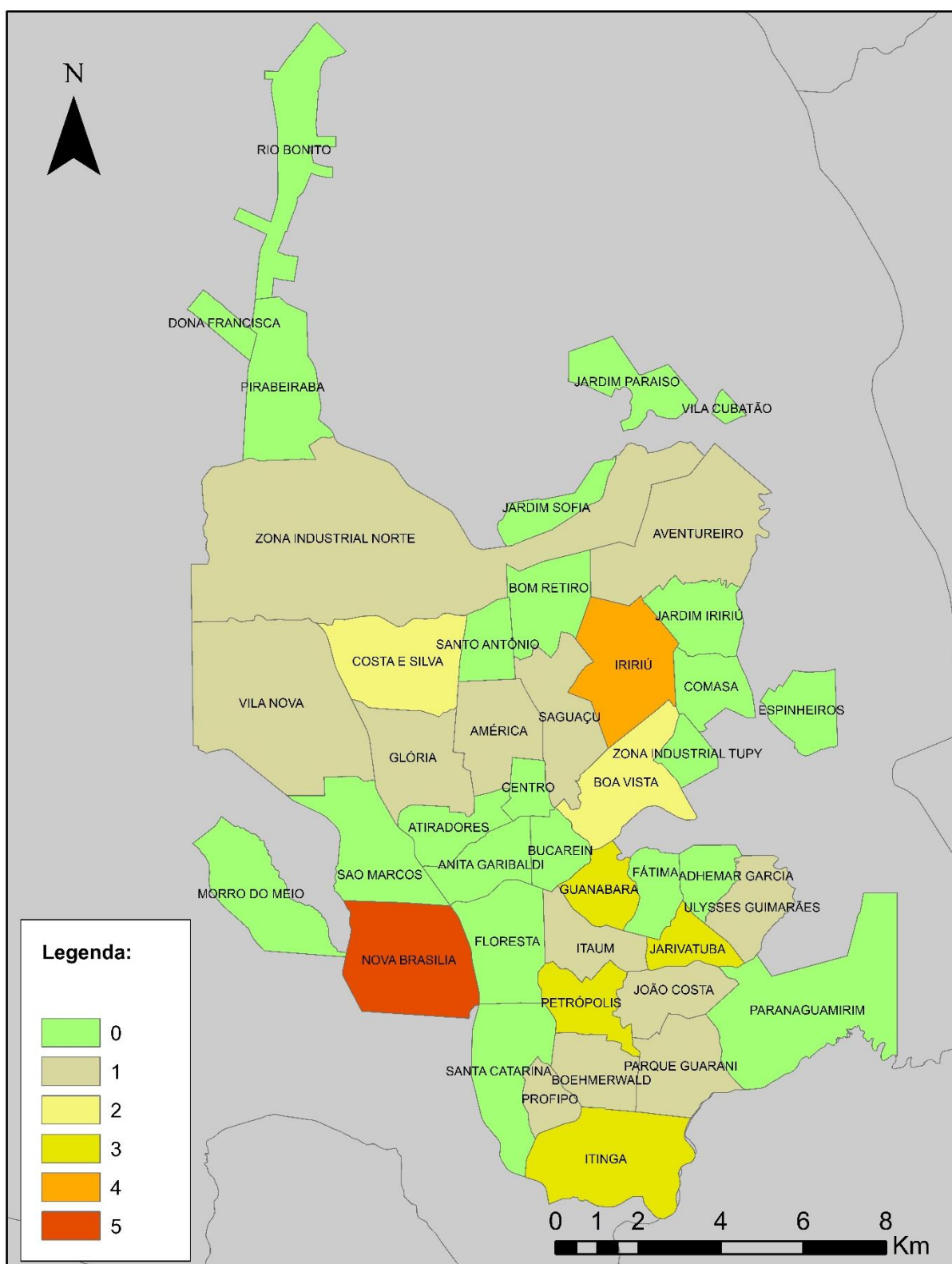
PREVISÃO DA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS A PARTIR
DO TERCEIRO MODELO E DA AMOSTRA DE TESTE

```
Previsao3. = predict(modelo3, newdata=Chuvastest, type = "response")
```

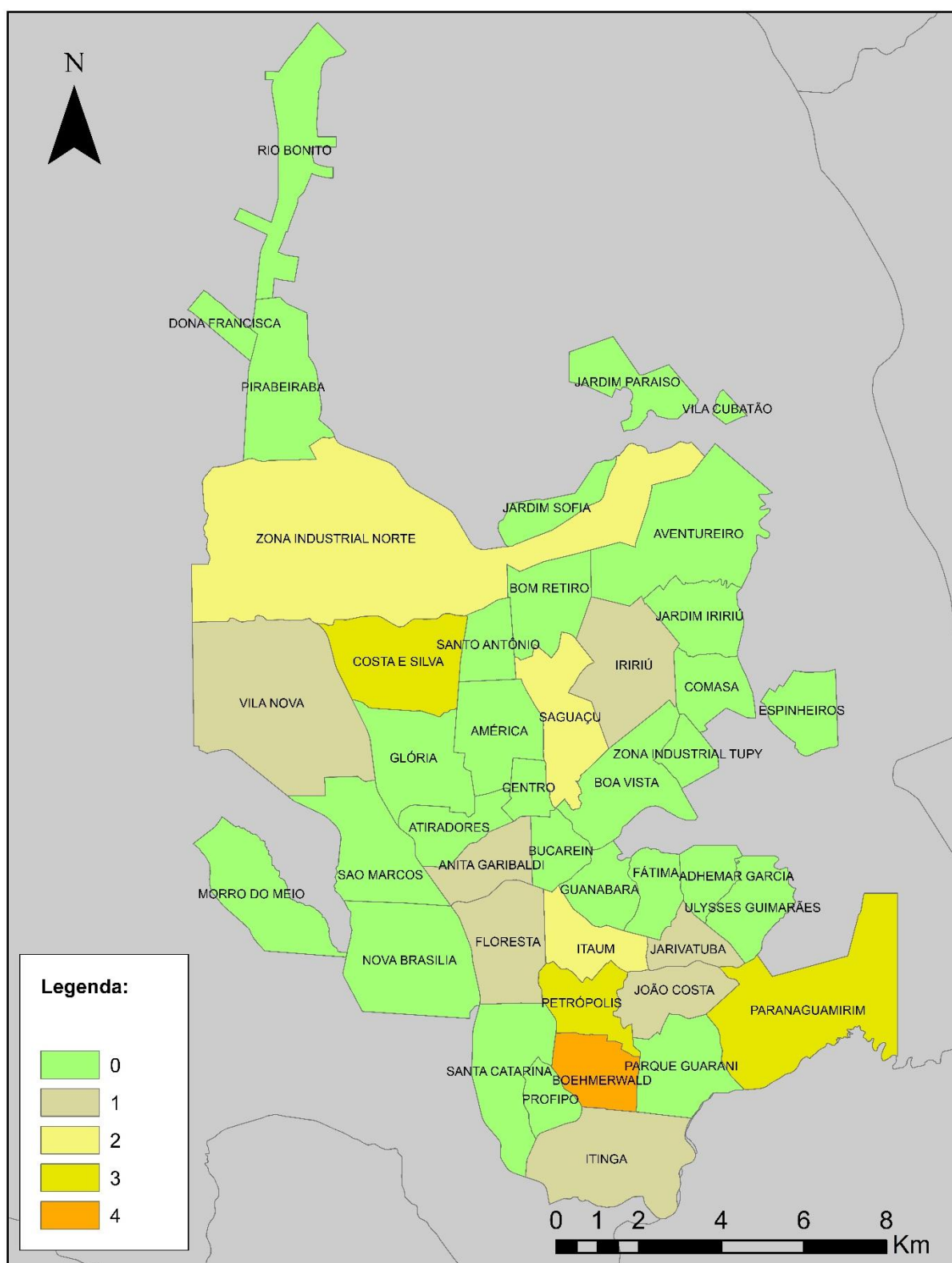
APÊNDICE O – QUANTIDADE DE OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS
REGISTRADAS POR BAIRRO EM 2012



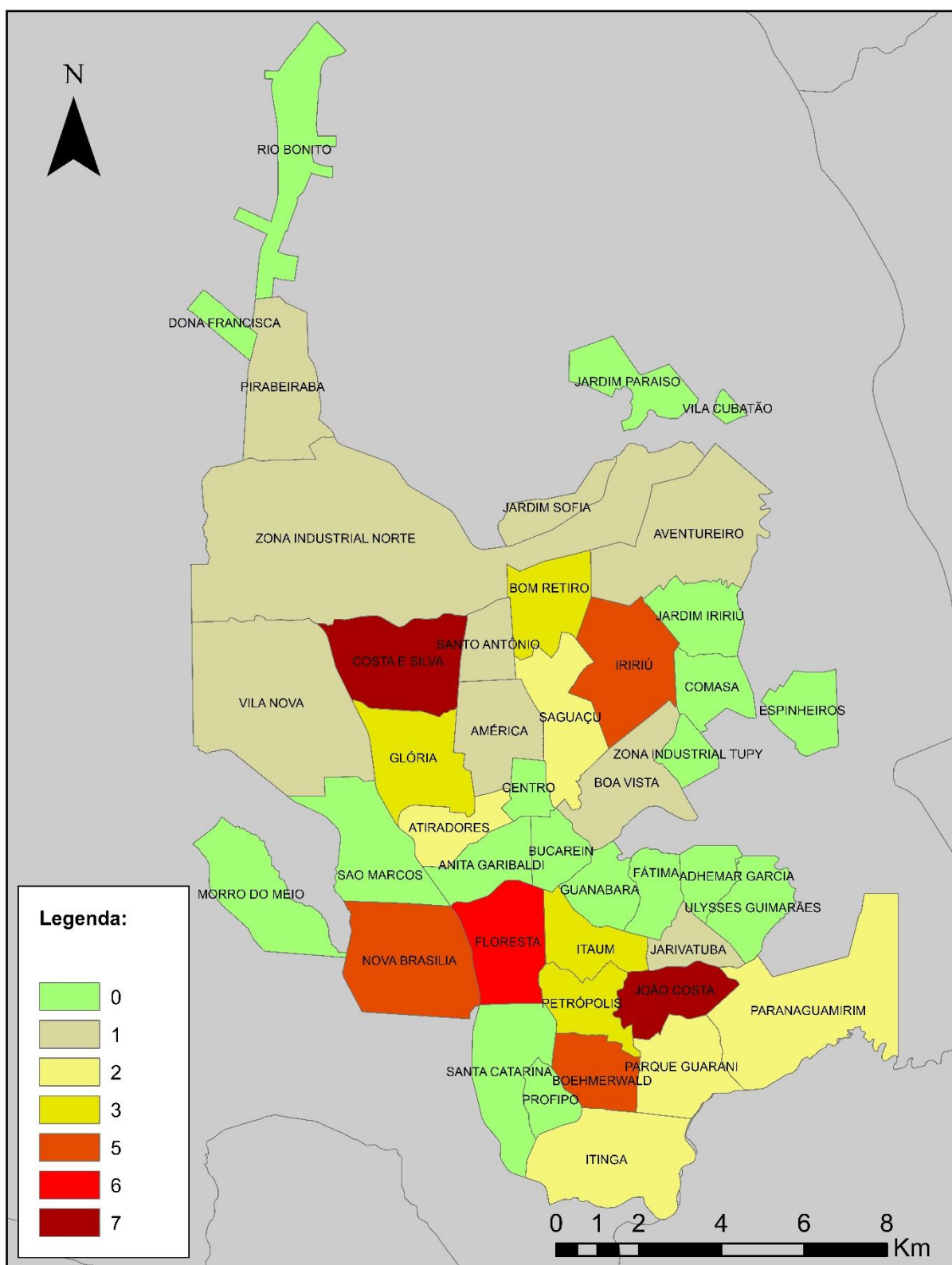
APÊNDICE P – QUANTIDADE DE OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS
REGISTRADAS POR BAIRRO NO ANO DE 2013



APÊNDICE Q – QUANTIDADE DE OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS
REGISTRADAS POR BAIRRO NO ANO DE 2014



APÊNDICE R – QUANTIDADE DE OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS
REGISTRADAS POR BAIRRO NO ANO DE 2015



APÊNDICE S – QUANTIDADE DE OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS
REGISTRADAS POR BAIRRO NO ANO DE 2016

