



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**ANÁLISE DE RECORRÊNCIAS DE EVENTOS DE DESASTRES NATURAIS COM
BASE NO SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÕES SOBRE DESASTRES
(S2iD) E SÉRIES HISTÓRICAS DE PRECIPITAÇÃO NO BRASIL: UMA
CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA**

ISABEL CRISTINA DOMINGUES HIPÓLITO CARVALHO

Brasília-DF:

Novembro/2018



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**ANÁLISE DE RECORRÊNCIAS DE EVENTOS DE DESASTRES NATURAIS COM
BASE NO SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÕES SOBRE DESASTRES
(S2iD) E SÉRIES HISTÓRICAS DE PRECIPITAÇÃO NO BRASIL: UMA
CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA**

ISABEL CRISTINA DOMINGUES HIPÓLITO CARVALHO

Orientadora: Prof(a). Dr(a). Ruth Elias de Paula Laranja

Co-orientador: Dr. João Carlos Carvalho

Tese de Doutorado

Brasília-DF: Novembro/2018.



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

**ANÁLISE DE RECORRÊNCIAS DE EVENTOS DE DESASTRES NATURAIS COM
BASE NO SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÕES SOBRE DESASTRES
(S2iD) E SÉRIES HISTÓRICAS DE PRECIPITAÇÃO NO BRASIL: UMA
CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA**

ISABEL CRISTINA DOMINGUES HIPÓLITO CARVALHO

Tese de Doutorado submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Doutora em Geografia, área de concentração Gestão Ambiental e Territorial, opção Acadêmica.

Aprovado por:

Ruth Elias de Paula Laranja, Professora, Doutora, Departamento de Geografia - Universidade de Brasília – GEA/UnB (Orientadora)

Ercília Torres Steinke, Professora, Doutora, Departamento de Geografia - Universidade de Brasília - GEA/UnB (Examinador Interno)

Nelson Jesuz Ferreira, Professor, Doutor, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE (Examinador Externo)

Rildo Aparecido Costa, Professor, Doutor, Universidade Federal de Uberlândia/UFU (Examinador Externo)

Rafael Rodrigues da Franca, Professor, Doutor, Departamento de Geografia – Universidade de Brasília – GEA/UnB (Examinador Interno – Suplente)

Brasília-DF, 26 de novembro de 2018.

FICHA CATALOGRÁFICA

CARVALHO, ISABEL CRISTINA DOMINGUES HIPOLITO.

Análise de Recorrências de Eventos de Desastres Naturais com Base no Sistema Integrado de Informações Sobre Desastres (S2iD) e Séries Históricas de Precipitação no Brasil: Uma Contribuição Metodológica. 237 p., 20 mm, (UnB/IH/GEA, Doutor, Geografia - Gestão Ambiental e Territorial - Análises de Sistemas Naturais, 2018). Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Instituto de Humanidades. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Departamento de Geografia. Brasília-DF, 2018.

1. Desastres Naturais

2. Variabilidade Pluviométrica

3. Eventos Extremos de Precipitação

4. Análise Estatística de Dados Geográficos

I. UnB/IH/PPGGEA

II. Título

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito da autora.

Isabel Cristina Domingues Hipólito Carvalho

Ao meu querido amigo e esposo João Carlos, que sempre me apoiou e incentivou diante das dificuldades com muita paciência, compreensão e carinho... não deixando que as provações e os obstáculos da vida nos afetassem... pelo seu amor e dedicação à nossa família. Minha eterna gratidão e amor!

E ao meu querido e doce filho, Matheus Hipólito Carvalho, razão e motivo de ser uma pessoa melhor, mais humana e mais capaz. Minha felicidade infinita!

Ofereço e dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter abençoado todos os dias da minha vida, por iluminar meu caminho, por me guiar e me dar forças para seguir sempre em frente, principalmente, nos momentos de provas. A Nossa Senhora Aparecida, por estar presente zelando por nós, sua prudência é a chave da sabedoria.

Agradeço a minha mãe Aparecida Domingues Hipólito (in memoriam), ao meu pai João Ferreira de Freitas Hipólito, pela criação, educação e valores recebidos. Minha gratidão! Exemplos de vida e dedicação à família. Aos meus irmãos Rita, Tadeu, Tereza e Gorete, a minha cunhada Fabiana e cunhados, aos meus sobrinhos e sobrinha, pelo apoio, incentivo, carinho, paciência e solidariedade.

A minha orientadora Prof.^a Dr.^a Ruth Elias de Paula Laranja, pela oportunidade de orientação, paciência diante das muitas dificuldades enfrentadas, pelo carinho, serenidade e amizade. Seus ensinamentos, conselhos e sua acessibilidade foram de uma contribuição imensurável, fundamentais para realização desse trabalho. Obrigada, por toda confiança, apoio e incentivos.

A todos os professores do Departamento de Geografia/UnB que fizeram parte da minha vida e formação acadêmica, em especial, Dr. Mário Diniz (in memoriam), Dra. Ercília T. Steinke, Dr. Fernando Sobrinho, Dra. Lucia Cony, Dra. Marília Peluzo, Dr. Osmar Abílio, Dr. Rogério Uagoda, Dr. Roberto Gomes, Dr. Valdir Steinke, Dra. Roselir Nascimento, Dra. Nelba Penna e Dra. Cristina Leite.

Aos docentes membros participantes da banca examinadora de qualificação e da defesa desta tese de doutorado: Dra. Ercília Torres Steinke (UnB), Dr. Rildo Aparecido Costa (UFU), Dr. Nelson Jesus Ferreira (INPE), Dra. Waleska Valença Manyari (UnB) e Dr. Rafael Rodrigues da Franca (UnB), que dispuseram muito dos seus preciosos tempos na leitura, correção, orientação e avaliação geral da tese, com críticas e contribuições importantes para a finalização do trabalho.

Agradeço aos amigos conquistados nesse período, que pela minha vida passaram e me agregaram valores e conhecimentos, Núbia Almeida, Maribel Betancur, Karina Marques, Elton K. Albuquerque, Renato Martins, Marcos Silva, Rebecca Lucena, Cristiane Salgado, Ane Carvalho, Marina Mesquita, Ligier Braga, Isabela Souza, Venícius Mendes, Miriam Silva, entre outros que não foram citados, mas que apresento minha eterna gratidão.

Ao Departamento de Geografia e aos funcionários das Secretarias de Graduação e do Programa de Pós-Graduação, em especial, Jorge Luís Pereira, Agnelo Pereira, Jorge, Simoni Hiargles, Alisson, Henrique e Teka, por sempre se colocarem à disposição para resolverem os problemas burocráticos do Programa de Pós-Graduação e por todos auxílios prestados.

Ao DPP/UnB (Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação), por oferecer auxílio financeiro para participar em eventos acadêmicos.

A Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de doutorado a mim concedida, o que tornou possível a realização do referido doutorado.

Os mais sinceros agradecimentos aos gestores e funcionários das instituições que, ao disponibilizar os dados e informações, tornaram possível a elaboração deste trabalho: Agência Nacional de Águas – ANA, Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD) e Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN).

Agradeço aos amigos, Josefa Gonzaga e Joaquim Jr., Jesica B. Prado e toda sua família, pelo apoio, paciência e por compartilhar suas alegrias e amizades. Agradeço a família de meu esposo, pelo incentivo em vários momentos, pela solidariedade e amizade durante todos esses anos.

A todos que, direta ou indiretamente, auxiliaram na concretização desta tese.

Meu muito obrigada!

RESUMO

Este trabalho apresenta o uso de técnicas de análise e interpretação de grandes volumes de dados, também conhecido como *Big Data*, na área da geografia relacionada à gestão ambiental e territorial. Propõe-se uma abordagem metodológica de estudo sistemático das (re)ocorrências de eventos extremos de precipitação e desastres naturais, por meio do cruzamento de bases de dados pluviométricos, topográficos e de desastre, visando estabelecer relações entre estas variáveis e a identificação de padrões e limiares críticos de precipitação com potencial real para desencadear episódios de desastres naturais. Foram utilizados o banco de dados de desastres naturais S2iD, do Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), as estações pluviométricas disponibilizadas pela Agência Nacional de Águas (ANA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), um mapa de declividade gerado a partir dos dados da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) com 1 segundo de arco. Após o cruzamento das bases de dados identificou-se 14.209 registros de desastres, distribuídos em 3.096 municípios, que estão localizados próximo a área de influência de 3.746 estações pluviométricas. Identificou-se inúmeros locais sujeitos a ocorrência de desastres naturais ocasionados por eventos de chuvas extremas, entre os quais pode-se citar os desastres ocorridos em Bertioga (SP) em 1992, 1993, e 2013. No dia 17 de janeiro de 1992, por exemplo, a estação nº 2346065 - Represa Itatinga registrou 360 mm/dia, que culminou em episódios de enxurradas e inundações na cidade. Contudo, os resultados evidenciam que somente o estudo das máximas diárias não seria suficiente para explicar os desastres históricos ocorridos em várias regiões, havendo necessidade de se observar os volumes acumulados de chuva nos dias anteriores que levam à saturação do solo. Nesta linha foi constatado que vários episódios de desastres naturais, entre os quais os ocorridos no Vale do Itajaí (SC), São Luiz do Paraitinga (SP) e Região Serrana (RJ), respectivamente nos anos de 2008, 2010 e 2011, estão associados a eventos extremos de precipitação acumulados que acabaram por ocasionar enxurradas, movimentos de massas e inundações. Para classificação dos eventos de chuva associados aos episódios de desastres foram utilizadas a técnica dos quantis e a técnica de análise de distribuição de frequência. Os resultados mostraram que a classificação das chuvas através da técnica dos quantis, apesar de simples, se mostra bastante adequada a este tipo análise, permitindo o estabelecimento de classes qualitativa das precipitações. Neste trabalho foram estabelecidas 8 classes (Sem chuva (SC), Dia seco (DS), Chuva muito fraca (Cmf), Chuva fraca (Cf), Chuva moderada (CM), Chuva forte (CF), Chuva muito forte (CMF) e Chuva extrema (CE)), que foram relacionadas à probabilidade de ocorrência de desastres. Está técnica pode ser uma alternativa mais direta para auxiliar na definição dos limiares de chuvas extremas associados a desastres naturais, contribuindo no planejamento de sistemas de alerta e ajudando os profissionais que atuam no gerenciamento e redução de risco de desastres. A aplicação da técnica de análise de distribuição de frequência também se mostrou útil para caracterizar os eventos extremos de precipitação, pois permite a estimativa dos Períodos de Retorno

(probabilidades de não excedência) dos eventos de precipitação associadas aos desastres. Contudo, sua execução é complexa e muito suscetível a presença de erros ou incongruências nos dados históricos de precipitação. Isto dificulta o processo de automatização em larga escala com consequente aumento no tempo dedicado a este tipo de análise. Espera-se que estes resultados possam contribuir para melhorar o conhecimento na área de desastres naturais, e servir de incentivo para os estudos baseado na análise de grandes massas de dados com uso de técnicas de análise de dados, considerando este ser ainda um campo em evolução na geografia. Como conclusão foram apontadas as maiores necessidades de aprimoramento de base de dados, redes de monitoramento e ferramentas de análise de dados que poderiam contribuir para o desenvolvimento deste tema.

Palavras chaves: desastres naturais, variabilidade pluviométrica, eventos extremos de precipitação e análise estatística de dados geográficos.

ABSTRACT

Recurrences Analysis of Natural Disasters Events Based on the Integrated Disaster Information System (S2iD) and Historical Precipitation Series in Brazil: A Methodological Contribution

This paper presents the use of analysis and interpretation techniques applied to large datasets, also known as Big Data, related to environmental and land management. A systematic approach was proposed to study the occurrences of extreme precipitation events and natural disasters, through the intersection of rainfall, topographical and disaster databases, aiming to establish relationships between these variables and the identification of critical precipitation patterns and thresholds with real potential to trigger episodes of natural disasters. Were used the database of natural disasters S2iD from the National Center for Risk and Disaster Management (CENAD), the rainfall stations provided by the National Water Agency (ANA) and the National Institute of Meteorology (INMET), and the slope map generated from the data of Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) with 1 second arc. After crossing the databases 14,209 records of disasters were identified, distributed in 3,096 municipalities, which are located near the influence area of 3,746 rainfall stations. Several sites were identified that are subject to natural disasters caused by extreme rainfall events, such as the disasters occurred at Bertiooga (SP) in 1992, 1993 and 2013. For example, on January 17, 1992, the station n° 2346065 - Represa Itatinga recorded 360 mm/day, which culminated in episodes of floods and inundations in the city. However, the results show that only the study of daily maximums would not be enough to explain the historical disasters in these regions, and it is necessary to observe accumulated rainfall volumes in the previous days that lead to soil saturation. In this line, it was observed that several natural disasters episodes, such as those occurring in the Vale do Itajaí (SC), São Luiz do Paraitinga (SP) and Serrana Region (RJ) respectively, in 2008, 2010 and 2011, are associated with extreme accumulated precipitation events that eventually caused floods, mass movements and inundations. To proceed the classification of rainfall events associated with episodes of disasters was applied quantile and frequency distribution analysis techniques. The results showed that the classification of rainfall by the quantiles technique, although simple, is quite adequate for this type of analysis, allowing the establishment of qualitative precipitation classes. In this work were established eight class (no Rainfall (SC), Dry Day (DS), Very Weak Rain (Cmf), Weak Rain (Cf), Moderate Rain (CM), Heavy Rain (CF), Very Heavy Rain (CMF) and Extreme Rain (EC)), which were related to the probability of disasters occurrence. This technique can be a more direct alternative to assist in the definition of extreme rainfall thresholds associated with natural disasters, contributing to the planning of warning systems and helping professionals working in disaster risk management and reduction. The application of the frequency distribution analysis technique has also proved useful in characterizing the extreme events of precipitation, since it allows the estimation of the Return Periods (non-

exceedance probabilities) of the precipitation events associated to the disaster's episodes. However, its execution is complex and very susceptible to errors or inconsistencies in historical precipitation data. This complicates the large-scale automation process with a consequent increase in the time dedicated to this type of analysis. It is expected that this work can help to improve knowledge in the field of natural disasters and motivated studies based on the analysis of large data sets, considering this to be still a growing field in geography. As conclusion, we pointed out the increased needs for database enhancement, monitoring networks and data analysis tools that could contribute to the development of this theme.

Key words: natural disasters, rainfall variability, extreme precipitation events, and statistical analysis of geographic data.

SUMÁRIO

RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
SUMÁRIO	XI
LISTA DE FIGURAS	XIII
LISTA DE QUADROS	XVIII
LISTA DE TABELAS	XIX
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XXI
I. INTRODUÇÃO	1
1.1. HIPÓTESE	6
1.2. OBJETIVO GERAL	7
1.2.1. <i>Objetivos específicos</i>	7
1.3. ESTRUTURA DA TESE	7
II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1. DESASTRES NATURAIS	9
2.1.1. <i>Definição</i>	9
2.1.2. <i>Desastres naturais e seus potenciais impactos ambientais e socioeconômicos.</i>	17
2.2. DESASTRES NATURAIS DE INUNDAÇÕES (GRADUAIS E BRUSCAS) E ALAGAMENTOS: TIPOLOGIAS E FATORES CONDICIONANTES	22
2.3. DESASTRE NATURAIS DE MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA: TIPOLOGIAS E FATORES CONDICIONANTES	26
2.4. CARACTERIZAÇÃO DA VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA DO BRASIL	35
2.5. EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO	53
2.5.1. <i>Identificação e a Classificação dos Eventos Extremos de Precipitação no Brasil</i>	59
2.5.2. <i>Análise Estatística de Eventos Extremos</i>	62
III. GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES NO BRASIL: A IMPLEMENTAÇÃO DA POLÍTICA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL	67
3.1. GESTÃO DOS RISCOS E DESASTRES NATURAIS NO BRASIL	67
3.2. PREVENÇÃO E REDUÇÃO DE DESASTRES NATURAIS	74
3.3. BASE DE DADOS HISTÓRICOS DE EPISÓDIOS DE DESASTRES NATURAIS NO BRASIL	77
IV. MATERIAIS E MÉTODOS	79
4.1. LEVANTAMENTO DAS BASES DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO E EVENTOS DE DESASTRES NATURAIS	80
4.1.1. <i>Base de Episódios de Desastres Naturais</i>	80

4.1.2. Estações Pluviométricas.....	83
4.1.3. Compilação do Banco de Dados.....	84
4.2. SELEÇÃO DOS DESASTRES NATURAIS ASSOCIADOS A EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO.....	86
4.3. SELEÇÃO DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS.....	87
4.4. CRUZAMENTO DAS BASES DE DADOS.....	88
4.5. ANÁLISE DOS EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO.....	89
4.5.1. Análise das Precipitações Máximas Acumuladas para Diferentes Durações.....	89
4.5.2. Análise das distribuições de frequências e períodos de retorno ou recorrência.....	91
4.5.3. Análises dos Efeitos da Topografia na Distribuição de Desastres Naturais pelo Brasil.....	96
V. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	98
5.1. ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS DE DESASTRES NATURAIS NO BRASIL.....	98
5.1.1. Consistência dos registros de desastres na base do S2iD.....	111
5.2. SELEÇÃO DOS DESASTRES NATURAIS ASSOCIADOS A EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO.....	116
5.3. SELEÇÃO DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS.....	118
5.4. CRUZAMENTO DAS BASES DE DADOS.....	121
4.5. CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS.....	128
5.5.1. Caracterização geral da base de dados pluviométricos.....	128
5.5.2. Análise preliminar de consistência dos dados pluviométricos.....	131
5.5.3. Classificação e Análises das Precipitações Pluviométricas.....	136
5.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS EVENTOS DE DESASTRES NATURAIS E EXTREMOS POSITIVOS DE PRECIPITAÇÃO.....	138
5.6.1. Análise dos Eventos Extremos de Precipitação pela Técnica dos Quantis.....	139
5.6.2. Análise da distribuição de frequência dos extremos de precipitação.....	160
5.7. ESTUDO DE CASOS DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO ASSOCIADOS À OCORRÊNCIA DE DESASTRES NATURAIS.....	171
5.7.1. Região Nordeste.....	171
5.7.2. Região Norte.....	176
5.7.3. Região Centro-Oeste.....	180
5.7.4. Região Sudeste.....	183
5.7.5. Região Sul.....	189
VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	195
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	200
ANEXO I – SCRIPT EM R PARA PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	227

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Evolução Global dos Desastres Naturais e as Respectivas Vítimas no Período de 1990 a 2011.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2 - Situação das inundações urbanas no mundo.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3 - Perfil esquemático das formas fluviais dos cursos d'águas.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 4 - Diferenças entre inundação gradual e brusca.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 5 - Perfil esquemático do processo de escorregamento e de corrida de massas. (A) escorregamento planar ou translacional, (B) escorregamento circular ou rotacional e (C) escorregamento em cunha ou estruturado. (D) Processo de Corrida de Massa.</i>	<i>28</i>
<i>Figura 6 - Formas de vertentes e seus respectivos escoamentos superficiais de água.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 7 – Atuações sazonais das massas de ar (Posicionamento Médio), na América do Sul.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 8 – Normais Climatológicas do Brasil (1981-2010), referente à precipitação acumulada mensal e anual.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 9 - Os padrões oceânicos e atmosféricos que contribuem para a ocorrência de anos muito secos, secos, normais, chuvosos e muito chuvosos, na parte norte da região Nordeste do Brasil.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 10 - Fenômenos atmosféricos atuantes na América do Sul. Representação esquemática dos sistemas atmosféricos na baixa e alta troposfera atuantes na América do Sul.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 11 - Frequência anual de desastres naturais para todo o globo (1900-2006).</i>	<i>54</i>
<i>Figura 12 - Ciclo do gerenciamento de riscos e resposta a desastres naturais.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 13- Fluxo dos processos utilizados no desenvolvimento do trabalho. Organizado pelo autor.</i>	<i>79</i>
<i>Figura 14 - Fluxo do processo de informações necessárias para oficialização de registro e reconhecimento de um desastre.</i>	<i>82</i>
<i>Figura 15 - Modelo-Entidade-Relacionamento (MER) do Banco de Dados utilizado neste trabalho.</i>	<i>85</i>
<i>Figura 16 - Exemplo de script, em linguagem R, desenvolvido para manipulação e análise dos dados utilizados na pesquisa.</i>	<i>86</i>
<i>Figura 17 - Organograma da metodologia utilizada no processo de análise de distribuição de frequência utilizada neste trabalho.</i>	<i>96</i>
<i>Figura 18 – Lista dos 50 Municípios classificados com maior número de ocorrências relacionadas à eventos extremos de precipitação positiva no sistema S2iD, em todo o país, no período de 1943 a 2014.</i>	<i>101</i>
<i>Figura 19 - Frequência Anual dos Registros de Desastres Naturais no Brasil, no período de 1970 a 2014.</i>	<i>102</i>
<i>Figura 20 - Série do Índice Oceânico Niño – ONI no período de 1950-2015, baseado na média trimestral da região Niño 3.4 do Pacífico Equatorial. Adaptado pela autora.</i>	<i>103</i>
<i>Figura 21 – Distribuição dos tipos de desastres naturais nas regiões brasileiras.</i>	<i>106</i>
<i>Figura 22 - Relatório Fide com a classificação de um tipo de desastre registrado no banco S2iD (Tempestade Local/Concevtiva – Chuvas Intensas) e a descrição de mais um desastre em um mesmo evento climático (enxurradas e inundações bruscas).</i>	<i>113</i>
<i>Figura 23 - Relatório Avadan dos desastres ocorridos em 04/01/2007 em Nova Friburgo (RJ), com a classificação de apenas um tipo de desastre, enchentes, desconsiderando os desastres de deslizamentos de terra.</i>	<i>113</i>

<i>Figura 24 - Portaria de Reconhecimento de Situação de Emergência no Município de Nova Friburgo (RJ), publicado no Diário Oficial da União – Seção 1, nº 10, sexta-feira, 14/01/2011, que reconhece a situação em decorrência de enxurradas, sem levar em consideração os episódios de movimentação de massas ou deslizamentos ocorridos no município.</i>	<i>114</i>
<i>Figura 25 - Mapa de registros de municípios com ocorrência de desastres naturais, relacionados à extremos de precipitação positiva, no período de 1940 a 2014.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 26 - Distribuição espacial das estações convencionais da ANA e do INMET selecionadas para este trabalho.</i>	<i>119</i>
<i>Figura 27 - Distribuição espacial das estações automáticas/telemétricas da ANA e do INMET selecionadas para este trabalho.</i>	<i>120</i>
<i>Figura 28 - Mapa de declividade (em graus), com resolução aproximada de 30 metros, do relevo brasileiro. ..</i>	<i>122</i>
<i>Figura 29 - Mapa das estações pluviométricas selecionadas segundo a área de abrangência dos desastres....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 30 – Distribuição de desastres naturais por tipo de relevo e região brasileira, considerando a declividade das áreas atingidas pelos desastres naturais.</i>	<i>124</i>
<i>Figura 31 - Distribuição dos eventos de desastres naturais por tipo e região do Brasil.</i>	<i>125</i>
<i>Figura 32 - Distribuição dos eventos de desastres naturais por tipo e classificação de relevo.</i>	<i>126</i>
<i>Figura 33 – Diagrama de disponibilidade dos dados das 3.746 estações pluviométricas selecionadas para este trabalho.</i>	<i>129</i>
<i>Figura 34 - Quantidade de estações pluviométricas em funcionamento simultâneo, referente ao período de 1888 a 2016.....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 35 - Disponibilidade média de dados pluviométricos das estações meteorológicas por anos, nas Unidades da Federação, referente ao período de 1888 a 2016.</i>	<i>132</i>
<i>Figura 36 - Quantidade de registros de chuva considerados suspeitos na avaliação automática, nas Unidades da Federação. Em azul totais anuais > 3500 mm/ano e vermelho os registros diários > 350 mm/dia.</i>	<i>134</i>
<i>Figura 37 - Comparação entre as séries de dados de precipitação, da estação 445010 – São João do Grajaá-MA, antes e após a remoção de valores espúrios.</i>	<i>135</i>
<i>Figura 38 - Comparação entre as séries de dados de precipitação, da estação 2144003 – Caxambú-MG, antes e após a remoção de valores espúrios.....</i>	<i>136</i>
<i>Figura 39 – Estatística do conjunto de estações pluviométricas selecionadas para o estudo (3.746 estações). (a) Histograma do número de dias com dados; (b) Histograma do número de dias com chuva; (c) Histograma da precipitação máxima diária (mm/dia); (d) Histograma dos valores considerados Chuva Muito Forte (percentil de 95%) (mm/dia).....</i>	<i>137</i>
<i>Figura 40 - Distribuição de frequência da precipitação média para o conjunto de estações pluviométricas utilizadas neste trabalho. São apresentados o histograma para a precipitação acumulada em 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15 e 30 dias.....</i>	<i>142</i>

<i>Figura 41 - Frequência média de dias para as classes de precipitação, por mês do ano para a região Norte.</i>	
<i>Fonte: Elaborado pela autora.....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 42 - Distribuição mensal das ocorrências de desastres naturais, média da precipitação e dias com chuva na região Norte.</i>	<i>144</i>
<i>Figura 43 - Frequência média de dias para as classes de precipitação, por mês do ano para a região Nordeste.</i>	
<i>.....</i>	<i>146</i>
<i>Figura 44 - Distribuição mensal das ocorrências de desastres naturais, média da precipitação e dias com chuva na região Nordeste.</i>	<i>146</i>
<i>Figura 45 - Frequência média de dias para as classes de precipitação, por mês do ano para a região Centro-Oeste.</i>	<i>148</i>
<i>Figura 46 - Distribuição mensal das ocorrências de desastres naturais, média da precipitação e dias com chuva na região Centro-Oeste.</i>	<i>149</i>
<i>Figura 47 - Frequência média de dias para as classes de precipitação, por mês do ano para a região Sudeste.</i>	<i>150</i>
<i>Figura 48 - Distribuição mensal das ocorrências de desastres naturais, média da precipitação e dias com chuva na região Sudeste.</i>	<i>151</i>
<i>Figura 49 - Frequência média de dias para as classes de precipitação, por mês do ano para a região Sul.</i>	<i>153</i>
<i>Figura 50 - Distribuição mensal das ocorrências de desastres naturais, média da precipitação e dias com chuva na região Sul.</i>	<i>154</i>
<i>Figura 51 – Distribuição dos eventos de precipitação de acordo com sua classificação de intensidade (fraco, muito fraco, moderado forte, muito forte e extremo). Os valores de referência para cada categoria são mostrados na Tabela 13.</i>	<i>156</i>
<i>Figura 52 - Distribuição de estações pluviométricas na região de influência do evento crítico.</i>	<i>157</i>
<i>Figura 53 - Distribuição do número de desastres naturais, por município, que possuem estações pluviométricas associadas dentro da área de influência.</i>	<i>157</i>
<i>Figura 54 – Mapa do evento de máxima precipitação associados a ocorrência de desastres naturais.</i>	<i>159</i>
<i>Figura 55 – Mapa do evento de máxima precipitação, acumulado em cinco dias, associados a ocorrência de desastres naturais.</i>	<i>160</i>
<i>Figura 56 - Ajuste das distribuições de densidade acumulada à distribuição empírica, para os dados de precipitação da estação 82900 – Recife (Curado)-PE, do INMET. A distribuição GEV foi a que melhor se ajustou aos dados segundo os testes de aderência (parâmetros da GEV: $\kappa = -0.0592$, $\alpha = 27.3086$, $\beta = 103.3939$, $n = 55$ anos).</i>	<i>167</i>
<i>Figura 57 - Ajuste das distribuições de densidade acumulada à distribuição empírica, para os dados de precipitação da estação 82900 – Recife (Curado)-PE, do INMET. A distribuição GEV foi a que melhor se ajustou aos dados segundo os testes de aderência (parâmetros da GEV: $\kappa = -0.0343$, $\alpha = 53.0091$, $\beta = 191.7913$, $n = 55$ anos).</i>	<i>167</i>

<i>Figura 58 - Ajuste das distribuições de densidade acumulada à distribuição empírica, para os dados de precipitação da estação 82900 – Caucaia-CE, da ANA. A distribuição LPIII foi a que melhor se ajustou aos dados segundo os testes de aderência (parâmetros da LPIII: $\alpha=24.2940$, $\beta=61.3905$, $\gamma=1.9533$, $n = 104$ anos).</i>	<i>168</i>
<i>Figura 59 - Ajuste das distribuições de densidade acumulada à distribuição empírica, para os dados de precipitação da estação 82900 – Caucaia-CE, da ANA. A distribuição GEV foi a que melhor se ajustou aos dados segundo os testes de aderência (parâmetros da GEV: $\alpha=24.2940$, $\beta=61.3905$, $\gamma=1.9533$, $n = 104$ anos).</i>	<i>168</i>
<i>Figura 60 – Histograma da distribuição dos Períodos de Retorno (em anos) para os eventos de precipitação associados à ocorrência de desastres naturais para as 3476 estações e acumulados de precipitação para 1, 2, 5, 10 e 30 dias.</i>	<i>169</i>
<i>Figura 61 – Gráfico de dispersão entre o logaritmo dos períodos de retorno dos eventos de precipitação associados à ocorrência de desastres naturais versus as classes de precipitação calculadas a partir da técnica dos quantis.</i>	<i>170</i>
<i>Figura 62 - Médias Pluviométricas em 2004, com base nos dados das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) e INMET, no Estado da Paraíba.</i>	<i>171</i>
<i>Figura 63 - Imagens do satélite GOES-12, Temp. Topo de Nuvens, às 20:45 UTC, de 20/01/2004.</i>	<i>172</i>
<i>Figura 64 - Médias Pluviométricas em 2009, com base nos dados das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) e INMET, no Estado da Paraíba.</i>	<i>173</i>
<i>Figura 65 - Imagens do satélite GOES-10, topo de nuvens, às 16:15 UTC, 19:45 UTC, 21:15 UTC e 23:45 UTC, de 13/04/2009.</i>	<i>175</i>
<i>Figura 66 – a) impactos gerados pelo evento extremo de 13/04/2009, como: a inundação no bairro Morro (15/04); b) sangria do Açude do Jatobá, setor Sul da cidade de Patos; c) alagamento da cidade de Patos; d) perdas de animais na zona rural de Patos.</i>	<i>176</i>
<i>Figura 67 - Imagem realçada do canal infravermelho do satélite METEOSAT – 9, no dia 12/03/2014, mostrando a temperatura do topo de nuvens, às 02:00 UTC e 08:00 UTC, respectivamente.</i>	<i>177</i>
<i>Figura 68 - Imagens de estabelecimentos de serviços � popula�o atingidos pelos eventos de inunda�o e enxurradas no município de Alenquer. a) Banco do Brasil; b) Hotel; c) Posto de Combustível; d) Usina Termoelétrica Guascor.</i>	<i>179</i>
<i>Figura 69 - Imagens realçadas do canal Infravermelho do Satélite METEOSAT – 9, nos dias 09/01 e 10/01/2011, temperatura de topo de nuvens, às 00:30 UTC e 10:45 UTC.</i>	<i>181</i>
<i>Figura 70 - Inunda�es bruscas e alagamentos na cidade de Goiás, em 10/01/2011. a) transbordamento do rio Vermelho na ponte vizinha ao Museu Casa da poetisa Cora Coralina. b) alagamento das ruas da cidade. c) e d) extravasamento do leito do rio Vermelho. e) destrui�o de casas � margens do rio Vermelho. f) e g) fortes chuvas destroem marcos históricos do município, como a Cruz do Anhanguera.</i>	<i>182</i>
<i>Figura 71 - Imagens realçadas do canal Infravermelho do Satélite METEOSAT – 9, nos dias 11/01/2011 e 12/01/2011, temperatura de topo de nuvens, às 02:00 UTC e 06:30 UTC.</i>	<i>184</i>
<i>Figura 72 - Pluviograma da esta�o Vargem Alta das 07h00 do dia 11/01/2011 às 07h00 do dia 12/01/2011.</i>	<i>186</i>

<i>Figura 73 - Área mais atingida por deslizamentos em Nova Friburgo (imagem GeoEye, jan/2011). *1 - Cicatriz do Desabamento na Travessa Oriente, que soterrou casas e moradores, no Bairro do Córrego D'Antas, em 12/01/2011.....</i>	<i>187</i>
<i>Figura 74 - A) Município de Bom Jardim na Região Serrana do Rio de Janeiro. B) Comunidade de Campo Grande, município de Teresópolis-RJ. C) Capela de Santo Antônio, na Praça do Suspiro, uma das áreas mais atingidas da cidade de Nova Friburgo-RJ. D) Construção atingida por barranco no Centro de Nova Friburgo-RJ. E) Casa desabitada e marcada em área de risco às margens do Córrego D'Antas, em Nova Friburgo, após tragédia de 2011. F) Soterramento de residências na margem esquerda do córrego D'Antas, Nova Friburgo-RJ, onde várias casas foram arrastadas pelos deslizamentos e atingidas pela inundaçã brusca.</i>	<i>188</i>
<i>Figura 75 - Imagens realçadas do canal Infravermelho do Satélite METEOSAT – 9, nos dias 21/11/2008, 22/11/2008, 23/11/2008 e 24/11/2008, temperatura de topo de nuvens, às 12:15 UTC, 13:30 UTC, 18:00 UTC e 19:15 UTC, respectivamente.....</i>	<i>192</i>
<i>Figura 76 - Impactos causados pelos eventos de desastres no Vale do Itajaí - SC. a) Inundaçã na cidade de Itajaí-SC. b) Deslizamento em Blumenau-SC. c) Alto do Baú, Ilhota. d) Destruiçã de habitações em Gaspar-SC. e) Inundaçã em Timbó-SC. f) Desmoronamento da casa da Sra. Inelda Grah, em Blumenau, em novembro de 2008.....</i>	<i>193</i>

LISTA DE QUADROS

<i>Quadro 1 - Algumas Definições de Desastre de Diferentes Autores.....</i>	<i>11</i>
<i>Quadro 2 - Classificação da Tipologia dos Desastres em função da sua origem.....</i>	<i>13</i>
<i>Quadro 3 - Classificação dos desastres em relação à intensidade dos fenômenos (danos e prejuízos).</i>	<i>14</i>
<i>Quadro 4 - Classificação dos desastres naturais quanto a sua natureza.</i>	<i>15</i>
<i>Quadro 5 - Descrição dos Paradigmas do Desastre.....</i>	<i>15</i>
<i>Quadro 6 - Consequências ambientais e socioeconômicas dos desastres provocados por inundações, enxurradas, alagamentos, secas e estiagens.</i>	<i>20</i>
<i>Quadro 7 - Tipologia e Classificação de Inundações Graduais e Bruscas.</i>	<i>24</i>
<i>Quadro 8 - Monitoramento de Inundações pelo Sistema de Alerta do INEA.....</i>	<i>26</i>
<i>Quadro 9 - Relação dos grandes desastres naturais de deslizamentos ocorridos no Brasil.</i>	<i>30</i>
<i>Quadro 10 - Sistemas Atmosféricos Atuantes no Brasil e Características dos Regimes de Precipitação.</i>	<i>49</i>
<i>Quadro 11 - Eventos de El Niño e La Nina entre os anos de 1950 e 2016.</i>	<i>52</i>
<i>Quadro 12 - Classificação de Eventos Extremos de Precipitação por Região Geográfica.</i>	<i>59</i>
<i>Quadro 13 - Estrutura descentralizada e hierarquizada, do Sistema Nacional de Defesa Civil – SINDEC*.</i>	<i>68</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Registro de Desastres Naturais no Brasil e Danos Humanos, 1986-2016.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabela 2 - Critérios pluviométricos operacionais utilizados pelo Sistema Alerta Rio para definição dos níveis risco (probabilidade de ocorrência de escorregamentos) durante eventos chuvosos.</i>	<i>34</i>
<i>Tabela 3 - Índices Pluviométricos Críticos para Regiões Serrana, Metropolitana, Norte, Noroeste, Vale do Paraíba e Costa Verde no Estado do Rio de Janeiro.</i>	<i>34</i>
<i>Tabela 4 – Raio de influência das estações pluviométricas.</i>	<i>88</i>
<i>Tabela 5 - Classificação da precipitação diária segundo as faixas de probabilidade relacionadas às ordens quantílicas.</i>	<i>91</i>
<i>Tabela 6 - Tipologias de desastres naturais contidas no banco de dados S2iD até o ano de 2014.</i>	<i>99</i>
<i>Tabela 7 - Registros de Desastres Naturais por Estado e Região no período de 1943 a 2014.</i>	<i>99</i>
<i>Tabela 8 - Distribuição dos Episódios de Desastres Naturais, relacionados a eventos extremos de precipitação positiva, por Região no Brasil, no período de 1943 a 2014.</i>	<i>101</i>
<i>Tabela 9 - Comparativo de ocorrências de desastres naturais relacionados à extremos de precipitação positiva, por região e municípios atingidos.</i>	<i>118</i>
<i>Tabela 10 – Distribuição da quantidade de estações pluviométricas por Unidade da Federação.</i>	<i>120</i>
<i>Tabela 11 – Parâmetros estatísticos, por região administrativa, calculados com base no conjunto de estações pluviométricas selecionadas.....</i>	<i>131</i>
<i>Tabela 12 - Classificação da intensidade da precipitação diária (mm/dia), para as diferentes regiões do Brasil, segundo as faixas de probabilidade de ocorrência (técnica dos quantis).</i>	<i>138</i>
<i>Tabela 13 - Distribuição de frequência da precipitação média para o conjunto de estações pluviométricas seccionadas para o estudo. São apresentados os parâmetros da precipitação acumulada para 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15 e 30 dias.....</i>	<i>139</i>
<i>Tabela 14 - Distribuição dos eventos de precipitação de chuvas acumuladas para a cidade de Recife (PE), que ocasionaram três registros de deslizamentos em 20/08/2007.</i>	<i>140</i>
<i>Tabela 15 - Descrição dos Eventos Extremos de Precipitação – Classe CE na região Norte e Tipos de Desastres Naturais Ocorridos.....</i>	<i>145</i>
<i>Tabela 16 - Descrição dos Eventos Extremos de Precipitação – Classe CE na região Nordeste e Tipos de Desastres Naturais Ocorridos.....</i>	<i>147</i>
<i>Tabela 17 - Descrição dos Eventos Extremos de Precipitação – Classe CE na região Centro-Oeste e Tipos de Desastres Naturais Ocorridos.</i>	<i>149</i>
<i>Tabela 18 - Descrição dos Eventos Extremos de Precipitação – Classe CE na região Sudeste e Tipos de Desastres Naturais Ocorridos.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabela 19 - Dados pluviométricos e eventos de desastres naturais que marcaram o município de São Luís de Paraitinga (SP), em 31/12/2009 a 01/01/2010.....</i>	<i>152</i>

<i>Tabela 20 - Descrição dos Eventos Extremos de Precipitação – Classe CE na região Sul e Tipos de Desastres Naturais Ocorridos.....</i>	<i>154</i>
<i>Tabela 21 - Número de ocorrências dos eventos de desastres naturais associados a classificação de intensidade do evento de chuva acumulada para 1 dia.....</i>	<i>158</i>
<i>Tabela 22 - Número de ocorrências dos eventos de desastres naturais associados a classificação de intensidade do evento de chuva acumulada para 2 dias.</i>	<i>158</i>
<i>Tabela 23 - Número de ocorrências dos eventos de desastres naturais associados a classificação de intensidade do evento de chuva acumulada para 5 dias.</i>	<i>158</i>
<i>Tabela 24 - Parâmetros do ajuste de distribuições de probabilidade às series de dados de precipitação diária (Gumbel, GEV e Log-Pearson III), resultado da aplicação dos testes de aderência (CVM, AD e KS), e seus respectivos valores críticos para uma significância de 5% e a distribuição selecionada.</i>	<i>163</i>
<i>Tabela 25 - Parâmetros do ajuste de distribuições de probabilidade às series acumuladas de 5 dias de precipitação (Gumbel, GEV e Log-Pearson III), resultado da aplicação dos testes de aderência (CVM, AD e KS), e seus respectivos valores críticos para uma significância de 5% e a distribuição selecionada.</i>	<i>164</i>
<i>Tabela 26 - Resumo dos resultados do ajuste de distribuição de frequência apresentados nas Tabela 24 e Tabela 25 (completas).</i>	<i>165</i>
<i>Tabela 27 - Resumo das funções de distribuição selecionadas para cada estação e período de acumulação. ..</i>	<i>166</i>
<i>Tabela 28 – Análise de correlação (de Spearman) entre os valores de período de retorno dos eventos de precipitação associados à ocorrência de desastres naturais com as classes de precipitação calculadas a partir da técnica dos quantis.</i>	<i>170</i>
<i>Tabela 29 - Dados pluviométricos e eventos de desastres naturais que marcaram a estação da Paraíba em 2004 e 2009.....</i>	<i>174</i>
<i>Tabela 30 - Dados pluviométricos e eventos de desastres naturais que atingiram o estado do Pará em 2008 e 2014.....</i>	<i>178</i>
<i>Tabela 31 - Dados Pluviométricos e enxurradas registradas na Cidade de Goiás – GO pela estação pluviométrica 83374 – Goiás (INMET).....</i>	<i>180</i>
<i>Tabela 32 - Dados pluviométricos e eventos de desastres naturais que marcaram a região serrana do RJ em 2011.....</i>	<i>185</i>
<i>Tabela 33 - Dados pluviométricos e eventos de desastres naturais que marcaram a região o Vale do Itajaí em 2008.....</i>	<i>190</i>

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB - Alta da Bolívia
ANA – Agência Nacional de Águas
BC - Baixa do Chaco
CCM - Complexos Convectivos de Mesoescala
CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CENAD - Centro Nacional de Defesa Civil
CEPED - Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres
CONPDEC - Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil
DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
DRR - Disaster Risk Reduction
EEP – Evento Extremo de Precipitação
EM-DAT - Emergency Events Database of Centre for Research Epidemiology of Disastres
FPA - Frente Polar Atlântica
FPP - Frente Polar Pacífica
GDRN - Gerenciamento de Riscos de Desastres Naturais
HN - Hemisfério Norte
HS - Hemisfério Sul
IDF – Índice de Intensidade-Duração-Frequência
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISDR - International Strategy Disaster Reduction
JBN - Jatos de Baixos Níveis
JP - Jato Polar
JST - Jato Subtropical
MDE - Modelo Digital de Elevação
NNI - Nearest Neighbor Index
OMM - Organização Meteorológica Mundial
ONU – Organização das Nações Unidas
PNPDEC - Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
SIGRID - Sistema Informatizado para Gestão Integral de Riscos de Desastres Naturais
SINDEC - Sistema Nacional de Defesa Civil
SINPDEC - Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil
UNDP - United Nations Development Programme
ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

I. INTRODUÇÃO

Desde o início da civilização a humanidade sofre com os desastres naturais provocados por fenômenos naturais como terremotos, erupções vulcânicas, maremotos, furações, inundações, tsunamis, deslizamentos de encostas, entre outros. Nas últimas décadas houve um aumento expressivo na frequência dos desastres naturais pelo mundo, especialmente, no Brasil, tendo sido registrado milhares de perdas humanas, milhões de desabrigados, desalojados e afetados. É importante destacar que a partir da intensidade dos danos, dos prejuízos materiais ou ambientais, pela magnitude da ameaça e pela capacidade de enfrentamento – resiliência, pode-se identificar o grau de vulnerabilidade do sistema receptor afetado pelos desastres naturais.

Ramos (2017) destaca a necessidade de se entender as causas, mecanismos envolvidos e a dinâmica dos processos, sobretudo, a necessidade de se buscar formas mais seguras e economicamente viáveis para a prevenção e/ou redução dos impactos decorrentes dos desastres naturais sobre a sociedade e a economia.

Existe, em todo mundo, o registro de grandes episódios de desastres naturais como o ocorrido na China em 1332, onde uma devastadora inundação provocou a morte de cerca de 7 milhões de pessoas por afogamentos e 10 milhões por fome e doenças. Outros desastres naturais de grandes proporções foram registrados pelo mundo, como o ocorrido em Portugal, no ano de 1755, quando um terremoto de 8,6 graus na escala Richter vitimou cerca de 50.000 pessoas em decorrência dos tremores de terra, de um tsunami e incêndios que devastaram Lisboa (BRYANT, 1997, apud. SILVA, 2011). Em 2004, o tsunami, originado por um terremoto de 9.2 graus de magnitude na escala Richter, atingiu várias nações banhadas pelo Oceano Índico como a Indonésia, Sri Lanka e o sul da Índia, deixando mais de 170.000 mortos, 50.000 desaparecidos, 1.723.000 desalojados e 500.000 desabrigados (Banco Mundial de Desastres, EM-DAT - Emergency Events Database – CRED - Centre for Research Epidemiology of Disastres). Em 2005, o furacão Katrina causou um dos piores desastres naturais da história dos Estados Unidos, deixando mais de 1.600 mortos, cerca de 500.000 pessoas afetadas pelas inundações, e aproximadamente US\$ 125 bilhões de prejuízos (LEWIS, 2010; EM-DAT, 2013; MEDEIROS, 2013). No Haiti, em 2011, um terremoto deixou aproximadamente 230.000 mortos. Este foi o segundo maior terremoto já registrado em número de mortos pelo mundo, ficando atrás apenas do terremoto ocorrido na China, em 1976, com 242.000 mortes (SILVA, 2011, p. 15; MEDEIROS, 2013, EM-DAT, 2013).

No Brasil, ressalta-se que os desastres naturais mais recorrentes estão relacionados aos eventos extremos de precipitação de chuvas, tanto à falta de água (evento negativo), quanto ao excesso dela (evento positivo), dependendo da variabilidade pluviométrica, da atuação dos sistemas meteorológicos e da sazonalidade climática de cada região do país. Neste sentido, observa-se que as inundações (bruscas e graduais), alagamentos, movimentos de massas, desastres de secas e estiagens, têm ocorrido com maior frequência nos últimos anos, acarretando destruição de cidades, prejuízos à agricultura, entre outros danos irreparáveis ao processo econômico e social das regiões atingidas.

Segundo o levantamento de desastres naturais publicado no “Atlas Brasileiro de Desastres Naturais”, as secas e estiagens são o tipo de desastre mais recorrente no país, responsável por 51,31% do total de desastres registrados, seguido pelas inundações bruscas (enxurradas), com 21%, inundações graduais, com 12,04%, alagamentos, com 1,27%, e, movimento de massa responsáveis por 1,79% de todos os desastres naturais registrados no país, entre outros. A enxurrada ou inundações bruscas é também o tipo de desastre natural que causou o maior número de mortes no Brasil, ou seja, 58,15% do total, seguido dos movimentos de massa (deslizamentos), com 15,60%. As inundações graduais correspondem a 13,40% dos casos de mortes, a estiagem e a seca correspondem a 7,57% dos óbitos, e os alagamentos, com 0,78% dos casos (CEPED/UFSC, 2013).

No Brasil, as áreas com maior recorrência de desastres naturais são o Estado de Santa Catarina, o sudoeste do Rio Grande do Sul, o Estado do Espírito Santo, o norte do Rio de Janeiro, o norte de Minas Gerais, a Região Nordeste e o oeste do Estado do Pará. A Região Centro-Oeste é a que apresenta menor frequência (CEPED/UFSC, 2013).

Como exemplos de episódios de desastres naturais com grandes magnitudes de impactos no Brasil, pode-se citar as inundações que atingiram vários municípios do Vale do rio Itajaí (SC) em 2008, causando a morte de 151 pessoas, cerca de 1.500.000 pessoas afetadas e US\$ 750 milhões em prejuízos (EM-DAT, 2013; MEDEIROS, 2013). Outro exemplo ocorrido foi no verão de 2009/2010, no estado do Rio de Janeiro, destacando as ocorrências de desastres de escorregamentos em Angra dos Reis e Ilha Grande, vitimando 74 pessoas. Em 2010, vários municípios dos estados de Alagoas e Pernambuco, localizados na região do Vale dos rios Mundaú e Paraíba, ficaram inundados devido aos eventos extremos de precipitação. Em Alagoas, este evento vitimou 36 pessoas, deixou 1.131 pessoas feridas, e aproximadamente,

270 mil pessoas foram afetadas, das quais 44 mil ficaram desalojadas e mais de 28 mil desabrigadas. O custo total deste evento foi estimado em R\$ 1.89 bilhões entre perdas e danos (BANCO MUNDIAL, 2012a). Já, em Pernambuco, este evento atingiu 67 municípios das Zonas da Mata e Agreste de Pernambuco e da Região Metropolitana do Recife, atingindo 740.001 pessoas, onde, vitimou 20 pessoas, deixou 6.301 pessoas feridas, 86.464 desalojadas e 19.520 desabrigadas. Os prejuízos econômicos foram significativos, estimado em R\$ 3,4 bilhões, concentrados principalmente no setor social (BANCO MUNDIAL, 2012b). No ano seguinte verificou-se uma repetição das enchentes na região. Em 2011, no estado do Rio de Janeiro, a região Serrana foi marcada pela maior catástrofe natural registrada no Brasil, com diversos deslizamentos e enchentes que atingiram os municípios de Nova Friburgo, Teresópolis, Petrópolis, Sumidouro e São José do Vale, sendo registrado mais de 800 óbitos e milhares de desabrigados (MARCELINO, 2008; SILVA, 2011; MEDEIROS, 2013).

Em 2004, o relatório do *United Nations Development Programme – UNDP*, destacou que 75% da população mundial habitavam áreas que foram afetadas por, pelo menos, um episódio de ciclone, inundação, seca, deslizamento ou terremoto, entre os anos de 1980 e 2000, causando inúmeras mortes e impactos na agricultura, recursos hídricos, saúde, entre outros (BRAGA et al., 2006). Muitas vezes o aumento da incidência de desastres naturais é associado ao aquecimento global e às mudanças climáticas. Por outro lado, a transformação da paisagem pela ação humana, estabelecendo áreas vulneráveis e de risco, também acarreta o aumento destes fenômenos. Conforme Azevedo (2015), a crescente e indiscriminada ocupação urbana que se processa em áreas desfavoráveis, sem o apropriado planejamento do uso do solo e com a ausência da incorporação de técnicas adequadas de prevenção e estabilização de áreas com alto grau de susceptibilidade e fragilidade ambiental, vem acarretando o desenvolvimento de acidentes vinculados aos eventos naturais extremos, resultando em desastres naturais.

Assim sendo, as pessoas sem opções na escolha do local de moradia acabam sendo forçadas a morar em áreas de risco, segregadas em áreas periféricas, vulneráveis aos deslizamentos de encostas e as inundações. A situação se agrava quando ocorre o aumento das chuvas intensas (torrenciais) ou de longa duração, que favorece a saturação do solo, provocando escorregamentos e/ou deslizamentos de encostas, além da ocorrência de alagamentos e das inundações. Na tentativa de reduzir perdas humanas e os danos às propriedades, instituições governamentais e de pesquisa vêm buscando avaliar a susceptibilidade, a ameaça e o risco atrelado a estes eventos, contribuindo para a prevenção de danos e uma melhor preparação

contra desastres (THIEBES et al., 2014; AZEVEDO, 2015; RAMOS, 2017). Entretanto, sabe-se que a ocorrência e a persistência dos desastres estão diretamente associadas as fragilidades ambientais, a organização territorial, as condições climáticas e a vulnerabilidade social.

Nesse sentido, cada vez mais as causas e consequências, bem como as respostas e ações para prevenção e mitigação de desastres naturais, vêm se tornando temas de grande interesse dos órgãos gestores, públicos e privados, devido à gravidade do cenário, nas últimas décadas. Isto se deve em grande parte aos inúmeros alertas da comunidade científica sobre o potencial de mudanças ambientais em larga escala, como as alterações climáticas, que resultam em aumento da frequência e intensidade de variáveis hidrológicas como a precipitação (BLASHKI et al., 2007; EBI; PAULSON, 2007).

Como o regime pluviométrico no Brasil apresenta significativas variações no espaço e no tempo, por ser um mecanismo complexo, o estudo da variável precipitação é de grande importância para o entendimento dos desastres naturais, podendo auxiliar no seu gerenciamento, prevenção, mitigação e na implementação e operação de sistemas de alerta. Azevedo (2011) destaca que a definição de limites críticos de precipitação, associada às previsões de chuvas e monitoramentos em tempo real, já vem sendo utilizada como uma parte constituinte dos sistemas de previsão e alerta de riscos, os quais se configuram como ferramentas fundamentais para a prevenção de desastres naturais (AZEVEDO, 2011). Ainda, segundo o autor, a determinação das relações entre chuvas e desastres naturais permitirá a produção de critérios fortemente fundamentados que poderão servir para aumentar a precisão dos sistemas de alerta quanto à ocorrência dos desastres.

O estudo dos dados de variabilidade pluviométrica, através da consolidação de banco de dados relacional, com a incorporação de grande volume de dados, submetidos a procedimentos analíticos sistemáticos, por meio de algoritmos estatísticos construídos em linguagem de programação para a automação de análises multiescalares, constitui segundo Fetter (2016), uma abordagem promissora para o avanço científico da Climatologia Geográfica no Brasil. Contudo, entender essas distribuições pluviométricas requerem uma boa base de dados observacionais de longo prazo, integrados a um banco de dados relacional, porém, a baixa disponibilidade destes dados torna-se um obstáculo para determinar sua espacialização e variabilidade, tornando-se um grande obstáculo na pesquisa.

Neste sentido, recorreu-se ao uso de técnicas estatísticas que fossem capazes de entender os aspectos climatológicos da precipitação e sua variabilidade, identificando faixas de precipitação nas diferentes regiões do país, além, dos limiares dos eventos extremos de precipitação para cada localidade. Os desafios do gerenciamento de riscos e desastres naturais exigem a construção de sistemas que incorporem metodológicas apropriadas à identificação dos padrões de distribuição e de tendências nos dados, com base em parâmetros e variáveis que possam ser medidos e monitorados continuamente, como os eventos extremos de precipitação. Neste contexto, o prognóstico de eventos extremos de precipitação e a identificação dos períodos de recorrência desses eventos atípicos são peças fundamentais na predição e prevenção de desastres naturais.

Uma das formas de alcançar este objetivo é a partir do desenvolvimento, aprimoramento e aplicação de técnicas estatísticas que busquem identificar esses padrões de distribuição espaço-temporal dos eventos extremos de precipitação e dos desastres naturais, caracterizando possíveis cenários susceptíveis à ocorrência de futuros episódios de desastres, após determinação de seus referidos períodos de retorno. O importante é entender a dinâmica e o comportamento dos fenômenos com base na análise de parâmetros estatísticos como: intensidades, frequências e distribuições. Os resultados da pesquisa podem contribuir, tanto de forma direta como indiretamente, como entradas para outros modelos mais complexos de previsão de recorrência de eventos extremos de precipitação e de desastres naturais (modelos hidrológicos-hidrodinâmicos, meteorológicos, entre outros), subsidiando as tomadas de decisões e a efetivação de políticas públicas que assegurem a minimização de riscos a desastres naturais junto à população de áreas vulneráveis.

O presente trabalho atende os requisitos e condiz com a atual ação governamental de prevenção aos desastres naturais provocados por fenômenos climáticos, como ressaltado na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, Lei nº 12.608, de 10/04/2012, que tem como meta a redução dos riscos de desastres, bem como desenvolver técnicas e métodos que venham proporcionar a produção de alertas antecipados sobre a ocorrência desses desastres. Os resultados da pesquisa poderão contribuir no desenvolvimento e implantações de sistemas de observação e modelos computacionais para monitoramento de desastres naturais, entre outros recursos subsidiando ações de prevenção e mitigação voltadas à proteção e defesa civil.

Tendo em vista a relevância do tema, a pesquisa visa contribuir através da aplicação de técnicas de análises estatísticas, para o melhor entendimento da ocorrência de desastres naturais associados a eventos extremos de precipitação, que atingiram as regiões brasileiras nas últimas décadas. Além disso, este trabalho também visa mostrar a viabilidade do uso de técnicas de análise e interpretação de grandes volumes de dados, também conhecido como *Big Data*, na área da geografia relacionada ocorrência de desastres naturais. O uso de ferramentas computacionais e estatísticas são instrumentos valiosos na ciência geográfica, em especial para se estudar susceptibilidades e riscos a desastres naturais, permitindo análises espaciais complexas a partir do tratamento de dados geográficos e seus atributos (situações ou fenômenos) inseridos em bases de dados.

1.1. Hipótese

Diante do cenário apresentado anteriormente e da necessidade de conhecer a variabilidade pluviométrica, os padrões de distribuição de chuvas e a definição dos limiares críticos de eventos extremos chuvosos que desencadeiam episódios de desastres naturais pelo país, a pesquisa foi realizada no intuito de responder duas questões principais:

- i) Os Eventos Extremos de Precipitação – EEPs apresentam padrões/tendências de distribuição em relação à quantidade de ocorrência (frequência), a intensidade da precipitação e a duração de chuvas?
- ii) Qual a relação entre a variabilidade pluviométrica, os EEP e a ocorrência de desastres naturais nas diferentes regiões do Brasil?

Tendo em vista a importância dos questionamentos, formulou-se a seguinte hipótese: ao consolidar um banco de dados relacional, após cruzamento dos bancos de dados de desastres naturais, de precipitação e topográficos, aplicando técnicas e análises estatísticas, com uso de algoritmos estatísticos e automação (programação), é possível identificar os padrões/tendências de distribuição de chuvas e definir os limites críticos de precipitação que desencadeiam os episódios de desastres naturais.

As respostas aos questionamentos poderão contribuir para o desenvolvimento de sistemas de alertas, auxiliando as ações de previsão, preparação e mitigação de desastres, além, de colaborar na gestão de riscos a desastres naturais.

1.2. Objetivo Geral

O objetivo geral da pesquisa é propor uma abordagem metodológica de estudo sistemático das (re) ocorrências de eventos extremos de precipitação e desastres naturais, por meio do cruzamento de bases de dados pluviométricos, topográficos e de desastres, visando estabelecer relações entre estas variáveis e a identificação de padrões e limiares críticos de precipitação com potencial real para desencadear episódios de desastres naturais nas diferentes regiões do Brasil.

1.2.1. Objetivos específicos

- Levantar e classificar os episódios de desastres naturais associados a EEP, tais como inundações bruscas (enxurradas), inundações graduais, alagamentos, movimentos de massas, chuvas intensas e frentes frias/zonas de convergências, no Banco de Dados S2iD do Centro Nacional de Defesa Civil - CENAD, para o período entre 1940 e 2014;
- Identificar os postos de medição de precipitação existentes no Brasil (ANA e INMET), compilar a localização, realizar a consistência e disponibilidade de dados, resultando na elaboração de uma Base de Dados contendo informações da variabilidade pluviométrica no Brasil, no período de 1910 a 2016;
- Analisar a distribuição multiescalar de tendências espaço-temporais na variabilidade pluviométrica, e fazer um diagnóstico dos eventos extremos de precipitação no Brasil correlacionando, estatisticamente, as relações empíricas de intensidade-duração-frequência (IDF) e Período de Retorno (TR) das precipitações extremas.
- Propor metodologias para o estabelecimento de relações, entre os episódios de desastres naturais e eventos extremos positivos de precipitação, que possam subsidiar estudos mais específicos e a definição de estratégias mais eficientes à tomada de decisões no Gerenciamento de Riscos a Desastres Naturais e Sistemas de Alerta por todo Brasil.

1.3. Estrutura da Tese

O trabalho está dividido em seis capítulos. O primeiro capítulo compreende uma introdução que apresenta as razões que motivaram o desenvolvimento da pesquisa, as justificativas, hipótese, objetivos e a estrutura da tese.

O segundo capítulo trata da fundamentação teórica acerca dos temas abordados na pesquisa, tais como: desastres naturais, tipologias, fatores condicionantes e seus potenciais impactos ambientais e socioeconômicos; a relevância da compreensão dos desastres naturais relacionados inundações (bruscas e graduais), alagamentos e movimentos de massa; caracterização da variabilidade pluviométrica e eventos extremos de precipitação no Brasil; distribuição e atuação dos principais sistemas atmosféricos atuantes na América do Sul; padrões de distribuição de precipitação e análise estatística de séries temporais.

O terceiro capítulo refere-se as análises e fundamentação teórica dos temas de gestão de riscos a desastres naturais no Brasil e de base de dados históricos de episódios de desastres naturais.

O quarto capítulo apresenta os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa, onde, foram detalhados os procedimentos realizados nas etapas de levantamento das bases de dados de precipitação, desastres naturais e topográficos; de compilação do Banco de Dados; de análises de consistência dos dados de desastres naturais e pluviométricos; de seleção dos desastres naturais e estações pluviométricas (área de abrangência); de cruzamento das bases de dados; de aplicação da técnica dos quantis; de análise das precipitações máximas acumuladas para diferentes durações; de aplicação das análises das distribuições de frequência e períodos de retorno ou recorrência de eventos extremos de precipitação; de análises dos efeitos da topografia na distribuição de desastres naturais pelo Brasil.

O quinto capítulo apresenta os resultados e as discussões após análises realizadas e desenvolvimento de todas as etapas da pesquisa. Os resultados das análises foram apresentados com gráficos, mapas, tabelas e imagens. Por último, temos o sexto capítulo que se refere as considerações finais, com apresentação de algumas recomendações para estudos futuros e possibilidades de aprofundamentos na temática.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O capítulo trata da análise de teorias e conceitos pertinentes à interpretação dos processos levantados empiricamente na pesquisa, com o objetivo de obter um melhor entendimento da temática abordada.

2.1. Desastres Naturais

2.1.1. Definição

Historicamente, os desastres foram interpretados como resultado de forças estranhas, incontroláveis, que golpeavam o homem, como um castigo, ora de origem divina, ora da atuação maléfica da natureza (SULAIMAN, 2014, p. 20). Na literatura o vocabulário manteve o sentido de “evento sinistro”, que traz significados de fatalidade, desgraça e calamidades, sendo utilizado para caracterização de todo tipo de infortúnio, súbito, inesperado ou extraordinário. Alguns pesquisadores consideram que os desastres naturais estão diretamente relacionados à vulnerabilidade e resiliência da sociedade a tais fenômenos (MONTEIRO, 2016).

Na geografia muitas pesquisas sobre desastres resultaram de estudos com abordagens física, social e sistêmica dos eventos. Mas, observou-se, que por muitos anos as pesquisas sobre desastres omitiram as questões sociais e humanas envolvidas na dinâmica do processo. Saunders (1980), seguindo a abordagem fisicalista, destacava que os desastres são eventos físicos, designando-os como “desastres ou catástrofes naturais”, e que o próprio evento natural é por si só um desastre natural. Hewitt (1983), dentro do paradigma tecnocêntrico ou da engenharia, ressaltava que os desastres naturais eram pesquisados e compreendidos como independentes da ação humana. Porém, foi com a contribuição da geografia humana através da introdução dos conhecimentos da geografia da percepção e da geografia social dos espaços construídos e transformados pelo homem, que houve a mudança de paradigmas no desenvolvimento das pesquisas (WARNER et al., 2002; SMITH; PETLEY, 2009).

Nas últimas décadas, os estudos de vulnerabilidade e riscos constituem um importante complemento para compreensão da dinâmica, dos processos e ocorrência dos desastres naturais. A geografia, juntamente com outras áreas de conhecimento, tem aplicado nessas pesquisas abordagens sistêmicas para explicar fenômenos como ameaças, perigos naturais e riscos

ambientais, integrando diversas variáveis físicas, sociais e humanas ao desenvolvimento das pesquisas (RUBIANO, 2009).

Do ponto de vista histórico, o impulso inicial das pesquisas sobre Desastres e Riscos pode ser atribuído à Gilbert White que, por volta de 1945, desenvolveu trabalhos sobre os aspectos físicos das perdas provocadas por enchentes nos Estados Unidos. White chamou atenção para o fato de que os estudos se restringiam a ações para reduzir os impactos gerados pelos eventos através de medidas estruturais (melhoramento fluvial e obras de retenção). Em 1956 White ajudou a construir um grupo de estudos na Universidade de Chicago, dando origem ao campo de estudo conhecido hoje como *Hazards*, direcionado aos estudos de enchentes e outros tipos de fenômenos naturais. Em 1952 o *National Academy of Sciences* e o *National Research Council* criaram o *Committee on Disasters Studies* transformado, em 1963, no *Disasters Research Center* - DRC junto à Universidade de Ohio. Na década de oitenta o DRC foi transferido para a Universidade de Delaware (DRABECK, 1986, p. 2-3).

De modo a evidenciar a problemática do processo de ocupação humana de um território e a relevância da adaptação humana ao ambiente, White (1945) introduziu nos estudos, sobre desastres naturais, a relação entre ameaças e população. Isso significou a premissa de que havia forte interdependência entre a dinâmica físico-natural da Terra e os processos de ocupação do território. White (1945) ressaltou que “não existe ameaça natural isolada do ajuste do homem a ela. Ela sempre envolve iniciativa e escolhas humanas”.

Jatobá (2011) ressalta que os desastres naturais provocados por fenômenos naturais têm se intensificado à medida que a urbanização se acelera, pois, a urbanização afeta as condições naturais para ocorrência de desastres naturais, assim como estes desastres ambientais têm seu potencial ampliado em função da urbanização (JATOBÁ, 2011). Segundo estimativas do Fundo de População das Nações Unidas, a soma de todas as áreas urbanas ocupa somente 2,8% da superfície terrestre. No entanto, grande parte dos impactos ambientais tem sido gerada nestas áreas, como também, o aumento de desastres naturais de inundações, enchentes e deslizamentos. Assim, segundo Jatobá (2011), a urbanização é uma situação em que aumenta a exposição da população aos riscos (JATOBÁ, 2011).

Com base na revisão bibliográfica, os desastres naturais podem ser caracterizados e conceituados de várias formas, de acordo com diferentes linhas de pensamento, conforme pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Algumas Definições de Desastre de Diferentes Autores

Autor(es)	Definição de Desastre
Castro (1999)	Resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais. A intensidade de um desastre depende da interação entre a magnitude do evento adverso e o grau de vulnerabilidade do sistema receptor afetado.
Butzke e Mattedi (2001)	Um acontecimento ou série de acontecimentos que altera o modo de funcionamento rotineiro de uma sociedade. Esses acontecimentos são provocados por grande variedade de agentes naturais ou criados pelo homem.
UN-ISDR (2009)	Uma grave perturbação do funcionamento de uma comunidade ou sociedade, envolvendo perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais de grande extensão, cujos impactos excedem a capacidade da comunidade ou sociedade afetada de arcar com seus próprios recursos.
Nunes et al. (2009)	Forte modificação e, por vezes, ruptura da funcionalidade do território. É o ápice de um processo contínuo, revelando desequilíbrio brusco e significativo entre as forças compreendidas pelo sistema natural e as forças do sistema social, o que sublinha que suas consequências podem estar mais relacionadas às formas como se dá a ocupação do espaço pela sociedade do que à magnitude do fenômeno desencadeado.
Tominaga (2009)	Destaca que quando as forças da natureza promovem uma grande perturbação do funcionamento de uma comunidade ou de uma sociedade envolvendo perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais de grande extensão, cujos impactos excedem a capacidade da comunidade ou da sociedade afetada de arcar com seus próprios recursos, passam a se chamar desastres naturais.
Freitas (2014)	Um desastre natural resulta da combinação de quatro fatores importantes, que envolvem simultaneamente processos naturais e sociais, que impactam a sociedade a partir do padrão de interação entre eventos de origem natural e a organização social, como: 1) a ocorrência de uma ameaça natural – eventos físicos que podem ser gerados pela dinâmica da natureza, tais como chuvas fortes, inundações bruscas ou graduais, secas ou estiagens, entre outros; 2) uma população exposta (crianças, idosos, mulheres, etc) dependente da situação ambiental do lugar; 3) das condições de vulnerabilidade social desta população resultantes da precariedade das condições de vida e proteção social (trabalho, renda, saúde, educação, infraestrutura, habitações, saneamento, entre outros) e das condições de vulnerabilidade ambiental resultantes da degradação ambiental (ocupação de áreas de proteção, desmatamento de encostas e áreas rurais, ocupação desordenada do solo urbano, precariedade de sistemas de drenagem e resíduos sólidos, entre outros); 4) das insuficientes capacidades ou medidas para reduzir os potenciais riscos e danos à população.

Saito et al. (2015)	Desastres naturais são desencadeados por processos que envolvem grande número de variáveis geofísicas (relevo, vegetação, rios, precipitação, entre outras) e humanas (população, ocupação do solo, pobreza, educação, entre outras). Portanto, são o resultado de modelos de desenvolvimento, e esse processo influencia direta e indiretamente as condições de vulnerabilidade por meio de mudanças na forma de uso da terra, com a ocupação e a transformação do ambiente natural sem preocupação com a sustentabilidade. Algumas regiões são mais afetadas devido à magnitude e à frequência dos fenômenos e à vulnerabilidade do sistema social.
Monteiro (2016); Tominaga (2009) & Cruz (2003).	Os desastres naturais estão associados à própria história do homem e a forma como este se apropria da natureza e utiliza seus recursos. Assim, só é considerado desastre quando atinge uma determinada área povoada, uma população, provocando danos materiais e/ou humanos e vitimando pessoas.

Fonte: Elaborado pela autora a partir de SAITO et al. (2015).

Segundo o Relatório Estatístico Anual do Emergency Disastres Data Base, desenvolvido pelo Center for Reserarch on the Epidemiology of Disaster (CRED), da Universidade de Louvain, Bélgica, para um evento ser inserido na estatística de desastres, ao menos um destes critérios deve ser cumprido: 10 ou mais pessoas mortas; 100 ou mais pessoas afetadas pelo evento; Decretação de Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública, e pedido de assistência internacional (EM-DAT, 2013). Para Tobin e Montz (1997), não existe uma unanimidade quanto ao conceito de desastre natural devido à grande variedade de fatores que levam à sua ocorrência e possíveis efeitos desencadeados. (TOBIN; MONTZ, 1997; UNDP, 2004).

De um modo geral, os desastres podem ser classificados em função da sua origem, intensidade, evolução e duração. Em relação à origem os mesmos podem ser classificados como naturais, humanos/antropogênicos ou tecnológicos e mistos, como pode se observar no Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação da Tipologia dos Desastres em função da sua origem.

Tipologia dos Desastres	Definição	Fatores Condicionantes	Exemplificação
Desastres Naturais	São aqueles causados por fenômenos e desequilíbrios da natureza que atuam independentemente da ação humana, que quando intensificados podem gerar alterações ambientais e intervenções no meio ambiente.	Chuvas bruscas rápidas e fortes, chuvas intensas ou graduais de longa duração, degelo nas montanhas e outros eventos climáticos, que resultam em possíveis desastres de inundações, deslizamentos, secas, estiagens, tempestades, granizo, vendaval, entre outros.	 <p>a) Episódio de Escorregamento na Serra do Mar, estado de Santa Catarina, 2008. b) Estiagem no Nordeste do Brasil. Fonte: http://www.deolhonotempo.com.br/index.php/nacional/3221-el-nino-agrava-estiagem-no-nordeste-do-brasil.</p>
Desastres Humanos/ Antropogênicos ou Tecnológicos	São aqueles resultantes de ações ou omissões humanas, e estão relacionados com as atividades do homem. Normalmente, estão relacionados às consequências negativas dos desequilíbrios econômicos, sociais e políticos.	Acidentes de trânsito, incêndios urbanos, contaminação de rios e solos, rompimento de barragens, vazamento de óleo no mar, contaminação atmosférica, hídrica e solo por resíduos ou rejeitos radioativos (acidentes nucleares decorrentes de eventos associados ao transporte, armazenamento e uso de material radioativo e fontes de radiação), entre outros.	 <p>a) Incêndio atinge tanques de combustíveis da empresa Ultracargo, em Santos/SP, em Abril/2015. Fonte: g1.globo.com. b) Acidente radiológico com Césio 137, na rua 6-A, setor Norte Ferroviário, em Goiânia/GO, 29/09/1987. Fonte: Okuno (2013), Revista Estudos Avançados, Volume 27, Número 77, pag. 197, 2013.</p>
Desastres Mistos	São aqueles que resultam das interações de fenômenos naturais com atividades humanas. Essas interações, entre os fenômenos naturais, processos e ações humanas, por seus aspectos globalizantes, tendem a alterar profundamente os ecossistemas naturais e humanos, afetando, às vezes, grandes extensões do meio ambiente.	Ocupação das planícies de inundação põem em risco a população usuária. Contudo, o desastre só ocorrerá se as inundações tiverem magnitude suficiente para gerar danos. Inundação provocada pelo rompimento de barragens artificiais são considerados desastres tecnológicos, portanto resultante da falha ou omissão humana, torna-se misto. Ocupação de encostas em áreas de riscos.	 <p>a) Construções do Centro da cidade de Nova Friburgo/RJ, Rua Cristina Ziede, afetadas por deslizamentos dos morros, na tragédia de 12/01/2011. b) Casa destruída pela corrida de massas e enxurradas às margens do Córrego D'antas, em Nova Friburgo/RJ. Foto: Isabel C.D.H.Carvalho, 2013.</p>

Fonte: Elaborado pela autora baseado em MARCELINO, 2008; KOBAYAMA et al, 2006; ROMERO; MASKREY, 1993.

O Quadro 3 apresenta a classificação dos desastres em relação à intensidade dos fenômenos, dos danos e prejuízos provocados, sendo, útil na aplicação de planejamento das ações de resposta e de recuperação nas áreas atingidas.

Quadro 3 - Classificação dos desastres em relação à intensidade dos fenômenos (danos e prejuízos).

Nível	Intensidade	Situação
I	Desastres de pequeno porte, também chamados de acidentes, onde os impactos causados são pouco importantes e os prejuízos pouco vultosos. (Prejuízo menor que 5% PIB municipal)	Facilmente superável com os recursos do município.
II	De média intensidade, onde os impactos são de alguma importância e os prejuízos são significativos, embora não sejam vultosos. (Prejuízos entre 5% e 10% PIB municipal)	Superável pelo município, desde que envolva uma mobilização e administração especial.
III	De grande intensidade, com danos importantes e prejuízos vultosos. (Prejuízos entre 10% e 30% PIB municipal)	A situação de normalidade pode ser restabelecida com recursos locais, desde que complementados com recursos estaduais e federais. (Situação de Emergência – SE)
IV	De muito grande intensidade, com impactos muito significativos e prejuízos muito vultosos. (Prejuízos maiores que 30% PIB municipal)	Não é superável pelo município, sem que receba ajuda externa. Eventualmente necessita de ajuda internacional. (Estado de Calamidade Pública – ECP)

Fonte: TOMINAGA, 2009; KOBIYAMA et al. 2006; CASTRO et al. 2004.

Quanto à evolução, os desastres podem ser classificados como: desastres súbitos ou de evolução aguda (ex.: terremotos e inundações); desastres graduais ou de evolução crônica (ex.: estiagem); e desastres por somação de eventos parciais (ex.: acidentes de trânsito).

Em se tratando de desastres naturais é bastante comum agrupá-los segundo a natureza do fenômeno natural que o desencadeou: geofísico, hidrológico, meteorológico, climatológico, biológico, e, também, por causas atribuídas às ações humanas (ALCÂNTARA-AYALA, 2002; CASTRO, 1999; KOBIYAMA et al., 2006; MARCELINO, 2008; TOMINAGA, 2009). O Quadro 4 apresenta a classificação dos desastres naturais segundo a sua natureza.

Quadro 4 - Classificação dos desastres naturais quanto a sua natureza.

Categoria	Tipos de desastres
Geológicos	<ul style="list-style-type: none"> • Terremoto (tremor de terra, Tsunami, Emissões vulcânicas). • Movimentos de Massa (quedas de barreiras, tombamentos e rolamentos; deslizamentos e corridas de massa). • Erosão (costeira, fluvial e continental).
Hidrológicos	<ul style="list-style-type: none"> • Inundações, Enxurradas e Alagamentos
Meteorológicos	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de grande escala e escala regional (ciclones). • Tempestades Convectivas (chuva intensa, tornados, vendaval, granizo, raios, entre outros). • Tempestades extremas (ondas de calor ou frio), secas.
Climatológicos	<ul style="list-style-type: none"> • Seca e estiagem, incêndios florestais, baixa umidade do ar, entre outros.
Biológicos	<ul style="list-style-type: none"> • Epidemias (doenças infecciosas virais, bacterianas, parasíticas e fungicas) • Infestações/Pragas (infestações de animais, algas entre outras).

Fonte: Baseado na Instrução Normativa nº1, de 24/08/2012. KRUGER, 2012, p. 26 a 28.

Segundo Mata-Lima et al. (2013), as pesquisas sobre desastres naturais concentram-se em torno de quatro paradigmas: Hazard-Risk-Vulnerability-Resilience (Perigo-Risco-Vulnerabilidade-Resiliência), que ajudam a esclarecer que os desastres naturais não são considerados como fenômenos extremos provocados exclusivamente por forças naturais, visto que a vulnerabilidade é o fator determinante do impacto dos desastres. O Quadro 5 apresenta uma síntese descritiva dos paradigmas

Quadro 5 - Descrição dos Paradigmas do Desastre.

Paradigmas	Descrição
Perigo (<i>Hazard</i>)	<p>É a probabilidade de um fenômeno natural potencialmente danoso ocorrer num determinado local e num período de tempo específico (TOMINAGA et al., 2009, p. 151). REBELO (2008) apresenta uma explicação exaustiva sobre os conceitos de <i>hazard</i> e risco. Os perigos (<i>hazards</i>) ambientais podem ser classificados em: os geofísicos, meteorológicos, hidrológicos, geológicos, tecnológicos, biológicos e até mesmo sócio-políticos. A ideia de perigo ambiental inclui perigos naturais agravados pela ação do ser humano, perigos antrópicos agravados pela natureza, perigos antrópicos que afetam a natureza, dentre outros (MELO, et al., 2008, p.169).</p>

<p>Risco (<i>Risk</i>)</p>	<p>Corresponde a combinação da probabilidade de ocorrência de um evento natural e sua severidade (consequências negativas), sendo frequentemente expresso como o produto de hazard pelas consequências para o Homem (TOMINAGA et al., 2009, p. 149). UN-ISDR (2005) define risco como “a probabilidade de consequências prejudiciais, ou danos esperados (morte, pessoas feridas, prejuízos econômicos, entre outros) resultantes da interação entre perigos (ameaças) naturais ou induzidos pela ação humana e as condições de vulnerabilidade”.</p> <p>O risco é a probabilidade de perda, e depende de três elementos: Ameaça, Exposição e Vulnerabilidade. É possível, por exemplo, diminuir o risco reduzindo a exposição. Se qualquer um dos três elementos aumenta ou diminui, então o risco aumenta ou diminui respectivamente (CRICHTON, 1999). Numa análise de risco também pode ser levada em consideração a habilidade de uma dada população em resistir e recuperar-se de um perigo natural, denominada como resposta ou resiliência (resilience). Assim, quanto maior for a capacidade de resposta de um sistema social, menores serão os danos e prejuízos, o que diminuiria o risco (MARCELINO, et al., 2006). A análise de risco tem como base a equação proposta pelo International Strategy for Disaster Reduction – UN-ISDR (2004):</p> $R = \frac{(P * V)}{Re}$ <p>, Em que: R é o risco; P é o perigo; V é a vulnerabilidade e Re é a resposta. De forma resumida, pode-se entender o Risco (R) como uma função do Perigo (P), da Vulnerabilidade (V) e do Dano Potencial (DP), o qual pode ser expresso como: R = P x V x DP.</p>
<p>Vulnerabilidade (<i>Vulnerability</i>)</p>	<p>Consiste no conjunto de processos e condições resultantes de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, o qual aumenta a susceptibilidade de uma comunidade (exposta ao risco) ao impacto dos perigos (TOMINAGA et al., 2009, p. 151). Assim, ser vulnerável é estar fisicamente sensível a uma ameaça/perigo e apresentar fragilidade diante do possível dano.</p> <p>Vulnerabilidade refere-se a capacidade da comunidade para antecipar, enfrentar, resistir e recuperar-se dos impactos dos desastres naturais e é composto por uma variedade de fatores que determinam o grau de exposição de pessoas e bens ao risco (INGRAM et al., 2006, p. 607).</p> <p>A vulnerabilidade compõe três fatores: exposição, susceptibilidade e capacidade de resposta. Birkmann et al. (2011) destacaram a seguinte equação:</p> <p>Vulnerabilidade agregada = Exposição + Susceptibilidade - Capacidade de resposta</p>
<p>Resiliência (<i>Resilience</i>)</p>	<p>Resiliência é definida como a capacidade de uma comunidade para suportar e recuperar-se de adversidade tanto a curto quanto a longo prazos (FRERKS et al., 2011, p.112).</p> <p>United Nations International Strategy for Disaster Reduction – UN-ISDR (2012), destaca-se que resiliência significa a habilidade de um sistema, comunidade ou sociedade exposta a uma ameaça de resistir, absorver, acomodar e se recuperar dos efeitos das ameaças de maneira eficiente, incluindo a preservação e restauração das suas estruturas básicas e funcionais. É de extrema importância entender o potencial e a limitação de resiliência que cada sistema detém, desenvolvendo mecanismos que aumentem o nível de resiliência.</p> <p>GIBBS (2009, p. 324) e KLEIN et al. (2003, p. 35) consideram que a resiliência é um simples atributo relacionado com o nível de perturbação que um sistema pode absorver sem perder as suas capacidades e o grau que o sistema dispõe para reorganizar, devendo a resiliência ser considerada apenas como um dos fatores que influenciam a “capacidade de adaptação” (<i>adaptive capacity</i>) do sistema.</p>

Fonte: Elaborado pela autora com adaptações baseado em MATA-LIMA et al. (2013).

Silva (2011) destaca que é comum descrever um desastre como o resultado da combinação da exposição a uma ameaça ou perigo com as condições de vulnerabilidades existentes no local (SILVA, 2011, p. 19). Nesse sentido, a literatura anglo-saxônica para abordar a temática apresenta uma distinção entre ameaça (*hazard*), risco (*risk*) e desastre (*disaster*), onde:

“... a “ameaça” é vista como um processo ou evento produzido pela natureza ou induzido pelo homem com potencial de produzir perdas; o “risco” indica a probabilidade de que se ocorra esse processo/evento e que se causem perdas; enquanto “desastre” significa a materialização disso” (SMITH; PETLEY, 2009, p. 13, apud SALAIMAN, 2014, p.20).

Trajber et al. (2016) ressaltam que o risco é uma possibilidade de dano, não significa desastre, pois, o desastre é um risco que se concretizou, sendo que sua intensidade depende de condições de vulnerabilidade em interação com as ameaças (TRAJBER et al., 2016, p. 01).

Nos últimos anos, têm se desenvolvido várias pesquisas acadêmicas e trabalhos técnicos no âmbito de avaliação de riscos e vulnerabilidade socioambiental a desastres naturais, com diferentes abordagens metodológicas: Deschamps (2004), Perrow (2007), Belmonte et al. (2008), Borraz (2008), Fekete (2009), Peduzzi et al. (2009), Alves et al. (2010), Tapsell et al. (2010), Beck (2010), Cutter (2010), Esteves (2011), Curran (2013), Rougier (2013), Almeida (2015), Camarinha (2016). Destes, pode ser apontado, como exemplo, o trabalho de Fekete (2009), que desenvolveu uma pesquisa de avaliação da vulnerabilidade da população a cheias ocorridas nas bacias hidrográficas dos rios Reno, Elba e Danúbio, localizados na Europa. Rotava (2014) desenvolveu e aplicou índices de resiliência nas análises de vulnerabilidades e riscos, que auxiliaram na gestão do risco de inundação para bacia urbana da cidade de São Carlos (SP).

2.1.2. Desastres naturais e seus potenciais impactos ambientais e socioeconômicos.

Os desastres estão se intensificando em todo o mundo, tanto em frequência quanto em intensidade, sendo responsáveis por impactos ambientais e socioeconômicos negativos que degradam o ambiente e provocam grandes danos materiais, prejuízos e vítimas a um nível tal que excedem a capacidade de autorecuperação das comunidades atingidas, devido não só à ausência de atividade de planejamento preventivo e à escassez de recursos, como também à baixa resiliência e ao fraco nível de capital social para o enfrentamento dos impactos gerados

(MATA-LIMA et al., 2013; GUHA-SAPIR et al., 2012; NOY; NUALSRI, 2010; JACOBI; MONTEIRO, 2006; ALCÂNTARA-AYALA, 2002).

Historicamente, os desastres naturais já ocasionaram grandes tragédias em várias partes do mundo e do Brasil, provocando centenas de milhares de mortes e outros prejuízos. Por exemplo, as inundações na China, em 1332 e 1931; o ciclone de Bholá, em 1970, e de Bangladesh, em 1991; a erupção dos vulcões Tambora, em 1815, e Krakatoa, em 1883; os terremotos de Shaanxi, em 1566, Lisboa, em 1755, Paquistão, em 2005, e Haiti, em 2010; os deslizamentos de terra na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, em 2011; entre outros desastres (SAUSEN; LACRUZ, 2015). A Figura 1 ilustra a evolução global dos desastres naturais e as respectivas vítimas no período de 1990 a 2011.

No Brasil os desastres naturais, tais como a seca e os excessos de chuva, têm causado muitos problemas e impactos ambientais e socioeconômicos. De acordo com relatório da ONU, o Brasil foi atingido por 60 catástrofes naturais entre 2000 a 2010, deixando 7,5 milhões de brasileiros sem casas e 1,2 mil mortos, com prejuízos econômicos, físicos e psicológicos. Entre 2012 a 2015 os prejuízos causados pela seca e pelas chuvas em todo Brasil ultrapassaram os R\$ 173,5 bilhões, afetando diversos setores da economia brasileira (CNM/Sedec/MI, 2016). Ainda de acordo com a Estratégia Internacional das Nações Unidas para a Redução de Desastres (UNISDR), mulheres e crianças são 14 vezes mais propensas que homens a morrer durante um desastre (TRAJBER et al., 2016, p. 01).

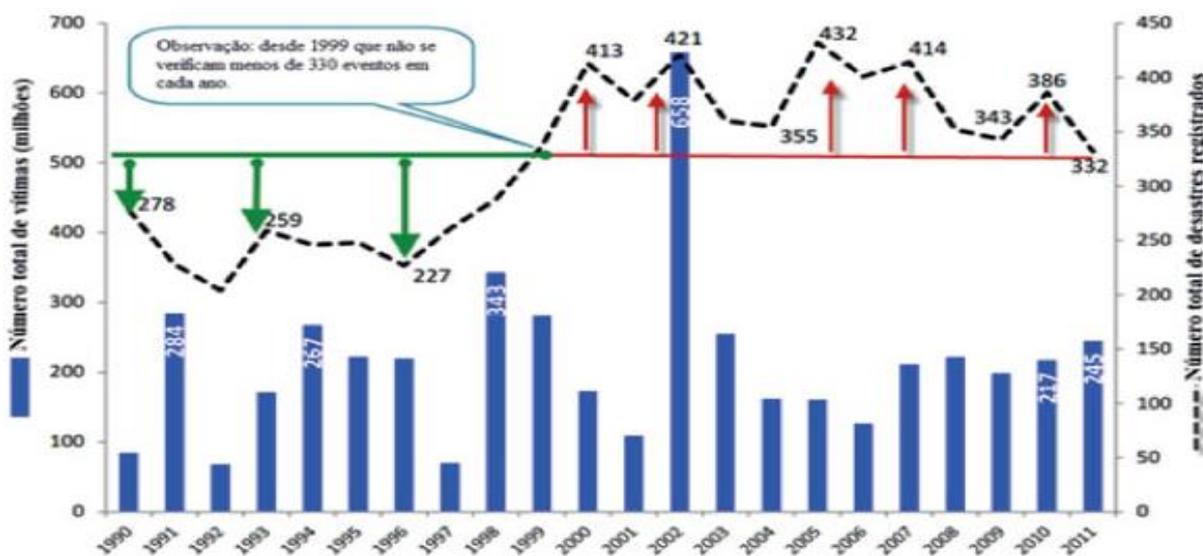


Figura 1 - Evolução Global dos Desastres Naturais e as Respectivas Vítimas no Período de 1990 a 2011.

Fonte: MATA-LIMA et al., 2013, modificada de GUHA-SAPIR et al., 2012.

Os dados apresentados na Tabela 1 mostram que nas últimas três décadas vêm ocorrendo uma intensificação dos danos/perdas humanos e prejuízos causados pelos desastres naturais, que contribuem para agravar as condições de vida das populações, intensificando os impactos socioeconômicos e ambientais nas regiões atingidas.

Tabela 1 - Registro de Desastres Naturais no Brasil e Danos Humanos, 1986-2016.

Tipos de Desastres	Total Eventos	Afetados	Mortalidade	Morbidade	Diretamente expostos	Outros Afetados
Hidrológicos	17.888	16.846.192	74.381	417.150	5.698.294	10.656.367
Climatológico	31.696	69.084.843	15.905	485.685	405.054	68.178.199
Meteorológico	3.064	1.550.394	1.673	6.617	332.912	1.209.192
Geológ./Geofís.	2.070	2.530.413	7.964	8.873	183.036	2.330.540
Total	54.718	90.011.842	99.923	918.325	6.619.296	82.374.298

Fonte: Elaborado pela autora a partir do Banco de Dados -S2iD.

Nas últimas décadas, muitos estudos têm apresentado consistentes demonstrações e previsões do aumento da frequência de ocorrência e da intensidade dos desastres naturais, relacionados aos fatores físicos deflagradores de desastres, aos impactos ambientais e socioeconômicos gerados, bem como as condições de riscos e de vulnerabilidades locais, como se observa nas pesquisas de: Mata-Lima et al. (2013), Datar et al. (2013), Davis et al. (2012), Freitas et al. (2012), Guha-Sapir et al. (2012), Loayza et al. (2012), Takahashi et al. (2012), Chino et al. (2011), Noy e Nualsri (2010), O'brien et al. (2006), Adrianto e Matsuda (2002), Yodmani (2001), Mcentire (2001), UN (1999).

Diversas pesquisas demonstram que os impactos dos desastres naturais afetam as populações de forma desigual e de maneiras diferentes, direta e indiretamente, com efeitos que variam de curto a longo prazos, a depender das características e particularidades de cada evento e da vulnerabilidade socioambiental do território atingido. O Quadro 6, com base nas informações de Freitas et al. (2012), apresenta os impactos decorrentes de desastres naturais, por tipologia de desastres ocorridos no Brasil, decorrentes de eventos extremos negativos ou positivos de precipitação.

Quadro 6 - Consequências ambientais e socioeconômicas dos desastres provocados por inundações, enxurradas, alagamentos, secas e estiagens.

Tipo de Desastre	Consequências ambientais	Consequências socioeconômicas
Inundações/ enxurradas/ alagamentos	<p>Contaminação biológica e química da água para consumo humano, alimentos e solo.</p> <p>Comprometimento da rede e fontes alternativas de abastecimento de água.</p> <p>Comprometimento da rede de serviço de coleta e tratamento de esgoto.</p> <p>Comprometimento dos serviços de coleta e disposição do lixo.</p> <p>Alteração nos ciclos dos vetores, hospedeiros e reservatórios de doenças e nas formas de exposições ambientais dos humanos.</p>	<p>Interrupção total ou parcial de pontes, ruas e estradas por inundação ou destruição.</p> <p>Rompimento de diques de contenção.</p> <p>Rompimento de tanques de combustíveis.</p> <p>Interrupção total ou parcial do fornecimento de serviços de água, eletricidade, gás, transporte e comunicação.</p> <p>Interrupção total ou parcial do funcionamento de escolas, comércio, serviços funerários, serviços de saúde e outros.</p> <p>Comprometimento total ou parcial das atividades agrícolas e pecuárias.</p> <p>Prejuízos econômicos pela destruição total ou parcial de propriedades, casas e construções.</p> <p>Prejuízos econômicos pela destruição total ou parcial das fontes de renda e trabalho.</p> <p>Afogamento, traumatismo e choque elétrico.</p> <p>Perdas humanas de familiares e amigos.</p> <p>Perdas de bens pessoais e de valor sentimental.</p> <p>Rompimento ou fortalecimento da amizade, cooperação e laços afetivos entre os membros de uma comunidade afetada.</p> <p>Ocorrência de doenças transmissíveis como a leptospirose, influenza, gastrointestinais, diarreicas e Hepatite A. Agravamento de quadros de doenças não transmissíveis em pacientes crônicos (hipertensão e doenças cardiovasculares).</p> <p>Aumento de casos de doentes com transtornos psicossociais e comportamentais, entre outras.</p>
Seca/ estiagem	<p>Contaminação da água para consumo humano, alimentos e solo.</p> <p>Comprometimento da rede e fontes alternativas de abastecimento de água.</p> <p>Intrusão de água salgada em suprimentos de água doce subterrânea.</p> <p>Contaminação do ar por poeira e partículas oriundas de incêndios, de</p>	<p>Interrupção total ou parcial do fornecimento de água.</p> <p>Comprometimento da quantidade e qualidade de água para consumo humano.</p> <p>Comprometimento total ou parcial das atividades agrícolas, pecuárias e pesqueiras.</p> <p>Comprometimento da quantidade e qualidade de alimentos.</p>

	<p>florações de cianobactérias e de toxinas acumuladas no solo.</p> <p>Alteração nos ciclos dos vetores, hospedeiros e reservatórios de doenças e nas formas de exposições ambientais dos humanos</p>	<p>Prejuízos econômicos pela destruição total ou parcial das fontes de renda e trabalho.</p> <p>Perdas de bens pessoais e de valor sentimental devido à necessidade de migrar e à incapacidade de suprir a família com elementos essenciais à vida.</p> <p>Ocorrência de doenças não transmissíveis como infecções respiratórias, agudas e crônicas, alergia, desnutrição e raquitismo.</p> <p>Aumento na incidência de doenças crônicas como: hipertensão, doenças cardiovasculares, pulmonares e infecções cutâneas/dermatológicas. Doenças transmitidas por vetores, reservatórios e hospedeiros.</p>
<p>Deslizamentos/movimentos de massa</p>	<p>Desaparecimento de espécies que tenham uma imunidade baixa, afetando ecossistemas locais.</p> <p>Contaminação da água para consumo humano, alimentos e solo.</p> <p>Comprometimento da rede e fontes alternativas de abastecimento de água (poço, cisterna, afloramentos, entre outros), rede de distribuição de energia elétrica e de telecomunicações.</p> <p>Comprometimento da rede de serviço de coleta e tratamento de esgoto.</p> <p>Comprometimento dos serviços de coleta e disposição do lixo.</p> <p>O solo fica sem proteção, podendo assim ocorrer episódios secundários após deslizamentos.</p> <p>Aumento da incidência de doenças como hepatite, leptospirose e diarreia, provocada pela ingestão de água contaminada.</p> <p>Grande extensão territorial danificada pelo alto poder de destruição, dado ao enorme volume de terras e/ou lamas, acompanhado de rochas e vegetação, que descem morro abaixo.</p> <p>Interdição de estradas, ruas, avenidas e túneis, dentre outros, diminuição do tráfego, limitação de cargas, interrupção momentânea (horas) ou prolongada (dias) ou definitiva (meses) comprometendo a mobilidade urbana.</p>	<p>São responsáveis por inúmeras vítimas fatais, resultando em expressivo número de famílias desalojadas, desabrigadas e de pessoas desaparecidas.</p> <p>Prejuízos pessoais e perdas econômicas devido aos danos morais e psicológicos gerados como ferimentos leves sem sequelas e ferimentos graves (invalidez) e materiais.</p> <p>Prejuízos econômicos materiais por danos estruturais ocasionados por destruição total ou parcial de propriedades, casas, vias (obstrução de calçadas, afundamento e ruptura de plataformas, etc.) e construções.</p> <p>Degradação das atividades econômicas (agricultura, comércio e serviços, turismo e industrial), bem como o aumento da vulnerabilidade social.</p> <p>Interrupção temporária (horas, semanas), prolongada (meses) ou mesmo perda de emprego.</p> <p>Relocação de moradores das áreas de risco (alojamentos temporários e definitivos).</p> <p>Danos funcionais no transporte, comunicação e distribuição de bens e serviços.</p> <p>Ações de Remediação à novos episódios de deslizamentos como: obras de estabilização e intervenções nas encostas.</p> <p>Oferecer subsídios técnicos para planejar, adequar e recuperar as áreas destruídas.</p>

Fonte: Elaborado pela autora com base em FREITAS et al. (2012).

2.2. Desastres Naturais de Inundações (Graduais e Bruscas) e Alagamentos: Tipologias e Fatores Condicionantes

Um dos problemas relacionados a rápida urbanização é a sensibilidade às enchentes, como resultado da concentração de pessoas em áreas suscetíveis à inundação, falta de planejamento na gestão de águas urbanas, falta de planejamento urbano, dentre outros (ZEVENBERGEN et al, 2008). Tucci (1999) destacou que as enchentes têm sua frequência e magnitude aumentadas devido à urbanização, uma vez que a ocupação inadequada do espaço urbano causa impermeabilização do solo, além de produzir obstruções no escoamento superficial, através de drenagem inadequada, obstruções em condutos e assoreamento (TUCCI, 1999). Assim, a Figura 2 mostra a situação das inundações urbanas no mundo, de acordo com a população das cidades e de acordo com a severidade das inundações.

De acordo com o Relatório Conjuntura 2012 da Agência Nacional de Águas (ANA, 2012), o termo **inundação** se refere a um transbordamento de água da calha normal de rios, lagos, açudes e mares, ou acumulação de água por drenagem deficiente, em áreas que habitualmente não ficam submersas. Já o termo **enchente** se refere à elevação do nível de água de um rio acima de sua vazão normal. As **enxurradas** podem ser definidas como os volumes de água que escoam na superfície do terreno, com grande velocidade, em decorrência de fortes chuvas. Os **alagamentos**, por sua vez, são resultantes do acúmulo de água no leito de ruas e no perímetro urbano, causado por precipitações pluviométricas fortes, em cidades com drenagem deficiente. Nos alagamentos o extravasamento das águas depende muito mais de uma drenagem deficiente, que dificulta a vazão das águas acumuladas, do que das precipitações locais. Geralmente, inundação e enchente são usadas como sinônimos (ANA, 2012). Em estudos científicos, os termos “inundação” e “enchente” devem ser usados com diferenciação, pois a dinâmica e o comportamento da evolução do aumento do nível das águas no leito do rio são distintos para cada processo a ser estudado (TUCCI, 1999).

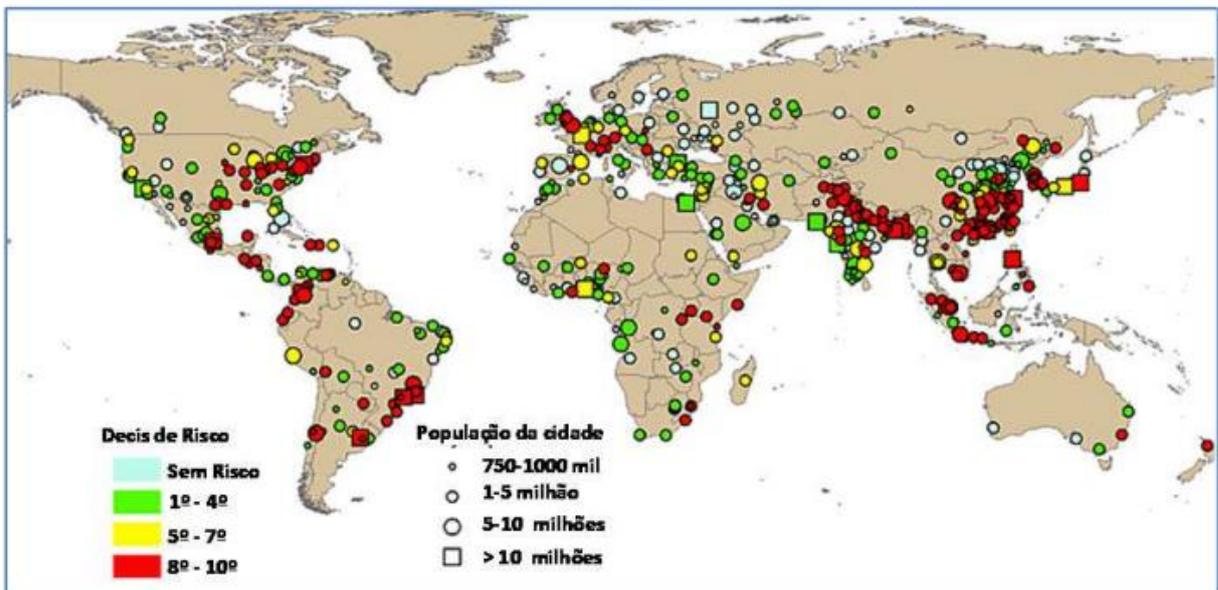


Figura 2 - Situação das inundações urbanas no mundo.

Fonte: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division: World Urbanization Prospects, the 2011 Revision. New York 2012. (ZAHED FILHO et al., 2012).

Bertoni e Tucci (2013) destacam que em áreas ribeirinhas a enchente, em seu processo natural, caracteriza-se pela condição de o rio ocupar o seu leito maior, em média tem um tempo de retorno do evento superior a dois anos. Já a inundação é um tipo particular de enchente, onde a eleva o do nível da água normal atinge tal magnitude que as águas não se limitam à calha habitual do rio, extravasando para áreas marginais (planície de inunda o, várzea ou leito maior do rio). A Figura 3 demonstra o perfil esquemático das formas fluviais dos cursos d'água.

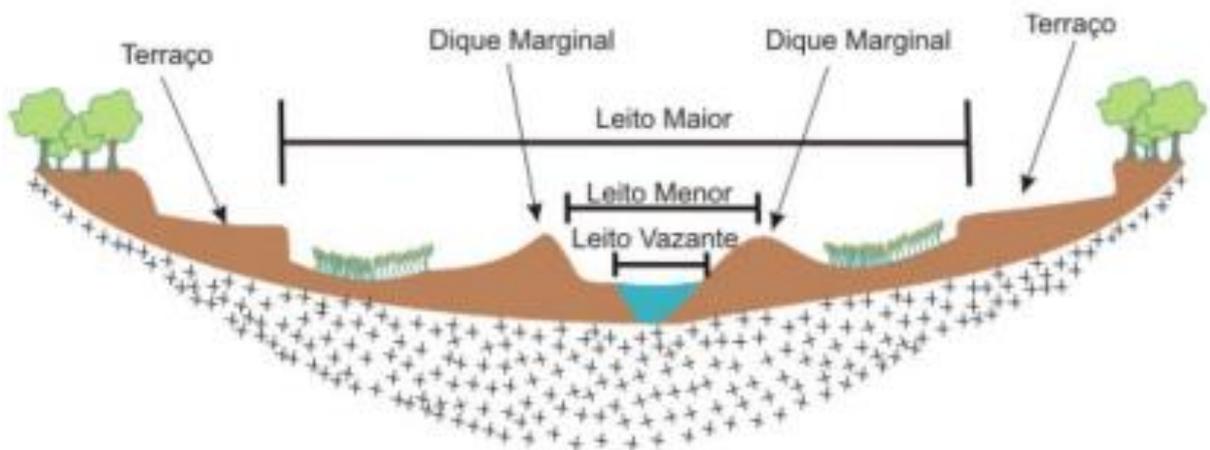


Figura 3 - Perfil esquemático das formas fluviais dos cursos d' guas.

Fonte: REIS, UNESP, 2001.

A ocupação do leito de inundação dos corpos d'água no meio urbano configura um dos maiores problemas de gestão de desastres naturais, pois, as inundações são frequentes e a parcela da população que ocupa estas áreas encontra-se em condição de alto risco de inundações (ZAHED FILHO et al., 2012, p.7).

Kron (2002) destaca a ocorrência de diversos tipos de inundações, a partir do transbordamento das águas de um rio provocada pelas chuvas, das quais os tipos mais comuns são as inundações costeiras, graduais e bruscas (KRON, 2002). As inundações costeiras ocorrem na zona costeira, relacionada ao local específico. As inundações graduais e bruscas ocorrem em diversos locais na rede de drenagem e estão ligadas à velocidade do próprio fenômeno. O Quadro 7 classifica inundações graduais e bruscas.

Quadro 7 - Tipologia e Classificação de Inundações Graduais e Bruscas.

Tipo de Inundação	Definição	Características
<p>Inundações graduais (<i>flood</i> ou <i>flooding</i>) (GOERL; KOBİYAMA, 2005).</p>	<p>São aquelas que ocorrem gradualmente, ou seja, a elevação do nível das águas e conseqüentemente o transbordamento ocorrem lentamente. No Brasil são conhecidas popularmente como enchentes.</p>	<p>Geralmente, ocorrem nas planícies de inundações, provocadas por intensas e persistentes chuvas, com elevação do nível das águas gradualmente. Possuem uma sazonalidade e um período de retorno previsível; associada a grandes rios, como o Nilo, o Amazonas, o Mississipi-Missouri, o Rio Amarelo, entre outros.</p>
<p>Inundações bruscas (<i>flash flood</i>) (GOERL; KOBİYAMA, 2005; GEORGAKAKOS, 1986; CASTRO, 2003)</p>	<p>São aquelas que ocorrem repentinamente, com pouco tempo de alarme e alerta para o local atingido, ocorrem no tempo próximo ao momento da ocorrência do evento extremo de precipitação que as causam. No Brasil são conhecidas popularmente como enxurradas. As inundações bruscas ocorrem em pequenas e medias bacias hidrográficas.</p>	<p>As inundações bruscas possuem características muito diferentes das inundações graduais, são provocadas por chuvas intensas e concentradas, em regiões de relevo acidentado, caracterizando-se por produzirem súbitas e violentas elevações dos caudais, os quais se escoam de forma rápida e intensa. Se caracterizam pela súbita elevação da vazão e o violento escoamento, sendo a declividade das vertentes, o fator que determina a curta duração das inundações bruscas. No geral neste tipo de inundação há pouco ou nenhum tempo de alerta, onde as áreas susceptíveis são atingidas de surpresa e, frequentemente, os moradores não conseguem se proteger ou salvar os seus bens.</p>

Fonte: Elaborado pela autora com base em GOERL; KOBİYAMA, 2005.

Nas cidades, a maioria das situações de emergência ou estado de calamidade pública, é causada pelas inundações graduais e bruscas e pelos escorregamentos e movimentação de massas. Normalmente a inundação gradual não é tão violenta, mas sua área de impacto é extensa. Já a

inundação brusca, por ocorrer repentinamente, é mais violenta, causando mais mortos, perdas e danos, apesar da área de impacto ser bem menor do que as inundações graduais (BAKER, 1994; FEW et al., 2004; KOBIYAMA et al., 2006). Isto pode ser compreendido por meio das diferenças comportamentais entre inundação gradual e brusca, como se pode observar na Figura 4.

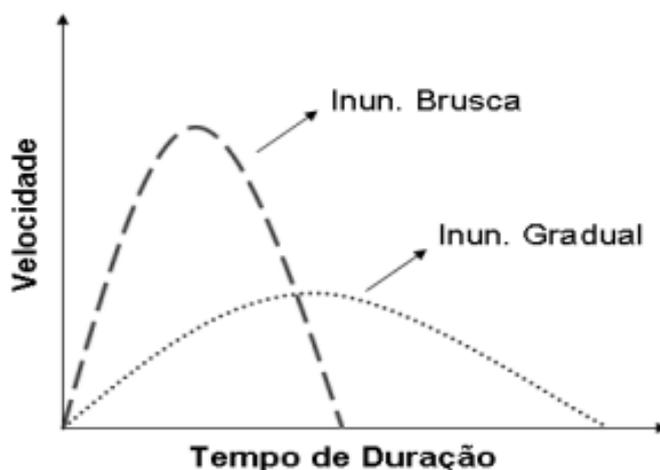


Figura 4 - Diferenças entre inundação gradual e brusca.
Fonte: KOBIYAMA et al., 2006.

Kron (2002), destaca que as inundações bruscas podem ocorrer em áreas planas e não estão associadas apenas ao rápido fluxo de água em terrenos íngremes. Observa-se nas últimas décadas que as cidades de médio e grande porte, devido à intensa urbanização, independente da declividade, vêm apresentando novos locais de ocorrências de inundações com maior velocidade, frequência e intensidade (KRON, 2002). Tucci (1999) ressalta que cada localidade possui uma determinada resposta hidrológica para uma quantidade de chuva. Assim, há uma grande dificuldade em estabelecer um tempo limite de chuvas para diferenciar as inundações bruscas das graduais, pois este tempo pode variar muito de acordo com as condições ambientais e de infraestrutura do meio urbano (MEDEIROS, 2013).

Na operação dos Sistemas de Alerta é imprescindível classificar as chuvas e definir os intervalos em classes como: chuva fraca, chuva moderada, chuva severa e chuva extrema e, à estas classes, relacionar os valores de precipitação (limites inferior e superior) (MEDEIROS, 2013). Desta forma, como exemplo de medidas de prevenção aos desastres de inundações temos as operações dos Sistemas de Alertas de Cheias do Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro – INEA. Este sistema teve início em 2008 e utiliza estações telemétricas que enviam

dados via SMS a cada 15 minutos. O INEA monitora os acumulados pluviométricos e o nível d'água dos rios. Estes dados, associados às informações meteorológicas, possibilitam a emissão de alertas de chuvas fortes e probabilidade de ocorrência de cheias nas regiões monitoradas pelos agentes da Defesa Civil. Após análises dos dados pluviométricos e de curva-vazão dos rios para cada estação analisada, estimam o “Estado Real de Alerta”, como se pode observar no Quadro 8.

Quadro 8 - Monitoramento de Inundações pelo Sistema de Alerta do INEA.

Estágio	Situação
Vigilância	<ul style="list-style-type: none"> • Sem chuvas ou chuvas fracas e esparsas • Nível d'água normal
Atenção	<ul style="list-style-type: none"> • Previsão de ocorrência de chuvas moderadas e fortes
Alerta	<ul style="list-style-type: none"> • Registro de chuvas intensas • Elevação do nível do rio acima do normal
Alerta Máximo	<ul style="list-style-type: none"> • Continuação da chuva • Rio atingindo 80% do nível de transbordamento

Fonte: INEA, Governo do Rio de Janeiro, 2015 – <http://inea.rj.gov.br/Portal/Mega>.

Na literatura, observa-se o avanço nos estudos relacionados especificamente ao mapeamento de risco à inundação como: Menezes (2014), Prina (2015), Sauresig (2012), Kurek (2010), Mendes e Mendiondo (2007), Martins e Souza (2003), entre outros.

2.3. Desastre Naturais de Movimentos Gravitacionais de Massa: Tipologias e Fatores Condicionantes

Os movimentos gravitacionais de massa são processos naturais que ocorrem em regiões montanhosas e serranas em várias partes do mundo, principalmente, naquelas onde predominam climas úmidos. Esses processos caracterizam-se como importante agente modelador da paisagem, e, conseqüentemente, pela modificação da forma da encosta e da superfície, sendo responsável pela evolução do relevo (KOBAYAMA et al., 2011; DIETRICH et al., 1998; GOERL; KOBAYAMA, 2013; RAMOS, 2017). Seguindo a nomenclatura da Classificação Brasileira de Desastres (COBRADE), os movimentos de massa estão na categoria de desastres naturais do tipo geológico. Os movimentos de massa estão relacionados a condicionantes

geológicos e geomorfológicos da rocha, aspectos climáticos, hidrológicos e vegetação, além da própria ação do homem e seus tipos de usos e ocupação da terra (TOMINAGA, 2007).

Guerra e Marçal (2006) caracterizam os movimentos de massa como sendo “o transporte coletivo de material rochoso e/ou de solo, onde a ação da gravidade tem papel preponderante, podendo ser potencializado, ou não, pela ação da água” (GUERRA; MARÇAL, 2006, p. 75-76).

Os movimentos de massa podem ser ocasionados por uma série de fatores condicionantes intrínsecos, elementos naturais e/ou antrópicos que agem em conjunto para desestabilizar o sistema. Bigarella et al. (2003) ressaltam que:

“as condições que favorecem os movimentos de massa dependem principalmente da estrutura geológica, da declividade da vertente (forma topográfica), do regime de chuvas (em especial de episódios pluviais intensos), da perda de vegetação e da atividade antrópica, bem como pela existência de espessos mantos de intemperismo, além da presença de níveis ou faixas impermeáveis que atuam como planos de deslizamentos” (BIGARELLA et al., 2003, p. 1026).

Há diferentes propostas de sistemas de classificação de movimentos de massa em que as ocorrências são agrupadas em função do tipo de movimento (SHARPE, 1938; CARSON; KIRKBY, 1975; SASSA, 1989; GUIDICINI; NEIBLE, 1984; IPT, 1991; AUGUSTO FILHO; VIRGILI, 1998; GEORIO, 2009). Para o desenvolvimento da pesquisa foi utilizada a classificação proposta por Augusto Filho e Virgili (1998), que divide os movimentos de massa em: rastejo ou fluência, escorregamentos, quedas e corridas de massa. Dentre as tipologias de maior interesse ao presente trabalho, estão aqueles denominados de escorregamentos (planares ou translacionais em solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza) e corridas de massa (mobilização de solo, rocha, detritos e água).

Os escorregamentos (*slides*) e as corridas de massa (corrida de terra, lama, detritos e blocos, *mudflow*, *debrisflow*) são os tipos de movimentação de massa mais frequentes e referem-se ao rápido movimento descendente do material constituinte da encosta. A precipitação de chuvas é considerada um fator importante, pois altera a estabilidade da encosta e reduz a tensão de cisalhamento do solo (FERNANDES; AMARAL, 1996; GUIDICINI; NIEBLE, 1984; IPT, 1991; BIGARELLA et al., 2003; GUIMARÃES et al., 2007; SILVA, 2011, PINTO et al. 2012).

Os escorregamentos podem ser classificados em: planar ou translacional, circular ou rotacional e cunha ou estruturado¹. Na Figura 5 observa-se a classificação de escorregamentos de acordo com a sua geometria (circular, planar ou em cunha), em função da existência ou não de estruturas ou plano de fraqueza nos materiais movimentados, que condicionem a formação de superfícies de ruptura. A figura, também, apresenta o perfil esquemático do processo de corridas de massa (IPT, 1991, p.19).

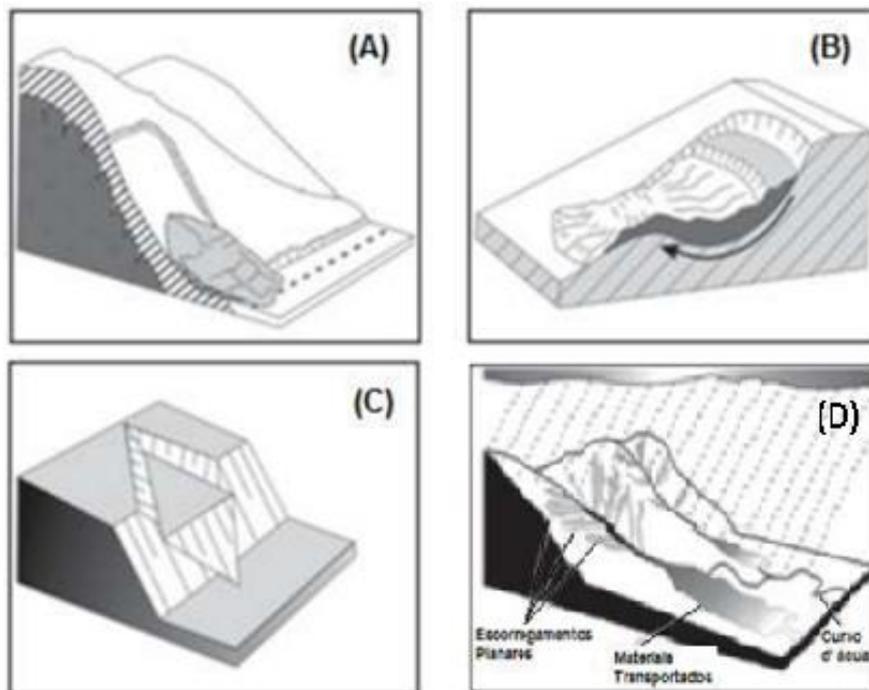


Figura 5 - Perfil esquemático do processo de escorregamento e de corrida de massas. (A) escorregamento planar ou translacional, (B) escorregamento circular ou rotacional e (C) escorregamento em cunha ou estruturado. (D) Processo de Corrida de Massa.
 Fonte: BRASIL (2007), PINTO et al. (2012).

¹ O **escorregamento rotacional** possui uma superfície de ruptura côncava, deslocando de forma rotacional grande quantidade de material, e pode ser associado ao desgaste natural da base da encosta ou a interferência antrópica. O **escorregamento translacional** é caracterizado por ser de curta duração e por apresentar ruptura plana e bem definida, e ocorrem durante chuvas intensas. Já o **escorregamento em cunha** está associado a saprólitos e maciços rochosos, nos quais a existência de duas estruturas planares, desfavoráveis à estabilidade, condicionam o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de intersecção destes planos (GUIDICINI; NIEBLE, 1984; IPT, 1991; SILVA, 2011).

Bigarella et al. (2003, p. 1049) destacam que as corridas de massa (Figura 5d) “são formas rápidas de escoamento de fluidos viscosos, com ou sem uma superfície definida de movimentação. De caráter hidrodinâmico, são ocasionadas pela perda de atrito interno, em virtude da destruição da estrutura, em presença de excesso de água”. De acordo com o IPT (1991) esses processos de corridas são:

“gerados a partir de um grande aporte de material para as drenagens. Este aporte, combinado com um determinado volume d’água, acaba formando uma massa com um comportamento de líquido viscoso, de alto poder destrutivo e de transporte, e extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas. São causadas por índices pluviométricos excepcionais, são mais raras que outros movimentos de massa, porém com consequências destrutivas maiores” (IPT, 1991).

Segundo Camarinha (2016), os escorregamentos de terra translacionais (ou planares) são aqueles que ocorrem com maior frequência no Brasil (GUIDICINI; NIEBLE, 1984; FERNANDES; AMARAL, 1996; TOMINAGA, 2007). Ainda, segundo o autor, este tipo de movimento de massa acontece em regiões com relevo acidentado e escarpado, com declividades elevadas, combinadas com solos mais jovens e pouco espessos e em grandes encostas/taludes. Estas características físicas, associadas a um grande aporte de água que infiltra no solo proveniente das chuvas acumuladas e intensas, são os condicionantes naturais que deflagram os deslizamentos (CAMARINHA, 2016).

No Quadro 9 foi possível constatar que, nos períodos de outubro a março, as chuvas torrenciais são muito frequentes nas cidades brasileiras, sobretudo nas regiões onde predominam climas úmidos como Sul, Sudeste e Nordeste. A elevada quantidade e intensidade dos índices pluviométricos deste período colaboram para deflagração dos processos de movimentos de massa (TOMINAGA, 2009).

Camarinha (2016) destaca que há necessidade, portanto, da elaboração de estudos específicos que avaliem detalhadamente todo o processo de desenvolvimento dos desastres naturais, que foquem em análises dos fatores disparadores do processo (chuvas), dos condicionantes físicos (susceptibilidade) e também as vulnerabilidades humanas (CAMARINHA, 2016). Em uma análise mais completa deve-se considerar o tempo de duração das chuvas, a condutividade hidráulica dos solos e a variação do grau de saturação dos solos, pois cada localidade apresenta um grau de fragilidade à ocorrência de deslizamentos, entre outros fatores.

Quadro 9 - Relação dos grandes desastres naturais de deslizamentos ocorridos no Brasil.

Localidade do Deslizamento	Ocorrência	Vítimas Fatais	Chuva
Serra das Araras, Piraí, RJ	Jan/1967	Cerca de 1.500	275mm/03horas
Caraguatatuba, SP	18/03/1967	Cerca de 430	851mm/03 dias (16-18), 420mm/24h. (18/03).
Tubarão, SC	25/03/1974	Cerca de 199	251,7mm/24h. – 742mm/16d
Petrópolis, RJ	23/12/2001 11/01/2003	Cerca de 70 17	300mm/48h. 140mm/40min.
Salvador, BA	27/04/1971 11/05/2015	104 19	367,2mm/24h. 249mm/24h.
Recife, PE	29/04/1996	66	144mm/24h.
Angra dos Reis, RJ	09/12/2002 01/01/2010	35 53	143mm/24h. 275mm/24h.
Rio de Janeiro	06/04/2010	68	236mm/36h.
Região Serrana do Rio de Janeiro (Petrópolis, Teresópolis, Nova Friburgo, Sumidouro, São José do Vale do Rio Preto, Bom Jardim e Areal).	12/01/2011	905	166mm/24h.
Teresópolis, RJ	06/04/2012	05	216mm/06h.

Fonte: Elaborada pela autora.

Kormman (2014) ressalta que os movimentos de massa, também, dependem da atuação de alguns elementos do relevo, sendo os principais: a inclinação (declividade), amplitude e a forma da encosta (tipo de perfil da encosta) (KORMMAN, 2014). Assim, todas as vertentes (côncavas, convexas, retilíneas e planícies) possuem uma forma que irá estabelecer o fluxo de escoamento das águas superficiais que condicionam os movimentos de massa. Troeh (1965) apresenta a mais aceita classificação de formas de vertente para identificação das direções preferenciais do escoamento da água (

Figura 6).

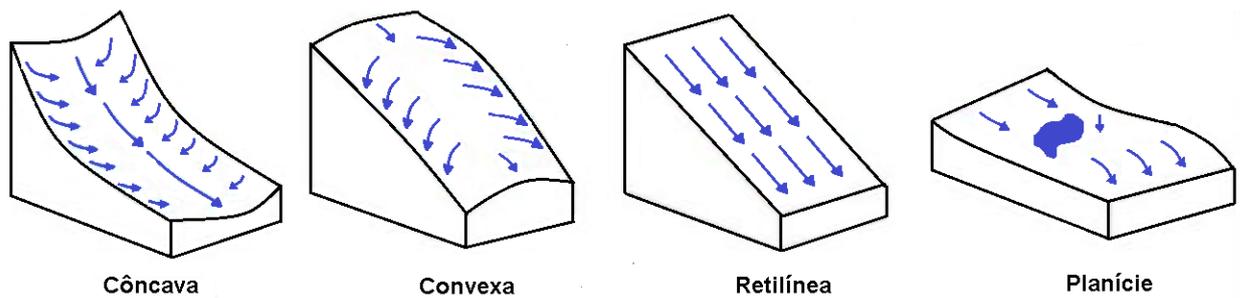


Figura 6 - Formas de vertentes e seus respectivos escoamentos superficiais de água.
 Fonte: PAULA, 2010 apud D'ORSI, 2011, adaptado pela autora.

Um dos primeiros trabalhos de maior relevância sobre ocorrências de chuvas com intensidades e durações diversas que considera chuvas como principal agente desencadeador de movimentos de massa foi o de ENDO (1970), onde, o autor determinou que as avalanches nas montanhas da Ilha de Hokkaido (Japão) seriam desencadeadas a partir de intensidades pluviométricas de 200 mm/dia. Nos EUA, Campbel (1975), Nielsen e Brabb (1977), estudaram os escorregamentos na região da Baía de São Francisco, Santa Cruz e Los Angeles, na Califórnia, concluíram que chuvas com acumuladas contínuas entre 150 e 200mm sucedendo período chuvosos na faixa de 250 a 380mm eram suficientes para deflagrar ocorrências generalizadas nas encostas daquelas regiões. Wilson (1989) estudou os escorregamentos nas Montanhas de Santa Mônica (Califórnia, EUA) e constatou que os escorregamentos tinham como causa primordial o aumento da poropressão no solo, em função do aporte das águas das chuvas (D'ORSI, 2011, p. 32 e 39).

O estudo de Lumb (1975) desenvolvido em Hong Kong (China) foi o primeiro a indicar a relevância da chuva antecedente na correlação com a estabilidade de taludes e combiná-la com diversos fatores, e encontrou boa correlação entre a pluviometria acumulada em 15 dias e a precipitação diária (mm/24h, no dia do evento). Ainda, segundo autor, eventos considerados severos (com registros de dezenas de escorregamentos) somente ocorriam quando a pluviometria acumulada em 15 dias ultrapassava 200 mm e eventos desastrosos (centenas de escorregamentos) demandavam, pelo menos, 350 mm acumulados nos 15 dias anteriores ao evento. Além disso, a chuva diária necessária para a ocorrência de eventos severos e desastrosos deveria ser de, pelo menos, 100 mm/24h (LUMB, 1975, apud D'ORSI, 2011, p.34).

Brand et al. (1984) e Brand (1989) contestaram a influência da chuva antecedente na deflagração de escorregamentos na região de Hong Kong (China). Para os autores, as chuvas nas últimas 24 horas e, particularmente, na última hora antes do evento constituíam os principais

agentes detonadores dos escorregamentos, associados às chuvas de curta duração e alta intensidade. D'Orsi (2011) destaca que as chuvas que ocorreram em maio de 1992 em Hong Kong, com registros de 350mm/24h., 110mm/h. e 25mm/5min., reforçam a tese de Brand da direta dependência de altas intensidades pluviométricas (de curta duração) para a deflagração dos movimentos de massa e da pequena importância das chuvas antecedentes (dias anteriores) no desencadeamento de escorregamentos (D'ORSIN, 2011, p.36).

Goetz et al. (2011) estudaram episódios de deslizamentos na bacia hidrográfica de Klanawa, na Ilha de Vancouver - Canadá. Eles propuseram uma modelagem de identificação das áreas susceptíveis a deslizamentos por meio da integração de dois modelos de deslizamentos de base física, o Fator de Segurança (FS) e o modelo SHALSTAB, utilizando também métodos empírico-estocásticos. Os autores destacam a importância do fator antrópico na análise dos processos de deslizamentos.

Outras pesquisas, com abordagem no tema escorregamentos versus chuvas, foram desenvolvidas por: Addison (1987) no norte do país de Gales, Reino Unido; Kim et al. (1991) na Coreia do Sul; Phien-Wej et al. (1993) na Tailândia; Guzzetti et al. (2007) e Picarelli et al. (2007) na Itália; entre outros trabalhos. Propostas de limiares pluviométricos (globais, regionais e locais) também já foram efetuadas, tendo sido baseadas em correlações entre a duração e a pluviometria acumulada do evento, como: Annunziati et al. (2000) e Giannecchini (2005), na Toscana (Itália); Zereze e Rodrigues (2002) no norte de Lisboa (Portugal); Chleborad (2003), na área de Seattle (EUA); Aleotti (2004) na região de Piedmont (Italia).

No Brasil, desde a década de 50, vários pesquisadores estudaram a correlação dos eventos extremos de precipitação de chuvas e movimentos de massa. Pichler (1957) procurou estabelecer a relação entre os eventos extremos de precipitações e os diversos aspectos geológicos da área atingida, em 1956, pelos numerosos escorregamentos ocorridos nos morros de Santos. Tatizana et al. (1987) também estudaram a relação entre chuvas e escorregamentos em Cubatão, na Serra do Mar, por um período de 30 anos. Os autores se utilizaram de uma retroanálise dos eventos extremos de chuvas que causaram os escorregamentos, concluindo que a suscetibilidade aos escorregamentos é função do grau de saturação do solo, representado pelas chuvas acumuladas, e pela ação das chuvas de curta duração que atuam como detonantes dos processos de desestabilização (MEDEIROS, 2013, p.32).

Almeida et al. (1993) estudaram a correlação entre chuvas e escorregamentos no município de Petrópolis, com registros de 1.131 ocorrências de escorregamentos cadastrados no período de 1938 a 1989. A correlação foi realizada com os dados pluviométricos de 1970 a 1980, confrontando as chuvas acumuladas de 01 até 05 dias e os escorregamentos registrados. Os autores concluíram que as chuvas acumuladas de 04 dias foram as mais críticas no processo de deflagração de escorregamentos.

Tavarez et al. (2004) estudaram as chuvas no litoral norte de São Paulo e a ocorrência de escorregamentos no período de 1991 a 2000, onde foram registrados 141 escorregamentos deixando 13 mortos. A maioria dos escorregamentos ocorreu em eventos extremos de chuvas acima de 120 mm (69%) num período de 72h. Já eventos extremos de chuva abaixo de 80 mm corresponderam 21% dos escorregamentos e entre 80 e 120 mm de chuvas acumuladas resultaram em 10% dos escorregamentos.

Listo e Vieira (2012) analisaram a probabilidade de risco e susceptibilidade a escorregamentos rasos na bacia do rio Limoeira, São Paulo. Utilizando o modelo SHALSTAB, os autores classificaram os riscos à susceptibilidade e calcularam a frequência de distribuição de cada classe: baixo risco, risco médio, alto risco e risco muito alto. Os autores concluíram que a bacia do rio Limoeiro, localizada na periferia do município de São Paulo, sofreu fortes pressões antropogênicas em áreas naturalmente suscetíveis a deslizamentos, transformando-se em áreas de risco a novos processos de deslizamentos de terra. Nunes et al. (1983), com base em observações de campo, sugere que as chuvas de intensidades de 50 mm/h e de 10 mm/15min como deflagradores de escorregamentos.

Medeiros (2013) destaca que o Plano Preventivo da Defesa Civil – PPDC considera as chuvas acumuladas de 120 mm em 72h como limite para a mudança de nível operacional no litoral norte de São Paulo, a partir do qual aumenta a probabilidade de ocorrência de escorregamentos. Para o município do Rio de Janeiro, os critérios pluviométricos operacionais utilizados pelo Sistema Alerta Rio, a partir do ano de 2005, para definição dos níveis risco (probabilidade de ocorrência de escorregamentos) durante a ocorrência de eventos chuvosos, podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Critérios pluviométricos operacionais utilizados pelo Sistema Alerta Rio para definição dos níveis risco (probabilidade de ocorrência de escorregamentos) durante eventos chuvosos.

Intensidades/período acumulado de chuvas	Probabilidade de Ocorrência de Movimentação de Massas		
	MÉDIA	ALTA	MUITO ALTA
mm/h.	10 a 30 mm	30 a 50mm	>50 mm
mm/24h.	50 a 100 mm	100 a 175 mm	>175 mm
mm/96h.	100 a 175 mm e 10 a 30 mm/24h	175 a 250 mm e 30 a 50 mm/24h.	>250 mm e > 100 mm/24h.

Fonte: D'Orsi (2011).

D'Orsi (2011) destaca que o monitoramento das intensidades pluviométricas e das pluviometrias acumuladas constitui, atualmente, no melhor método para a avaliação da probabilidade de ocorrência dos escorregamentos (D'ORSI, 2011).

O Núcleo de Análise e Diagnóstico de Escorregamentos (NADE) do Serviço Geológico do Rio de Janeiro (DRM-RJ) executa o Programa de Cartografia de Risco Iminente, o qual possibilitou um valioso conhecimento quanto ao risco a escorregamentos em todo o Estado do Rio de Janeiro. O conhecimento sobre a probabilidade e recorrência das chuvas deflagradoras de escorregamentos, ainda não é o ideal, pois, alguns índices preliminares podem ser praticados em alguns municípios, tal como indicado na Tabela 3, mas os mesmos devem funcionar apenas como referência (NADE/DRM-RJ, 2016).

Tabela 3 - Índices Pluviométricos Críticos para Regiões Serrana, Metropolitana, Norte, Noroeste, Vale do Paraíba e Costa Verde no Estado do Rio de Janeiro.

Região	Índices Pluviométricos Críticos
Região Serrana	40mm/h + 100mm/24h + 115mm/96h + 270mm/30 dias
Metropolitana (GEORIO)	≥40mm/h OU ≥125mm/24h OU 200mm/96h + ≥40mm/24h
Norte, Noroeste e Vale do Paraíba	35mm/h + 70mm/24h + 100mm/96h + 300mm/30 dias
Costa Verde	35mm/h + 75mm/24h (ou curva crítica Soares 2006) +115mm/96h + 270mm/30d

Fonte: Plano de Contingência 2015-2016. NADE/DRM-RJ, 2016.

O NADE/DRM-RJ passou a realizar os estudos de correlação chuva x escorregamentos, observando os limiares pluviométricos críticos que são definidos pela combinação e conjugação de quatro fatores: (1) a chuva acumulada em 1 mês, que provoca o aumento da umidade dos solos e leva a uma redução significativa da parcela de sucção dos mesmos; (2) a chuva

acumulada em 4 dias, que ocasiona a eliminação da sucção e equaliza as condições para ampliação da poro-pressão positiva; (3) a chuva diária, que provoca a elevação da poro-pressão de modo contínuo e cria as condições suficientes para o início dos movimentos; e (4) a chuva horária, que causa a elevação da poro-pressão positiva, e, dependendo da sua intensidade, gera processos erosivos superficiais que modificam a geometria dos taludes e facilitam a ruptura (NADE/DRM-RJ, 2016).

Nos últimos anos, muitos pesquisadores estão desenvolvendo e testando, empiricamente, novas metodologias para identificar as áreas de maior susceptibilidade aos deslizamentos e corridas de massa. Entre diversos trabalhos desenvolvidos nesta temática pode-se citar: Tatizana et al. (1987), Pedrosa (1994), Gomes et al. (2013), Arnone et al. (2011), Coelho-Netto, et al. (2009), Eeckhaut e Hervás (2012), Paquet et al. (2013), Manfré et al. (2012), Dolif et al. (2013), Whittaker e McShane (2012), Muenchow et al. (2012), Goetz et al. (2011).

2.4. Caracterização da Variabilidade Pluviométrica do Brasil

O Brasil por ser um país de grande extensão territorial, possui diferentes regimes de precipitação, conseqüentemente, caracteriza-se por grande heterogeneidade e variabilidade climática, dependendo das distintas características regionais (tipos de solo, topografia, vegetação, hidrografia), das alterações contínuas ou oscilações cíclicas nos elementos meteorológicos (radiação solar, ventos, temperatura, pressão atmosférica e umidade relativa) e da atuação de sistemas atmosféricos globais.

Mendonça e Danni-Oliveira (2007) destacam que diversos fatores geográficos contribuem para a distribuição e variabilidade das chuvas no Brasil, como a grande extensão territorial e configuração geográfica, com a maior parte do território contida na zona tropical, extensas áreas litorâneas e áreas afastados do litoral, características topográficas diversificadas, com cotas altimétricas que variam do nível do mar a cotas superiores a 2.000 metros, a disposição dos compartimentos de serras, planaltos e planícies, que atuam como barreiras e corredores atmosféricos, os diferentes tipos de vegetação, das quais, as florestas contribuem de forma significativa com o fornecimento de água para a atmosfera pela evapotranspiração (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, apud. FETTER, 2016, p. 22).

Steinke (2004), também ressalta que qualquer tentativa de entendimento da dinâmica atmosférica sobre uma determinada área deve iniciar-se com uma visão geral, na qual a área

em estudo está inserida. Assim, como foi observado pela autora, as condições gerais do clima e do tempo atuantes em uma região estão relacionadas aos mecanismos de escala global, oriundos da circulação geral da atmosfera (STEINKE, 2004, p. 53). Nota-se, portanto que os estudos de séries meteorológicas, sobre a temperatura do ar, a precipitação, a umidade relativa do ar e a pressão atmosférica, principalmente de dados extremos são essências para a compreensão da complexa dinâmica climática e do comportamento da distribuição de chuvas nas diferentes escalas de análises local, regional ou global, e suas interações.

Segundo Ayoade (2012) a pluviosidade nos trópicos origina-se principalmente pela convecção e tende a ser mais localizada em sua distribuição. Com exceção de algumas áreas, principalmente em torno da zona equatorial, onde as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, as chuvas são na sua maioria sazonais e essa sazonalidade torna-se cada vez mais pronunciada com o crescente afastamento da fonte de suprimento de umidade (AYOADE, 2012, apud FETTER, 2016, p. 22). Assim, observa-se que a distribuição e a variabilidade das chuvas no Brasil estão associadas à atuação e à sazonalidade dos sistemas convectivos de macro e mesoescala e, em especial, da Frente Polar Atlântica (FPA) (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007). A Frente Polar Atlântica (FPA) é o fenômeno responsável por dias seguidos de chuva intermitente. Entretanto, eventualmente, durante a primavera e verão do Hemisfério Sul, a associação entre a convecção amazônica e a FPA, no Sudeste do país, ocasiona a formação de um extenso canal de umidade atmosférica da Amazônia até o Atlântico Tropical Sul (SILVA, 2018).

Na Figura 7 observa-se as atuações sazonais das massas de ar na América do Sul, baseada na representação de Nimer (1989) que contribui para o entendimento da circulação das massas de ar sobre o Brasil. Ao centro de cada imagem é possível visualizar o Brasil, podendo ser verificado que durante o verão (janeiro) os anticiclones do Atlântico Sul e da Antártica encontram-se enfraquecidos. Enquanto a Baixa do Chaco e a Baixa da Amazônia encontram-se fortalecidas, proporcionando o deslocamento das massas continentais (m_{Ec} e m_{Tc}) avançarem sobre as regiões NE, CO, SE e SU. Assim, as massas m_{Ea} e m_{Ta} atuam no litoral leste do Brasil e as massas m_{Pp} e m_{Pa} restringem-se à porção sul do território. Já a ZCIT aproxima-se do litoral norte e os ventos (Alísios), oriundos do anticiclone do Atlântico Norte (associado à massa de ar m_{Ean}), se deslocam em direção ao interior do continente, fortalecendo a m_{Ec} que se estende por quase todo o Brasil, sem alcançar a Região Nordeste, que permanece sob o domínio da m_{Ea} (STEINKE, 2017). Ainda, segundo a autora, durante o período do outono, a atuação da

mTa é menor do que no inverno devido à presença da mTc, que está enfraquecida. A mEa não consegue penetrar muito para o interior do continente em virtude da barreira formada pela mEc. Isto indica a atuação do anticiclone do Atlântico Sul, associado à mEa sobre o continente e a atuação da Baixa da Amazônia (mEc) na posição mais setentrional. Na zona equatorial a ZCIT se encontra na posição mais meridional.

Durante o inverno e a primavera o anticiclone do Atlântico Sul (formador das massas mTa e mEa) avança sobre o continente, fazendo com que haja expansão da mTa sobre a região Sudeste e a expansão da mEa sobre o Nordeste. Essa expansão favorece o enfraquecimento da mEc, possibilitando que o anticiclone Polar Atlântico se fortaleça e a mPa avança sobre a região Sul, chegando até o Sudeste e o Centro-Oeste. Neste período ocorre a atuação da Frente Polar Atlântica (FPA) que avança bastante, atingindo o norte de Mato Grosso e o Amazonas, provocando o fenômeno da friagem. Na primavera a atuação da mTa é bem maior do que no verão. A mEa, assim como no outono, não consegue penetrar muito para o interior do continente em virtude da barreira formada pela mEc. Nesse período a mTc ainda não se fortaleceu e permanece sem atuação. Na zona equatorial a ZCIT alcança sua posição mais setentrional (STEINKE, 2017).

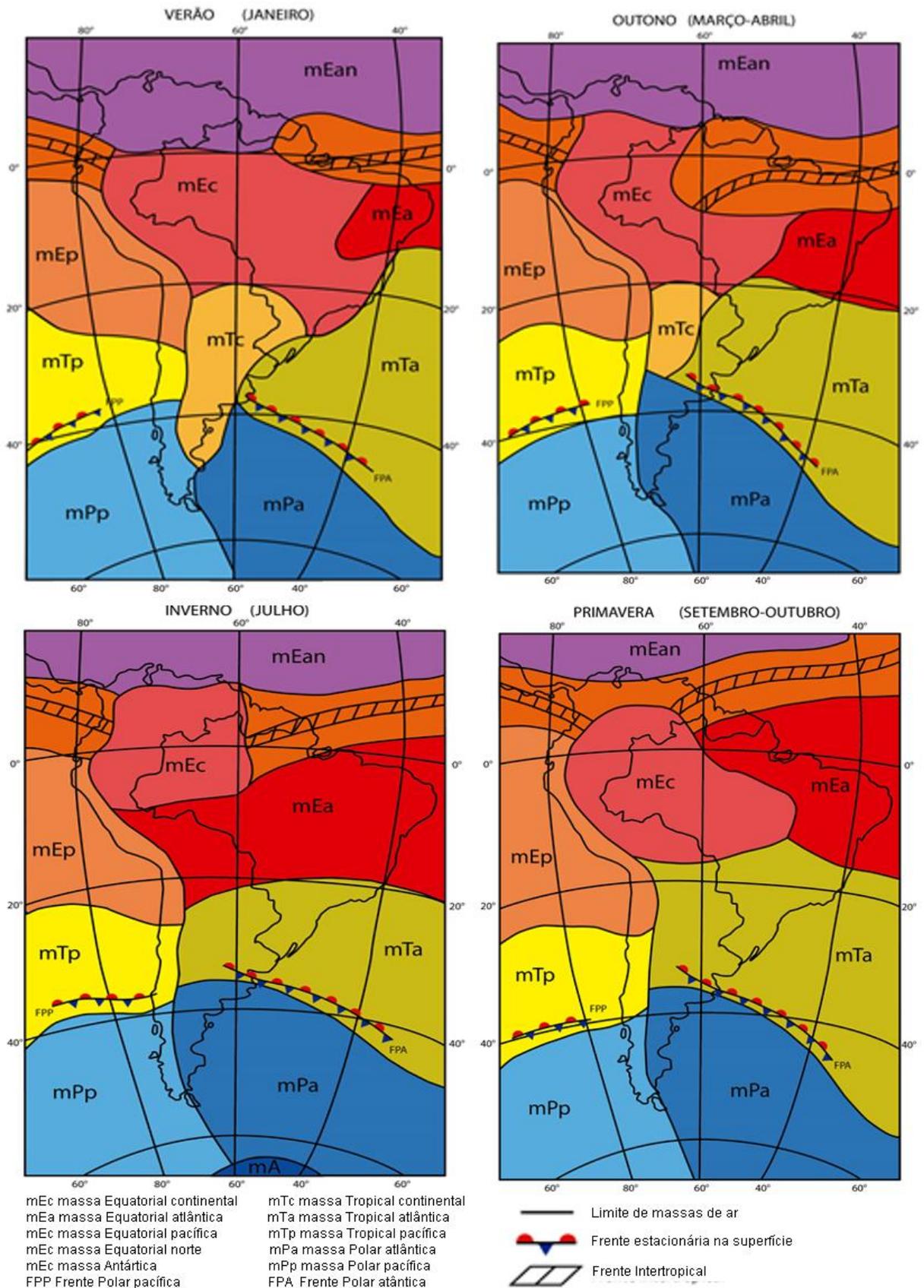


Figura 7 – Atuações sazonais das massas de ar (Posicionamento Médio), na América do Sul.
 Fonte: NIMER (1989). Modificado por STEINKE (2017). Org. Autora.

A Figura 8 apresenta as Normais Climatológicas do Brasil (1981-2010) divulgadas pelo INMET (2018) referente à precipitação acumulada mensal e anual. Observa-se a distribuição de chuvas no Brasil, que descreve a variabilidade espacial das médias anuais de chuvas precipitadas por região, que variou de 387 a 4.300 milímetros/ano. Os altos índices de chuvas foram identificados na região Norte do Brasil, praticamente sem estação seca, que chega em média de 2.800 mm/ano. Na costa litorânea do Estado de São Paulo a precipitação anual atinge mais de 2.300 mm em média, devido ao efeito orográfico causado pelo obstáculo da Serra do Mar. Já nas regiões semiáridas do país, particularmente no interior da região Nordeste (Planalto da Borborema, região do Agreste da Paraíba, Vale do Rio São Francisco e norte da Bahia) a precipitação é inferior a 700 mm/ano (ALVARES, et al., 2014, p.716).

A partir das análises da distribuição espacial das chuvas no Brasil, destaca-se os dois grandes contrastes pluviométricos: a região Norte, com as mais elevadas médias (superiores a 2.800 mm), centradas na Amazônia Ocidental e em parte da planície da foz do rio Amazonas (atuação das ZCIT, mEc e mEan associadas), e o sertão nordestino, com valores médios anuais entre 1.200 e menos de 125 mm, pois as massas de ar mEc, mEa, mTa e mPa chegam com umidade insuficiente para produzir chuvas abundantes, dentre outros fatores. Além do setor amazônico, todo o território centro-sul do Brasil contrapõe-se aos baixos índices do sertão nordestino, com totais anuais médios entre 1.500 a 2.000 mm. (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, p.146). Assim, a distribuição temporal das chuvas é marcada pela sazonalidade e por regimes pluviométricos diversificados.

Norte, com predomínio apresenta significativa heterogeneidade na distribuição espacial e sazonal, sendo que a média é de 2.500 mm/ano. A estação chuvosa se inicia no sul da Amazônia, na primavera, ocorrendo os máximos de chuva no verão. Na Amazônia Central, desde o oeste do estado do Amazonas até a foz do rio Amazonas, os máximos de chuva ocorrem no outono, enquanto que o extremo norte, as máximas precipitações ocorrem no inverno. As estações secas, na Amazônia Central e na Sul, ocorrem no inverno e, no extremo norte, na primavera. Os maiores acumulados de precipitação acontecem no noroeste do estado do Amazonas, com chuvas acima de 3.000 mm/ano, causadas pela presença de ar úmido trazido por ventos do leste da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e pelo efeito orográfico dos Andes. Na parte leste da bacia Amazônica, entre os estados do Amapá e do Pará, próximo a Belém, as precipitações anuais ultrapassam os 4.000 mm, influenciadas pelas linhas de instabilidade que se formam ao longo da costa (BRASIL, 2013).

Normal Climatológica do Brasil (1981-2010) Precipitação Acumulada Mensal e Anual (mm)

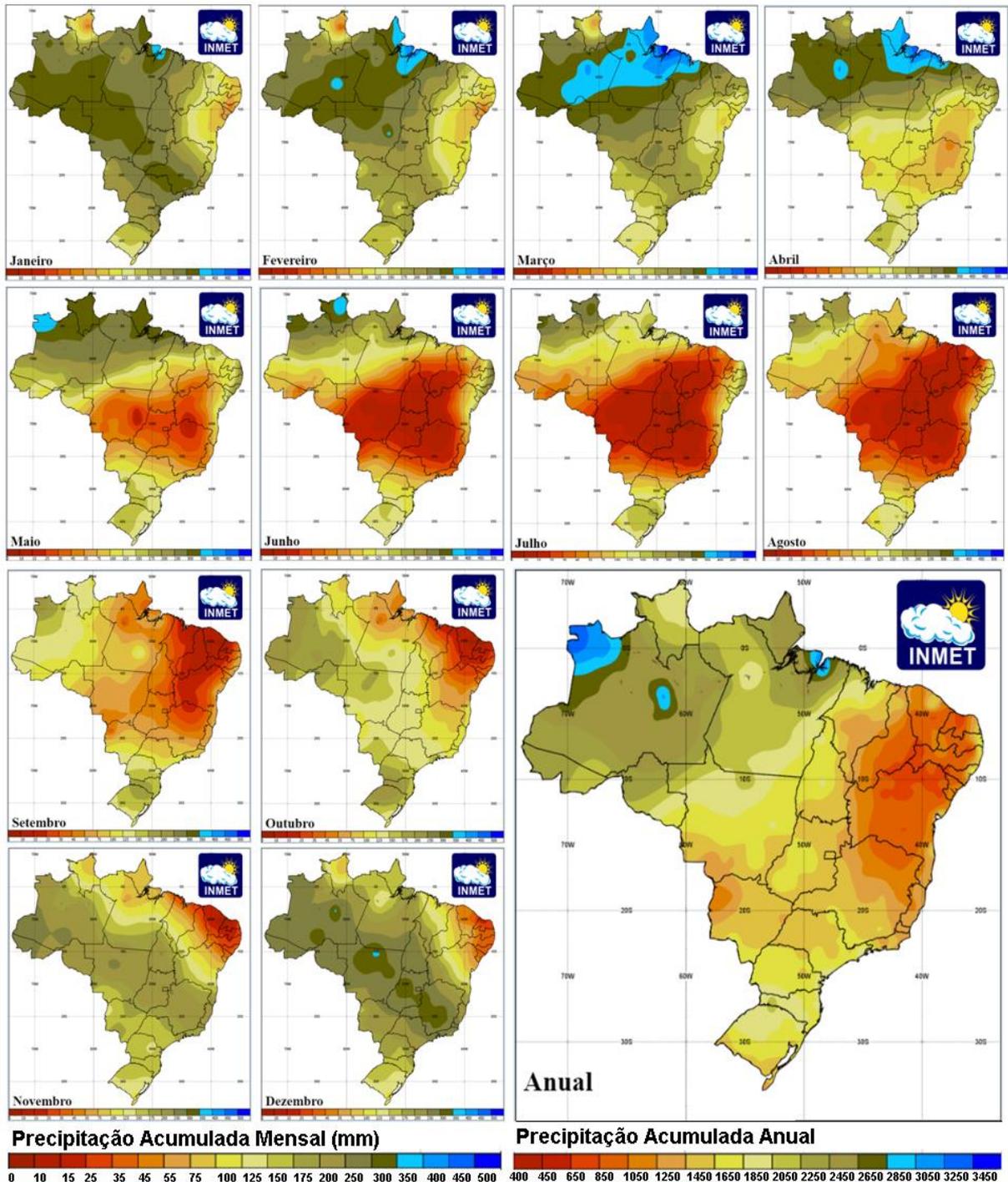


Figura 8 – Normais Climatológicas do Brasil (1981-2010), referente à precipitação acumulada mensal e anual.

Fonte: INMET, 2018. Org. Autora.

A região amazônica tem um regime de precipitação tipo monção bem definido (COELHO et al., 2012; NOBRE et al., 2009). Segundo Marengo e Nobre (2009), a pluviosidade na Região

Os principais sistemas que influenciam o tempo e clima do Norte do Brasil são a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), as Linhas de Instabilidade (LI) e circulação de brisas marítima e terrestre; a penetração de sistemas frontais; o deslocamento da Alta Subtropical do Atlântico Sul (Asas)/Alta Subtropical do Atlântico Norte (Asan) e a Alta da Bolívia, que, por sua vez, podem interagir com Distúrbios Ondulatórios de Leste e outros mecanismos de escala regional, como o vapor d'água da Floresta Amazônica e a Cordilheira dos Andes, e de escala global, como El Niño e La Niña; e o dipolo do Atlântico Tropical. A interação dos Vórtices Ciclônicos de altos níveis (VCANs) com a Alta da Bolívia (AB) e a ZCAS é fundamental para compreensão do papel desses vórtices no regime pluviométrico do nordeste e parte da região Norte. A AB é uma circulação ciclônica de grande escala que ocorre na troposfera superior, centrada, em média, no platô Boliviano e contribui para as chuvas que ocorrem nas regiões norte, nordeste e centro-oeste do Brasil, atingindo maior intensidade nos meses de dezembro a fevereiro, enfraquecendo nos meses de abril a maio. O sistema AB/VCANs é mantido pela fonte de calor dessa região e também por fontes remotas de calor na África (FERREIRA; RAMIREZ; GAN, 2009).

A floresta amazônica também desempenha um papel crítico na regulação climática tanto em nível regional quanto global. Molion (1975) estimou que 56% da chuva que ocorre sobre a bacia amazônica provêm da evapotranspiração local e que 44% provêm da advecção de umidade, principalmente do oceano Atlântico. Nobre, Obregón e Marengo (2009), também, afirmam que a principal fonte de umidade da Amazônia, em especial do leste da região, é o oceano Atlântico. As anomalias de TSM que se desenvolvem no oceano Pacífico suas águas, também, repercutem na região Norte do Brasil. Entre tais anomalias, destaca-se o El Niño – Oscilação Sul (Enos). Vários estudos foram desenvolvidos para entender a influência do Enos nas chuvas na região amazônica. Esses sistemas estão associados a precipitações e influenciam diretamente a estação chuvosa, como pode-se observar nos trabalhos de: Nobre (1983); Rao e Hada (1990); Marengo e Hastenrath (1993); Rao et al. (1996); Hastenrath (2001); Marengo et al. (2001); Ronchail et al. (2002); Souza, Ambrizzi, Coelho (2004); Andreoli e Kayano (2005); Nobre, Obregón e Marengo (2009); Coelho et al. (2012); Limberger e Silva (2016).

Na região Nordeste predominam três tipos de clima: o clima litorâneo úmido (do litoral da Bahia ao do Rio Grande do Norte), com precipitação anual média de 2.000 mm; o clima tropical (em parte dos estados da Bahia, Ceará, Maranhão e Piauí), com precipitação anual entre 1.000

e 1.200 mm; e o Clima tropical semiárido (em todo o sertão nordestino), com precipitação anual inferior a 500 mm (KAYANO; ANDREOLI, 2009; QUADRO, et al., 1996). A estação chuvosa acontece no norte da região, principalmente entre março e maio; no sul e sudeste da região, principalmente durante o período de dezembro a fevereiro; e no leste, de maio a julho (RAO; LIMA; FRANCHITO, 1993). O principal período da estação chuvosa do semiárido nordestino estende-se de fevereiro a maio, e pode ser influenciado pelos oceanos tropicais e por fatores de circulação atmosférica de escala global e regional (NIMER, 1979).

O regime de precipitação na região Nordeste resulta da complexa interação entre o relevo, posição geográfica e natureza da sua superfície e os sistemas de pressão atuantes na região. Assim, os principais mecanismos de precipitação da Região Nordeste são condicionados pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o oceano Atlântico, pelas Frentes Frias, por Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), por Linhas de Instabilidade (LIs), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que pode atingir o centro-sul da Bahia, por Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), por efeitos das brisas marítima e terrestre e as Perturbações Ondulatórias nos Ventos Alísios (POAS). Essa dinâmica, por sua vez, é fortemente influenciada por eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS), pela Temperatura da Superfície do Mar (TSM) dos oceanos Atlântico Sul e Norte, pelos Ventos Alísios e pela Pressão ao Nível do Mar (PNM). A atuação de outros sistemas como: Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Linhas de Instabilidades (LIs) e Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), em associação com a ZCIT são de extrema importância para a definição da qualidade do período chuvoso do setor norte das Regiões Norte e Nordeste (FERREIRA; MELLO, 2005).

Melo, Cavalcanti e Souza (2009), ressaltaram que vários autores mostraram que a confluência dos ventos e a convergência de massa em baixos níveis, associadas à ZCIT, em especial na região do Atlântico Tropical, favorecem o transporte de umidade e o aumento da convecção sobre o norte da América do Sul, em particular sobre a região Nordeste. Ressalta-se que, no NEB, o Maranhão (norte e centro), o Piauí (norte e centro), o Ceará, o Rio Grande do Norte e os sertões da Paraíba e de Pernambuco são, entre os Estados nordestinos, aqueles que mais recebem a influência da ZCIT organizada sobre o Atlântico Equatorial. Ainda, segundo os autores, nessas áreas, os máximos de precipitação ocorrem em março a abril, meses nos quais esse sistema atua de maneira regular (MELO, CAVALCANTI, SOUZA, 2009, p. 28). Como exemplo, em março de 2008 houve uma atuação conjunta da banda de nebulosidade associada à ZCIT na região do Atlântico Equatorial, com inclinação sobre o Nordeste, de um cavado em

médios e altos níveis e de uma Linha de Instabilidade (LI) ao longo da costa que favoreceu a ocorrência de totais diários de precipitação que excederam 100 mm em cidades localizadas no Pará, Maranhão e Ceará (MELO, CAVALCANTI, SOUZA, 2009). Observou-se, que nos meses de março a abril de 2008, os totais pluviométricos ocorreram acima da média histórica na maior parte do setor norte do NEB. A ZCIT costuma afetar a costa norte do Brasil, do Rio Grande do Norte ao Amapá, de janeiro a junho. Na costa norte-nordeste do Brasil, há grande frequência de Linhas de Instabilidade de janeiro a maio, e no período de junho a dezembro, essa região não apresenta atividade convectiva, mesmo com a entrada de brisa (COHEN et al., 2009). Contudo, toda essa complexidade de fatores que influenciam no regime de precipitações na Região Nordeste reflete na grande variabilidade espacial, sazonal e interanual das chuvas (KAYANO; ANDREOLI, 2009; FERREIRA; MELO, 2005; MOLION; BERNARDO, 2002).

Dos resultados obtidos por Pezzi e Cavalcanti (2001) da pesquisa sobre a influência dos eventos El Niño no Pacífico e dipolo de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Atlântico Norte e Sul na precipitação da América do Sul, durante a estação chuvosa do norte do NEB (março-abril-maio), infere-se que a ZCIT se posiciona ao norte do equador em casos do “dipolo quente” (águas mais quentes no Atlântico Norte), em anos de El Niño ou La Niña, deixando o NEB com precipitação abaixo da média. Na ocorrência de “dipolo frio” (Águas mais quentes no Atlântico Sul), a ZCIT posiciona-se ao sul do equador nos anos de El Niño e La Niña, porém, nos anos de El Niño, esse sistema afeta apenas o extremo norte do NEB, com precipitação acima da média, enquanto as outras áreas apresentam condições de seca. Nos anos de La Niña, toda a área do NEB apresenta anomalias positivas de chuvas (PEZZI; CAVALCANTI, 2001, apud. MELO, CAVALCANTI, SOUZA, 2009, p. 41).

Ferreira e Mello (2005) destacam a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região, com a atuação dos fenômenos El Niño e La Niña, associados aos dipolos positivos e negativos do Atlântico, conforme pode ser observado na Figura 9.

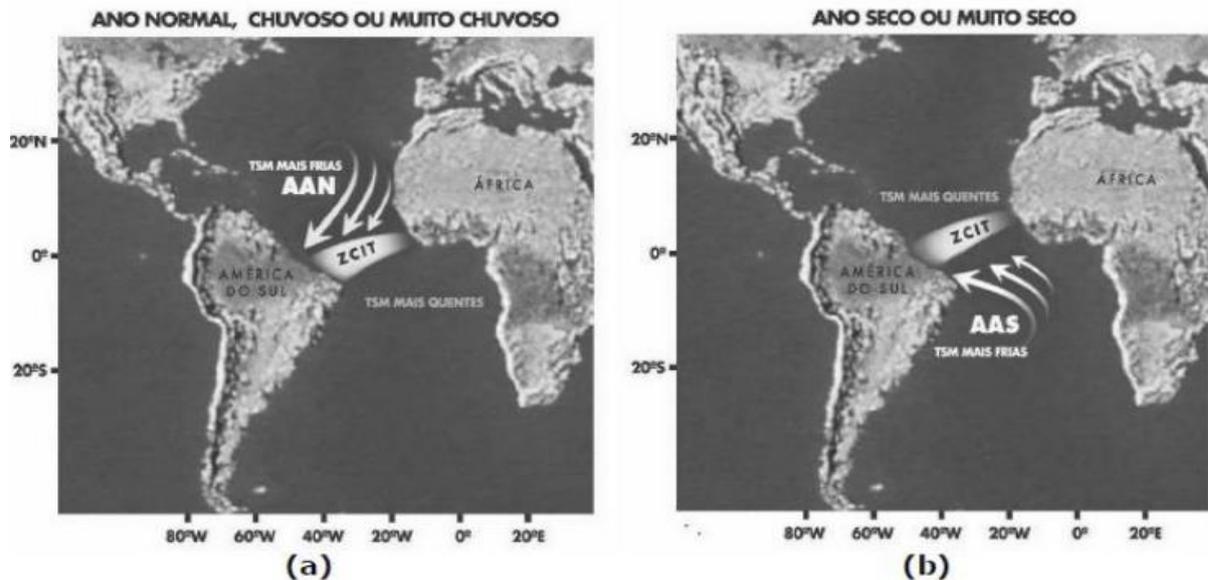


Figura 9 - Os padrões oceânicos e atmosféricos que contribuem para a ocorrência de anos muito secos, secos, normais, chuvosos e muito chuvosos, na parte norte da região Nordeste do Brasil. Fonte: Lucena (2012), adaptado de Ferreira e Mello (2005).

A região Centro-Oeste, segundo Steinke (2004), é dominada pela massa Tropical Atlântica (mTa) que, devido à ação persistente do Anticiclone Semipermanente do Atlântico Sul, possui atuação relevante durante o ano todo. Durante o verão a massa Equatorial Continental (mEc), atraída pelos sistemas depressionários do interior do continente, como a Baixa do Chaco, tende a avançar do NW, ora para SE, ora para ESE, atingindo a região Centro-Oeste, onde provoca elevação das temperaturas, sendo responsável ainda pelo aumento da umidade e das precipitações. Ainda, segundo a autora, Nimer (1989) complementa que associados à essas massas de ar, outros sistemas de circulação contribuem para a gênese climática na região Centro-Oeste como: sistema de correntes perturbadas de oeste – de linhas de instabilidade tropicais (IT); sistema de correntes perturbadas de norte – da zona de convergência intertropical (ZCIT); sistema de correntes perturbadas de sul – do anticiclone polar e frente polar atlântica (FPA) (STEINKE, 2004).

De acordo com Sano et al. (2007), a precipitação na região é dominada por três sistemas: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Sistema de Alta Pressão da Bolívia (AB) e o Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que é uma região de baixa pressão associada à instabilidade que se estende desde a Amazônia até o sudeste do Brasil.

A distribuição espacial da precipitação anual média dessa região Centro-Oeste é de 1.500 mm/ano, mas no norte do estado de Mato Grosso, onde ocorre influência dos sistemas

amazônicos, as precipitações anuais superam os 1.800 mm/ano. Esses valores de precipitação elevada são resultantes das influências de sistemas da Amazônia. A sazonalidade da precipitação ocorre em dois regimes sazonais bem definidos com invernos (jun-jul-ago) excessivamente secos e verões (dez-jan-fev) chuvosos (ALVES, 2009, p.237). Mariano (2010) analisou a variabilidade das chuvas no sudoeste de Goiás no período de 1978 a 2003, constatando que o município de Jataí apresentou uma média pluviométrica de 1651 mm, sendo 1361 mm na estação chuvosa e 290 mm na estação seca e o município de Rio Verde 1593 mm, sendo 1337 mm na estação chuvosa e 255 mm na estação seca.

Nimer (1989) e Sano et al. (2007) constatou que 70% do total das chuvas acumuladas durante o ano ocorrem de novembro a março, que o inverno é excessivamente seco e que os meses que o antecede (maio) e o que sucede (setembro) são pouco chuvosos na região. Apenas ao sul da região as chuvas, apesar de pequenas, concentram-se no inverno e está associada principalmente à atuação dos CCMs, aos jatos de baixos níveis (MARENGO et al., 2004). Reboita et al. (2010), destacam que os sistemas atmosféricos que atuam na região Centro-Oeste do Brasil são tanto de origem tropical quanto extratropical. O setor mais ao norte sofre influência de sistemas que atuam na Amazônia como, por exemplo, CCMs tropicais, já a região mais ao sul sofre influência de sistemas extratropicais tais como frentes frias e linhas de instabilidade.

Segundo Vera et al. (2006), no período de verão, a Alta da Bolívia (AB) contribui para as chuvas que ocorrem principalmente no Centro-Oeste do Brasil. Alguns autores mostraram que a AB atinge intensidade máxima nos meses de dezembro a fevereiro, enfraquecendo nos meses de abril e maio. Desta forma, o início da estação chuvosa sobre boa parte do Centro-Oeste ocorre, em média, na segunda quinzena de outubro. O pico da estação chuvosa, isto é, quando as chuvas mais intensas e frequentes acontecem, ocorre sobre o Centro-Oeste entre dezembro e fevereiro, devido a atuação da ZCAS. A precipitação na região centro-oeste do Brasil é máxima no verão, pois também é afetada pelo sistema de monção da AS (VERA et al., 2006). Já, no inverno, os principais sistemas atuantes no regime de precipitação da região Centro-Oeste são os cavados invertidos, que proporcionam condições de tempo moderado, principalmente sobre Mato Grosso do Sul; os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), oriundos do Pacífico, que se organizam com intensa convecção associada à instabilidade causada pelo jato subtropical; as linhas de instabilidades pré-frontais, geradas a partir da associação de fatores dinâmicos de grande escala e características de mesoescala (REBOITA et al., 2010, p. 196).

A região Sudeste é caracterizada pela transição entre climas quentes de baixas latitudes e climas mesotérmicos de latitudes médias. A variabilidade latitudinal e de relevo, a maritimidade/continentalidade e a atuação de sistemas tropicais e extratropicais de latitudes médias conferem à região uma diversidade de regimes climáticos maiores do que qualquer outra do país (BRASIL, 2012, p. 13). No geral, a região Sudeste possui quatro zonas pluviométricas distintas. A primeira zona tem a maior média anual, superior a 2.000 mm, superando os 4.500 mm em Bertioga, e se estende ao longo do litoral paulista (influenciados pelo Oceano Atlântico e Serra do Mar); a segunda zona, com totais pluviométricos anuais entre 1.500 a 1.700 mm, estende-se do Rio de Janeiro ao oeste de Minas Gerais (Serra da Canastra a noroeste e da Serra da Mantiqueira a sudeste) e está disposta no sentido SE-NW; a terceira zona apresenta pluviosidade entre 1.250 e 1.400 mm e compreende o Planalto Ocidental paulista, o centro-norte mineiro, o norte fluminense e o Espírito Santo; e a quarta zona apresenta totais pluviométricos anuais inferiores a 1.000 mm e compreende o extremo norte do Espírito Santo e noroeste de Minas Gerais (NUNES et al., 2009).

A região Sudeste é caracterizada pela atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), o principal fenômeno a influenciar o regime de chuvas; pelo Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN); pelos cavados invertidos, que atuam principalmente no inverno, proporcionando condições de tempo moderado principalmente sobre São Paulo; e pelas linhas de instabilidades pré-frontais, geradas a partir da associação de fatores dinâmicos de grande escala e características de mesoescala. (BRASIL, 2013). Reboita et al. (2010) destacam que a região Sudeste é uma região úmida no verão, devido ao sistema de monção da AS (VERA et al., 2006), e seca no inverno. Os baixos totais pluviométricos no inverno estão associados a atuação do ASAS, pois nesta estação tal sistema alcança sua posição mais oeste, se estendendo até a região sudeste do Brasil. Eventos de chuva ocorrem quando os sistemas frontais e ciclones subtropicais e extratropicais conseguem se sobrepor ao ASAS (REBOITA et al. 2010, p. 196). Sistemas como linhas de instabilidade pré-frontais, CCMs, bloqueios atmosféricos e brisas também atuam nessa região.

A influência da ZCAS na precipitação do estado de São Paulo foi estudada por Carvalho et al. (2002), ao analisarem os eventos extremos de precipitação diária, onde, observaram que a maior parte dos extremos pode ser associada a casos onde a ZCAS possui maior intensidade sobre a América do Sul Tropical, mas sem se estender sobre o Oceano Atlântico. O estudo também sugere a importância dos sistemas transientes, como os complexos convectivos de mesoescala,

além do papel da topografia para a ocorrência destes eventos. O período chuvoso inicia-se mais cedo no sul da região, em decorrência da atuação de frentes frias. No norte da região, é observado um atraso da estação chuvosa de 2 a 3 meses em relação ao sul, coincidindo com a atuação da ZCAS em dezembro.

Teixeira e Satyamurty (2007) determinaram as condições associadas à ocorrência de eventos extremos de precipitação no sudeste brasileiro, como: (I) sistemas de baixa pressão sobre o norte da Argentina proeminentes no dia anterior ao evento, a formação de um cavado em níveis médios sobre o Pacífico Sul, que se move para a parte central da Argentina ao longo dos três dias anteriores ao evento; (II) a formação de um jato de baixos níveis sobre o Paraguai, que advecta ar quente e úmido para o sudeste brasileiro nos dias anteriores ao evento; e (III) uma forte convergência de umidade sobre a região sudeste (TEIXEIRA; SATYAMURTY, 2007).

A região semiárida do Sudeste brasileiro alcança o norte de Minas e do Espírito Santo, onde se verifica baixos índices pluviométricos. Por outro lado, na Serra do Mar, são observados os maiores totais pluviométricos do país. Há período de estiagem concentrado nos meses de junho a setembro, e muitas chuvas ao longo dos meses de novembro a março, com pico em dezembro e janeiro (BRASIL, 2013).

A região Sul é caracterizada pela transição entre os climas quentes de baixas latitudes e climas mesotérmicos de latitudes médias, com as chuvas bem distribuídas ao longo do ano e as quatro estações bem definidas. A pluviosidade média anual varia entre 1.250 e 2.000mm, com exceção do litoral do Paraná e do oeste de Santa Catarina, onde supera 2.000mm, resultando em chuvas bem distribuídas ao longo do ano. O período mais crítico ocorre nos meses de dezembro a março, quando o aumento das temperaturas sobre o continente gera a maior possibilidade de chuvas fortes, acompanhadas de trovoadas, rajadas de vento e granizo (BRASIL, 2013).

Os principais sistemas que contribuem para a distribuição de precipitação na região Sul e que muitas vezes estão associados a eventos adversos são as frentes frias (SF), os ciclones extratropicais, os cavados, o posicionamento e intensidade do Jato Subtropical da América do Sul, os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a convecção tropical e a circulação marítima (GRIM, 2009; MONTEIRO; MENDONÇA, 2007; QUADRO, et al., 1996; BRASIL, 2013). Contudo, não são apenas as instabilidades que causam desastres nessa região. Condições de estabilidade, comumente associadas aos bloqueios atmosféricos, causam estiagens prolongadas e prejuízos

consideráveis. Anomalias de precipitação podem ainda estar associadas a eventos de escala global, como o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (GRIM, 2009; BRASIL, 2013). Na região, também, existe uma transição entre os regimes de monções de verão, ao norte, com máximos de precipitação em janeiro, e um regime de latitudes médias, com chuvas mais bem distribuídas e máximas de precipitação durante o inverno. O regime de monção atua na maior parte do Estado do Paraná e no centro-leste do Estado de Santa Catarina, apresentando um ciclo unimodal de precipitação, com um único máximo no verão, e totais pluviométricos maiores que 1.400 mm e que superam os 2.000 mm no litoral do Paraná (QUADRO et al., 1996).

Segundo Ferreira, Ramírez e Gan (2009), a ZCAS pode atingir o norte do Paraná e prolongar-se até o oceano Atlântico Sudoeste, onde, ela está associada a uma zona de convergência do fluxo de umidade na baixa troposfera e tem um papel importante no regime de chuvas das regiões Sul e Sudeste do Brasil no período de verão. A intensificação da ZCAS está relacionada com outros sistemas meteorológicos, tais como os sistemas frontais e a Alta da Bolívia (AB).

Teixeira e Satyamurty (2007) verificaram que a ocorrência de episódios de chuva intensa, na área costeira de Santa Catarina e Vale do Itajaí, é verificada em meses de verão (novembro a fevereiro), enquanto nas demais áreas do Estado, tais eventos podem ser esperados nas outras três estações do ano, outono, inverno e primavera. A região Sul é homogênea em termos de episódios de chuva intensa, mas a área costeira de Santa Catarina foi identificada como a única diferenciada no verão (TEIXEIRA; SATYAMURTY, 2007). No sul da AS, as correntes de jato estão associadas a bloqueios, sistemas frontais e sistemas convectivos, principalmente durante o inverno, quando os ventos de oeste estão mais intensos (CRUZ; RAO; GAN, 2008).

Contudo, para entender os fenômenos atmosféricos que afetam a precipitação no Brasil é preciso analisar não somente os fenômenos que ocorrem sobre cada Estado, mas sim sobre uma ampla região a sua volta que acabam influenciando-o na condição de tempo e clima. Assim, com relação aos principais sistemas atmosféricos atuantes no Brasil, o Quadro 10 e a Figura 10 apresentam as características dos regimes de precipitação e os sistemas atmosféricos atuantes por região de domínio do sistema.

Quadro 10 - Sistemas Atmosféricos Atuantes no Brasil e Características dos Regimes de Precipitação.

Região	Característica do Ciclo Anual de Precipitação	Sistemas Atmosféricos Atuantes
Noroeste a Sudeste do Brasil (Regiões: Norte, Centro-Oeste e Sudeste)	Máximos de precipitação no verão e mínimos no inverno. O total anual varia ao longo da região: no setor norte é superior a ~2450 mm, já no centro-oeste e sudeste é de ~1500 mm.	Ventos alísios; JBN a leste dos Andes; ASAS; convecção por aquecimento radiativo da superfície; AB; ZCIT; circulação de brisa; LI tropicais e pré-frontais; CCMs tropicais; frentes; VCANs subtropicais; ciclones.
Norte da Região Norte do Brasil e Litoral do Nordeste do Brasil	Máximos de precipitação no primeiro semestre do ano. No norte da região norte do Brasil o total anual é de 2000 mm, enquanto no litoral do nordeste do Brasil é de 1500 mm.	ZCIT; convecção por aquecimento radiativo da superfície; CCMs tropicais; ventos alísios, circulação de brisa; LI; ondas de leste; cavado do nordeste do Brasil; VCANs tropicais; ASAS; frentes
Sertão Nordestino do Brasil	Máximos de precipitação no verão e mínimos no inverno, mas os totais são reduzidos (entre 200 e 500 mm/ano).	Ramo descendente da circulação zonal propiciada pela atividade convectiva na Amazônia; ZCIT; VCANs tropicais; frentes; ASAS
Sul do Brasil	A precipitação é praticamente homogênea ao longo do ano. O total anual é elevado (1050- 1750 mm/ano) sendo ainda maior no oeste do sul do Brasil na fronteira com o Paraguai (1750- 2100 mm/ano)	Frentes; ciclones; VCANs subtropicais; LI pré-frontais; nuvens vírgula; CCMs subtropicais, bloqueios atmosféricos; ZCAS; ASAS; JBN a leste dos Andes; circulação de brisa

Fonte: REBOITA et al. 2010, p. 198.

Tanto a ZCAS, quanto a ZCIT são responsáveis por uma grande porção do volume de chuva que ocorre durante um ano na maioria das áreas do Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil (CLIMATEMPO, 2017). O sistema ZCAS traz a chuva volumosa para o Sudeste e para o Centro-Oeste, enquanto a ZCIT é responsável pela maior parte da chuva anual do Nordeste e do Norte do Brasil, influenciando particularmente a porção norte-nordeste (FERREIRA, 2002). As ocorrências destes sistemas estão condicionadas, em grande parte, a uma combinação de fatores, especialmente a temperatura da água do mar em determinadas regiões dos oceanos Pacífico e Atlântico, vindo a dificultar ou facilitar a formação de ambos sistemas meteorológicos provedores de chuva para o Brasil. Outro fator que anualmente favorece a formação e, também, a intensidade desses sistemas são as mudanças na circulação dos ventos em diversos níveis da atmosfera, causadas pelo aquecimento anormal das águas do oceano Pacífico Equatorial, vindo a dificultar a organização do sistema de alta pressão chamado de Alta da Bolívia, necessário para a formação de uma ZCAS (CLIMATEMPO, 2017).

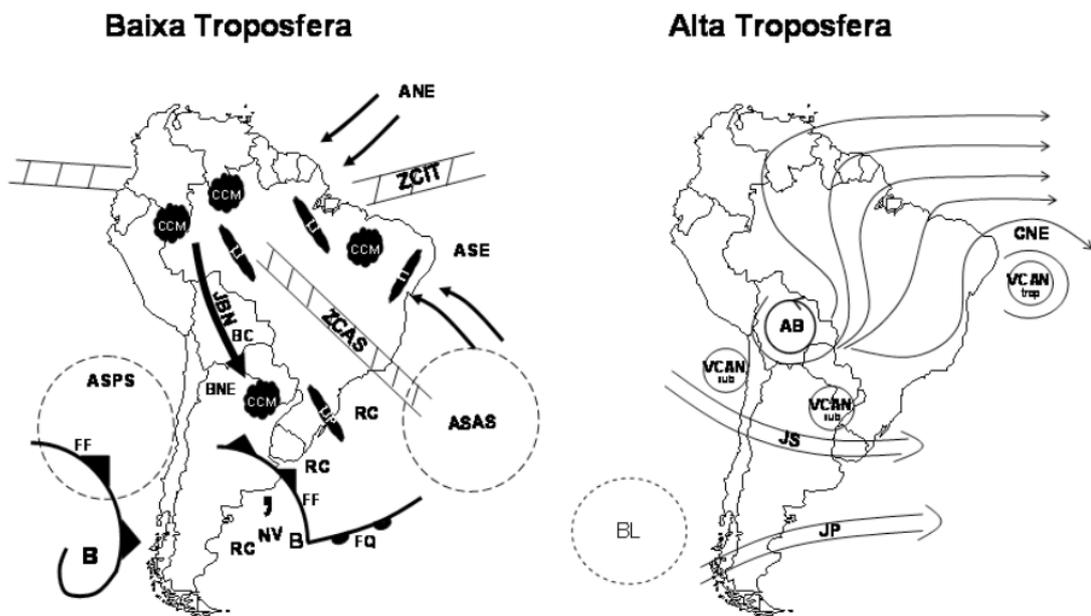


Figura 10 - Fenômenos atmosféricos atuantes na América do Sul. Representação esquemática dos sistemas atmosféricos na baixa e alta troposfera atuantes na América do Sul.

Fonte: Adaptada de SATYAMURTY et al., 1998; pg. 125; cedida por REBOITA et al., 2010, pg. 199).

Em relação à baixa troposfera tem-se: ANE ventos alísios de nordeste, ASE ventos alísios de sudeste, ASAS anticiclone subtropical do Atlântico Sul, ASPS anticiclone subtropical do Pacífico Sul, B baixa pressão, BC baixa do Chaco – região de baixas térmicas, BNE região de baixas térmicas no noroeste argentino, CCM complexo convectivo de mesoescala, FF frente fria, FQ frente quente, JBN jato de baixos níveis a leste dos Andes, LI linha de instabilidade tropical, LIP linha de instabilidade pré-frontal, NV nuvem vírgula, RC regiões ciclogênicas, ZCAS zona de convergência do Atlântico Sul e ZCIT zona de convergência intertropical. Já em relação à alta troposfera tem-se: AB alta da Bolívia, BL região de bloqueios atmosféricos, CNE cavado do nordeste do Brasil, JS jato subtropical, JP jato polar, VCAN sub vórtices ciclônicos de altos níveis subtropicais, VCAN trop vórtices ciclônicos de altos níveis tropicais. É importante destacar que a AB e o CNE são sistemas que se configuram no verão e desaparecem no inverno. Além disso, no verão o JP e o JS se fundem em apenas um jato (GALLEGO et al., 2005).

Além dos sistemas atmosféricos citados, destaca-se o fenômeno El Niño Oscilação-Sul (ENOS) que é caracterizado por anomalias, positivas (El Niño) ou negativas (La Niña), de temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico Equatorial. No Brasil, as alterações de temperatura da superfície do Oceano Pacífico durante episódios El Niño e La Niña, também, resultam em

diversos impactos significativos sobre a precipitação e se estendem por várias partes do globo, como: Indonésia, Austrália, na porção sudeste da África, no sul dos Estados Unidos, Peru, Equador, Paraguai, nordeste da Argentina, e, nas regiões Nordeste e Sul do Brasil.

De acordo com o CPTEC/INPE (1998) as principais consequências do El Niño no Brasil são: precipitações abundantes, principalmente na primavera e chuvas intensas de maio a junho na Região Sul; secas severas na Região Nordeste e; diminuição das precipitações e secas na Região Norte. Ainda, segundo o CPTEC/INPE (1998), os principais efeitos de episódios do La Niña observados sobre o Brasil são: passagens rápidas de frentes frias sobre a Região Sul, com tendência à diminuição da precipitação nos meses de setembro a fevereiro, principalmente no Rio Grande do Sul; temperaturas próximas da média climatológica ou ligeiramente abaixo da média sobre a Região Sudeste, durante o inverno; chegada das frentes frias até a Região Nordeste, principalmente no litoral da Bahia, Sergipe e Alagoas; tendência a chuvas abundantes no norte e leste da Amazônia; possibilidade de chuvas acima da média sobre a região semiárida do Nordeste do Brasil (CPTEC/INPE, 1998).

No período compreendido entre os anos de 1950 e 2016, ocorreram eventos de El Niño e La Niña em 57% dos meses, sendo que apenas 43% dos meses foram considerados neutros. Outra questão observada é que os eventos de El Niño são mais frequentes do que os de La Niña, sendo que no mesmo período, ocorreram 22 episódios de El Niño e apenas 18 de La Niña (Quadro 11).

Assim, como os episódios El Niño e La Niña afetam os totais sazonais de precipitação, podem também afetar a frequência de ocorrência de alguns regimes de tempo (temperatura, precipitação e ventos), e, portanto, de eventos extremos. De acordo com Oliveira (2001a; 2001b), de maneira geral, episódios de El Niño e La Niña têm frequência de 3 a 7 anos, sendo que o intervalo de um evento ao outro pode variar de 1 a 10 anos (OLIVEIRA, 2001).

Quadro 11 - Eventos de El Niño e La Niña entre os anos de 1950 e 2016.

EVENTOS EL NIÑO				EVENTOS LA NIÑA			
Início	Final	Duração (meses)	Intensid.	Início	Final	Duração (meses)	Intensid.
AGO 1951	FEV 1952	07	Forte	MAR 1950	FEV 1951	12	Fraco
MAR 1953	NOV 1953	09	Fraco	JUN 1954	MAR 1956	22	Forte
ABR 1957	JAN 1958	10	Forte	MAI 1956	NOV 1956	07	Fraco
JUN 1963	FEV 1964	09	Fraco	MAI 1964	JAN 1965	09	Moderado
MAI 1965	JUN 1966	14	Moderado	JUL 1970	JAN 1972	19	Moderado
SET 1968	MAR 1970	19	Moderado	JUN 1973	JUN 1974	13	Forte
ABR 1972	MAR 1973	12	Forte	SET 1974	ABR 1976	20	Forte
AGO 1976	MAR 1977	08	Fraco	SET 1984	JUN 1985	10	Fraco
JUL 1977	JAN 1978	07	Fraco	MAI 1988	JUN 1989	14	Forte
OUT 1979	ABR 1980	07	Fraco	SET 1995	MAR 1996	7	Moderado
ABR 1982	JUL 1983	16	Forte	JUL 1998	JUN 2000	24	Forte
AGO 1986	FEV 1988	19	Moderado	OUT 2000	FEV 2001	05	Fraco
MAR 1991	JUL 1992	17	Forte	*DEZ 2005	ABR 2006	05	Fraco
FEV 1993	SET 1993	08	Forte	*SET 2007	JUL 2008	11	Moderado
JUN 1994	MAR 1995	10	Fraco	*JAN 2009	ABR 2009	04	Fraco
ABR 1997	JUN 1998	15	Forte	*AGO 2010	MAI 2011	10	Forte
MAI 2002	MAR 2003	11	Fraco	*OUT 2011	ABR 2012	07	Fraco
JUL 2004	FEV 2005	08	Fraco	*JUL 2016	NOV 2016	05	Fraco
*OUT 2006	FEV 2007	05	Moderado	2017	2018		Moderado
*AGO 2009	MAI 2010	19	Moderado				
*FEV 2015	JUN 2016	17	Muito Intenso				
*DEZ 2016	DEZ 2016	01	Fraco				

Fonte: Elaborado pela autora com base em Trenberth apud Berlatto e Fontana (2003); CPC/NCEP/NOAA apud Berlatto e Fontana (2003). * Eventos acrescentados. Fonte: NOAA/CPC. Disponível em: <http://www.cpc.noaa.gov/> e em: EL Niño e La Niña Anos e intensidades. Golden Gate Weather Services, 2015. Disponível em: <http://ggweather.com/enso/oni.htm/>.

Tedeschi (2013) destaca que durante episódios de El Niño, exibem padrões diferentes de um episódio para outro. Verificou, ainda, que esses diferentes ENOS afetam, particularmente a precipitação e seus eventos extremos em toda a América do Sul. No Brasil, na região tropical, notou-se uma maior diminuição na ocorrência de eventos extremos de precipitação durante

episódios de El Niño, quando comparado a anos normais (SILVA, 2018). Contudo, o fenômeno El Niño exerce um papel importantíssimo na variabilidade da monção na América do Sul e na ZCAS, inclusive na ocorrência de eventos extremos de precipitação pelo Brasil.

Na América do Sul, observa-se as distribuições anômalas de precipitação nos trópicos e subtropicais devido os impactos gerados pela Oscilação de Madden-Julian (OMJ) que é a mais importante fonte de variabilidade intrassazonal, principalmente na região tropical, embora produza também importante variabilidade subtropical e extratropical. ZHANG (2005) destaca que, a Oscilação Madden-Julian é conceituada como um dominante componente intrasazonal na atmosfera tropical que possui ciclo e tem duração em torno de 30 a 90 dias, consistindo em padrões de larga escala de circulação atmosférica e convecção profunda, se propagando lentamente de sentido oeste para leste, entre as águas quentes dos Oceanos Índico e Pacífico equatorial. Observa-se que as fases de desenvolvimento da MJO influenciam diretamente nas condições de tempo da América do Sul, onde esta influência sobre a ZCAS, contribuindo para a formação de ZCAS, modulando a variabilidade e a intensidade da precipitação, com persistência maior que três dias, ocasionando eventos de tempos severos na América do Sul, principalmente no Sudeste do Brasil. Kayano e Kousky (1999), também, ressaltam que a escala temporal da OMJ condiciona seus impactos mais marcantes em áreas de estações chuvosas curtas, como o Nordeste do Brasil (NEB), o sudeste da África e o nordeste da Austrália. Ainda, segundo os autores, encontraram anomalias de Radiação de Onda Longa (ROL) relacionadas à OMJ mais pronunciadas sobre o NEB durante o verão. Outro aspecto importante é a possibilidade da OMJ influenciar fenômenos de mais baixa frequência, como o El Niño-Oscilação Sul (ENOS).

Carvalho, Jones e Liebmann (2004) detectaram que fases da OMJ caracterizadas por supressão de convecção sobre a Indonésia e aumento de convecção sobre o Pacífico Central aumentam o percentil de 95% da precipitação diária sobre as regiões Norte e Nordeste do Brasil. Por outro lado, padrões opostos são observados durante o aumento de convecção sobre a Indonésia e a supressão de convecção no Pacífico Central.

2.5. Eventos Extremos de Precipitação

A frequência de eventos extremos de precipitação vem crescendo nas últimas décadas, com maior intensidade e duração, gerando instabilidades no regime pluviométrico, favorecendo ocorrências de desastres naturais (MARENGO et al., 2011; FU et al., 2013; SONG et al., 2015,

RODRIGUES, 2015). Beniston e Stephenson (2004), Christensen e Christensen (2004) e Zolina et al. (2010), também, sugerem que os eventos extremos de precipitação estão ocorrendo com mais frequência em todo o mundo, principalmente, no Brasil.

Na literatura, nas últimas décadas, na escala nacional e regional, estudos das variabilidades e mudanças climáticas, e seus possíveis impactos ambientais, como desastres naturais causados por eventos extremos de precipitação e temperatura, suas tendências e projeções climáticas futuras, já foram desenvolvidos em diversos países. Marcelino (2008) apresentou a evolução das ocorrências de eventos extremos de precipitação por todo o globo, onde, de acordo com os dados do EM-DAT (2013), a média de desastres ocorridos na década de 70 foi de 90 eventos por ano, saltando para mais de 260 eventos na década de 90. Estes números refletem diretamente a elevação na frequência e intensidade dos desastres causados por tempestades severas, como mostrado na Figura 11.

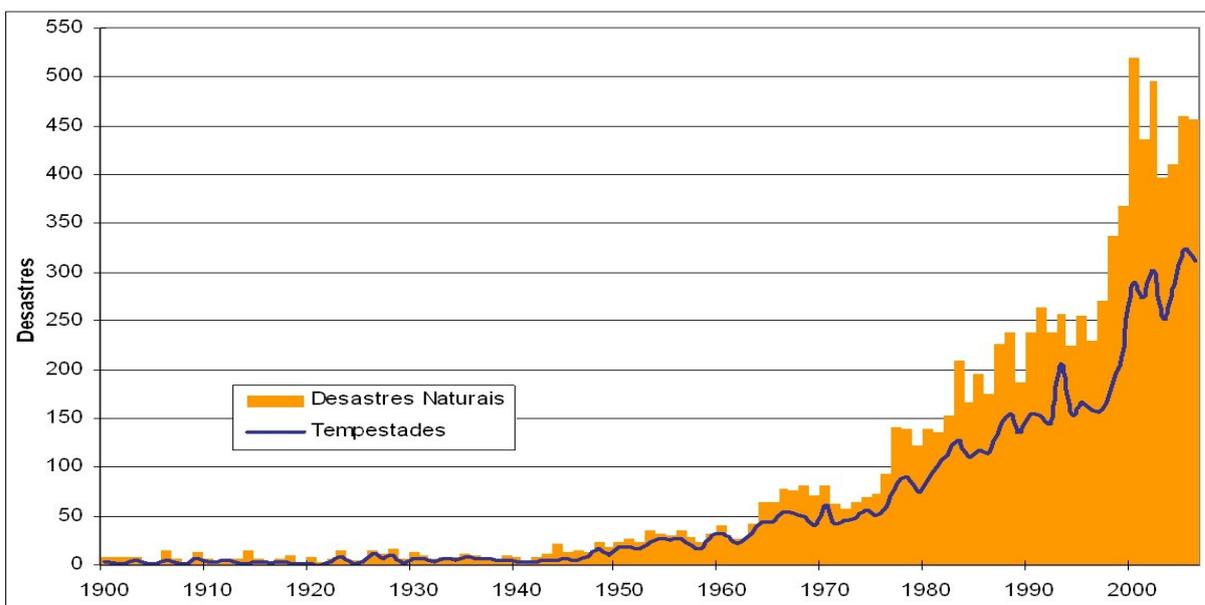


Figura 11 - Frequência anual de desastres naturais para todo o globo (1900-2006).

Fonte: Livro: Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos. MARCELINO, 2008, p. 19.

Marengo et al. (2007) destacam que os eventos extremos podem ser definidos como anomalias em relação à climatologia, em escalas de tempo que podem variar de dias até milênios. Recentemente, em cenários de aquecimento global, os eventos extremos de curta duração têm sido considerados como os mais importantes pelos climatologistas, pois alguns modelos climáticos e estudos de projeções de clima futuro apontam maiores frequências e intensidades de eventos extremos de curta duração (chuvas intensas, ondas de calor e frio, períodos secos).

Segundo os autores, os episódios de eventos extremos de precipitação ou de chuvas intensas têm produzido enchentes e avalanches (deslizamentos), afetando as populações mais pobres das regiões Nordeste, Sul, e Sudeste do Brasil, causando grandes danos materiais e perdas de vidas humanas (MARENGO et al., 2007, p.9). Dourado (2013) destaca que as relações entre os eventos extremos positivos e negativos de precipitação e temperatura resultam em impactos que provocam muitos problemas para zona rural e urbana. Tais impactos revelam a tamanha vulnerabilidade das sociedades frente aos fenômenos climáticos (DOURADO, 2013).

No entanto, diversos são os parâmetros e aspectos relacionados à classificação dos eventos extremos de precipitação, dentre eles, destacam-se os atributos de quantidade de chuva em um intervalo de tempo e a recorrência desses eventos extremos. Porém, há uma grande dificuldade entre os pesquisadores em determinar limiares para os eventos extremos de chuva. Monteiro, Rocha e Zanella (2012) e Dourado (2013) afirmam que isso se deve à dificuldade de estabelecer valores (em milímetros) confiáveis para regiões com características pluviométricas e climáticas diferenciadas em todo país e a partir de que montante pode ser considerado um evento extremo. Contudo, não é possível determinar um único tipo de precipitação que está diretamente relacionado à ocorrência de episódios de desastres, pois, diferentes são os fenômenos atmosféricos que influenciam o tempo nas cinco regiões brasileiras e inúmeras são as peculiaridades de cada bacia hidrográfica (relevo, vegetação, uso e ocupação do solo, entre outras) que se tornam decisivas para determinar que um evento extremo de chuva culmine num episódio de desastre natural.

As chuvas não se distribuem uniformemente por todas as áreas de uma bacia hidrográfica, não são homogêneas, possuem padrões e comportamentos diferenciados, de acordo, com as condições locais e a gênese de sua formação. Contudo, diversos trabalhos desenvolvidos em diversas partes do Brasil podem comprovar tais heterogeneidades, apresentando, as dificuldades de padronizar metodologias para estudos aplicados à diagnósticos de eventos extremos de precipitação por todo país (MONTEIRO et al., 2012; FARIAS et al., 2012; CARDOSO et al., 2004; XAVIER et al., 2001).

A chuva possui variabilidade espacial e temporal e sua ocorrência é um processo aleatório, onde, sua previsão pode ser feita estatisticamente com base em eventos passados. Segundo Tucci (1999) os estudos estatísticos permitem caracterizar as chuvas de uma região, verificar com que frequência elas ocorrem, bem como determinar sua magnitude e estimativa da

probabilidade de ocorrência. A determinação dos intervalos de duração de chuva, bem como sua intensidade e frequência, é fundamental para identificar e classificar os episódios de eventos extremos de precipitação. Para o autor, a precipitação máxima é entendida como a ocorrência extrema, com duração, distribuição temporal e espacial crítica para uma determinada área ou bacia hidrográfica. Dessa forma, as precipitações máximas são retratadas pontualmente através das curvas intensidade, duração e frequência (IDF), através da precipitação máxima provável (PMP), entre outras análises.

Medeiros (2013) considera que a PMP é um evento extremo proposto que pode ser utilizado para dimensionamento de áreas susceptíveis a ocorrência de desastres naturais, sendo definida pela maior coluna pluviométrica fisicamente possível de ocorrer em uma dada área, para uma dada duração em uma época do ano. Entretanto, sabe-se da relevância e das motivações para desenvolver estudos da dinâmica das precipitações, mas, sabe-se também que há várias dificuldades encontradas nas pesquisas.

Estudos nessa linha tornaram-se importantes para determinar, estatisticamente, os tempos de retorno ou períodos de recorrências de chuvas intensas, subsidiando, assim a gestão de riscos de desastres naturais. Dessa forma, vários estudos de previsão dos Períodos de Retornos (PR) de eventos extremos foram desenvolvidos por vários pesquisadores, como se observa nos estudos de Pinheiro et al. (2013) que avaliaram a presença de tendências nas séries de precipitação na região Sul do Brasil, onde, foram analisadas e utilizadas as séries diárias, mensais e anuais disponibilizadas pela Hidroweb/ANA, medidas em 18 estações pluviométricas, distribuídas nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A metodologia utilizou para análise exploratória dos dados, as distribuições de probabilidade Normal e de Extremo tipo I, e em seguida foi aplicado o teste de Mann-Kendall para estudo de tendência e variabilidade climática.

Algumas dessas análises apresentam uma visão com tendências de aquecimento e de intensificação de eventos extremos de precipitação, como nas pesquisas de Rusticucci et al. (2003 e 2004); Vincente (2005); Haylock et al. (2006); Marengo et al. (2006); Marengo et al. (2004 e 2007); Carvalho et al. (2002); Fowler e Kilsby (2003), Sen Roy e Balling, (2004), Wan Zin et al. (2010), Khan et al. (2007), Groisman et al. (2005); Tebaldi et al. (2006); Teixeira (2004); Xavier et al. (1994); Xu, et al. (2008), Qin et al. (2010), Santos e Manzi (2011), Qin et al. (2015), Rodrigues (2015), entre outros.

Na Índia, as variações dos eventos extremos de precipitação em várias regiões têm sido estudadas por vários pesquisadores como: Rajeevan et al. (2008), Ghosh et al. (2011), Patra et al. (2012), Jena et al. (2014), entre outros. Jena et al. (2014) concluíram que as recentes e crescentes incidências de inundação na Bacia Hidrográfica do rio Mahanadi, leste da Índia se deve ao aumento de chuvas extremas no curso médio do rio. Ahammed et al. (2014), ao analisarem as distribuições das chuvas máximas diárias na cidade de Dhaka, capital de Bangladesh, no período de 1953 a 2009, identificaram que a precipitação máxima diária e anual igual ou superior a 425 mm, apresenta um período de retorno de 100 anos para região.

Lucio et al. (2010) apresentaram uma modelagem estocástica de previsão combinada de precipitação de chuvas para a realização de prognósticos climáticos sazonais do tempo no Brasil. A finalidade da pesquisa foi explorar o comportamento de séries temporais de precipitações acumuladas em cada trimestre, visando à elaboração de previsões sazonais. O modelo proposto se mostrou eficiente na previsibilidade de condição seca, normal ou chuvosa, a partir das análises de tendências, memória do comportamento das chuvas nos trimestres anteriores em relação aos trimestres seguintes, por meio de funções de autocorrelação total e parcial.

Groisman et al. (2005) identificaram tendências positivas de aumentos sistemáticos de chuvas e de eventos extremos nas regiões Sudeste, Sul e Nordeste do Brasil. Eles destacaram que no Sudeste do Brasil houve aumentos sistemáticos na frequência de chuvas intensas, de até quase 58% em 100 anos. Prado et al. (2006) destacaram alguns condicionantes para a ocorrência de eventos extremos, e consideraram que os totais pluviométricos elevados no leste do estado de São Paulo devem-se ao efeito topográfico, enquanto que os da região litorânea possuem contribuição da brisa marítima e da circulação de vale montanha. Carvalho et al. (2002), observaram que em São Paulo, durante a atuação do El Niño, houve aumentos nas ocorrências de eventos extremos de chuvas, considerando que os eventos extremos de chuvas são sensíveis a intensidade da atuação no estado por Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Observa-se que, ainda no Brasil, a maioria dos estudos desenvolvidos sobre eventos extremos de precipitação que resultam episódios de inundações e deslizamentos, foram aplicados às regiões Sul e Sudeste. Por sua vez, pesquisas desenvolvidas sobre eventos extremos de temperatura e precipitação, que resultam em episódios de secas e estiagens foram aplicados, exclusivamente, na região Nordeste. Dentre os pioneiros no estudo de chuvas intensas no Brasil,

não se pode deixar de citar Pfafstetter (1982), que a partir de dados das estações do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), determinou as curvas IDF para 98 localidades do Brasil. Outros pesquisadores, utilizando diferentes metodologias (distribuição de Gumbel, Gumbel-Chow, equação de Ven-Te-Chow, equação de Bell, equação de Chen, Chen Novo, entre outras), também, contribuíram para o avanço dos conhecimentos científicos e pesquisas, como: Occhipinti e Santos (1965), Nero e Magni (1982), Pfafstetter (1982), Martinez e Magni (1999), Cecílio e Pruski (2003), Oliveira et al. (2008), Hernandez (2008), Sansigolo (2008), Fiorio et al. (2012), Tammets e Jaagus (2013), Medeiros (2013), Pereira et al. (2014).

Outros autores tiveram como foco em suas pesquisas, os eventos extremos de precipitação e suas repercussões (impactos) nas áreas urbanas ou regiões mais intensamente ocupadas, principalmente, no estado de São Paulo e Minas Gerais, tais como Paschoal (1981), Silva Dias (1987), Satyamurty et al. (1990), Rocha & Gandu (1996), Gershunov (1998), Pereira Filho (1999), Menardi Junior (2000), Genovez e Zuffo (2000), Salvador (2004), Vicente (2005), Roseguini (2007), Queiroz e Costa (2012), Silveira (2014), Oscar Júnior (2015), entre outros. Outras pesquisas foram desenvolvidas visando à identificação de possíveis tendências climáticas, com objetivo de realizar projeções de cenários, comportamentos e dinâmicas climáticas no futuro, como: Silva (2004), Oliveira et al. (2012), Oliveira et al. (2014), Pereira (2014), Santos et al. (2014), Ferreira et al. (2015); entre outros.

Para Marengo et al. (2007), estudos desenvolvidos nesse contexto podem ajudar na definição de políticas públicas, planejamento ambiental, na implementação de políticas nacionais de avaliação de vulnerabilidade as mudanças de clima, definindo zonas de risco a eventos extremos de tempo e clima, com finalidade de definir critérios de adaptação políticas de mitigação (MARENGO et al., 2007, p. 17.). Costa et al. (2015), também destacam que há crescente necessidade de ampliar conhecimentos sobre a variabilidade espacial e temporal da precipitação, sendo, crucial para planejamento de ações que visem minimizar a escassez hídrica, além, dos demais desastres naturais. Assim, a avaliação de séries temporais é um importante instrumento para, através do comportamento passado, avaliar tendências futuras de recorrência de eventos extremos de precipitação de chuvas e desastres naturais.

2.5.1. Identificação e a Classificação dos Eventos Extremos de Precipitação no Brasil

É importante ressaltar que a identificação de eventos extremos de precipitação positiva, fundamenta-se na determinação de limiares de intensidade de chuvas estabelecidos pela dinâmica climática e meteorológica de cada região, com suas interações e complexidades.

Por fim, na literatura, para se identificar os eventos extremos de precipitação típicos de cada região do Brasil, vários autores analisaram as séries históricas de dados hidrológicos, detectando as tendências abruptas e graduais de precipitações, identificando as condições necessárias para ocorrência de episódios de eventos extremos e correlacionaram os resultados com os dados de históricos de episódios de desastres naturais, onde, puderam-se classificar esses eventos extremos para cada região. Nesse sentido, para dar embasamento à identificação desses eventos extremos de precipitação foram realizadas análises em pesquisas acadêmicas e artigos científicos, para todas as regiões do Brasil, conforme os dados apresentados no Quadro 12, a seguir.

Quadro 12 - Classificação de Eventos Extremos de Precipitação por Região Geográfica.

Fonte	Localização	Classificação de Episódios de Evento Extremo de Precipitação de Chuvas na Literatura
LOUREIRO et al. (2014)	Cidades de Belém, Breves, Cametá, Soure e Tracuateua, Pará, Região Norte.	Série Histórica de Chuvas – Período: Ano de 2009. Eventos extremos considerados: Evento Intenso (25 – 33mm/dia), Evento Muito Intenso (33,1 – 48mm/dia) e Evento Extremamente Intenso (\geq 48mm/dia). Em 23/05/2009 - a estação meteorológica de superfície de Belém registrou precipitação de 48,6 mm em apenas uma hora.
MASCARENHAS JUNIOR; TONGATÉ (2009)	Cidade de Manaus, Amazonas, Região Norte	Série Histórica de Chuvas – Período: 1961-2007. Evento Extremo: o valor que pode ser considerado como extremo de precipitação para Manaus teve variação. Nas décadas de 1960 e 1970, eventos inferiores a 60 mm diários não apresentavam impactos consideráveis. A partir da década de 1980, com a aceleração do processo de ocupação urbana, observa-se uma redução na quantidade diária de chuva necessária para causar transtornos na cidade. De 1980 em diante, o valor que pode ser considerado como extremo de precipitação para Manaus é 50 mm diários.
MEDEIROS; SOUZA; GOMES FILHO (2014)	Cidade de Campina Grande, Paraíba, Região Nordeste	Série Histórica de Chuvas – Período: 1970-2010. Eventos extremos considerados (com valores superiores a 80 mm/dia): 20/03/1972 – 190,8 mm/dia; 10/03/1978 – 105,0 mm/dia; 13/02/1985 – 93,8 mm/dia; 28/03/1991- 97,8 mm/dia e 13/03/2001- 85,4 mm/dia.
MEDEIROS (2013)	Estados de Alagoas e Pernambuco – Região Nordeste	Eventos Extremos ocorridos nos municípios localizados nas bacias dos rios Mundaú e Paraíba, nos anos de 2010, 2011 e 2012. As chuvas máximas diárias de junho de 2010, em Atalaia e Rio Largo foram de 200 mm e 203,5 mm no dia 05 de junho. Em Santana do Mundaú a máxima de 98,1 mm foi registrada no dia 19 de junho, dia em que ocorreram as inundações na bacia. Destacam-se os volumes precipitados nos dias 4 e 5, 17, 18 e 19 de junho de 2010, atingindo valores acima de 200 mm no dia 5. Certamente, as chuvas elevadas dos dias 4 e 5, combinados com outros valores acima de 50 mm nos

		dias 17, 18 e 19 contribuíram para a saturação do solo e para as inundações ocorridas no dia 19 de junho de 2010. O volume acumulado até o dia 17 atingiu valores acima de 300 mm em algumas estações analisadas na região.
LUCENA (2012)	Cidade de Caicó, Rio Grande do Norte, Região Nordeste	Série Histórica das Chuvas de 1996-2010. Eventos extremos considerados: 28/01/98 - 37,8 mm/dia; 14/04/2007 - 50,9 mm/dia; e, 07/04/2009 - 44,2 mm/dia.
SOUZA (2011); SOUZA et al. (2012) SALGUEIRO et al. (2015)	Cidade de Recife, Pernambuco, Região Nordeste (Recife)	Série Histórica das Chuvas de 1961-2008. Eventos extremos considerados: as chuvas diárias acumuladas com intensidade acima do limiar da Chuva Muito Forte, acima de 55,3 mm/dia. Salgueiro (2015) chama a atenção para a possível ocorrência de desastres considerando a intensidade da Chuva Fraca. Dia 05/05/2007, com índice pluviométrico de 7,4 mm/dia observou-se a ocorrência de 20 escorregamentos, após índices acumulados registrados nos últimos 5 dias de 63,9 mm.
BARRETO; STEINKE (2008)	Brasília, Distrito Federal, Região Centro-Oeste	Período de treze meses (fevereiro de 2004 a março de 2005). Foram utilizados dados de 22 estações meteorológicas. Levando em consideração os meses mais chuvosos do período, exatamente fevereiro de 2004 e março de 2005, elegeram valores acima de 30 milímetros diários como extremos e também os acumulados consecutivos.
STEINKE et al. (2006)	Brasília, Distrito Federal, Região Centro-Oeste.	Série Histórica de Chuvas – Período: 01 - 31/10/2006. Eventos Extremos considerados: chuvas fortes entre os dias 7 e 8/10/2006 e que totalizaram 69,7 mm em 24h; dia 23/10/2006 - 84,8 mm/dia; entre o fim da tarde do dia 26 e a madrugada do dia 27/10 - 103,1mm.
ANUNCIÇÃO (2013)	Brasília, Distrito Federal, Região Centro-Oeste	Período: meses de dezembro, janeiro e fevereiro de 1989 a 2006. Evento extremo de verão foi definido como a precipitação diária maior ou igual ao percentil 90, ou seja, 90% dos valores, de toda a série, superiores a 17,5 mm/dia.
MARCHIORO; SILVA (2016)	Cidade de Vila Velha, Espírito Santo, Região Sudeste	Período: meses de outubro a abril (primavera/verão estendida) entre os anos de 2001 a 2011. Eventos Extremos - eventos de longa (8 a 10 dias) e excepcional (mais de 10 dias) duração de ZCAS geraram os maiores volumes médios de chuva, superando 90 mm por episódio. Episódios de média duração (entre 5 a 7 dias), que apresentam chuvas entre 40 e 73mm por episódio, também, ocasionaram desastres de inundação. Eventos Extremos: ZCAS entre os dias 16 a 21/11/2001 - 73 mm/07 dias, ZCAS entre 02/01 a 06/01/2004 - 192,6 mm/05 dias, ZCAS entre 13/11 a 24/11/08 - 405,1 mm/12 dias, ZCAS entre 27/10 a 03/11/2009 - 514 mm/08 dias, 28/02 a 04/03/10 - 128,3 mm/05 dias, ZCAS entre 10/03 a 18/03/11 - 185,8 mm/09 dias.
ROTAVA (2014)	Cidade de São Carlos - São Paulo - Região Sudeste	No período de 1939 a 1996 identificaram 58 eventos extremos com precipitação de chuvas superior a 70 mm/dia no município. A ocorrência de problema de inundação na cidade de São Carlos-SP, está associada aos dias com eventos extremos de precipitação de chuva diária maiores que 70 mm.
MEDEIROS (2013)	Cidade de São Luís do Paraitinga e Cunha - São Paulo - Região Sudeste	Período: foram analisados os eventos críticos de dezembro de 2009 e janeiro de 2010. Eventos Extremos considerados: Dias 4 e 5, 9 e 28 e 29/12 - volumes precipitados em torno de 100 mm/dia, totalizando um volume extremamente elevado para o mês de dezembro. Dia 01/01/2010 - Estação Alto da Serra do Mar, onde choveu 205, 7 mm/dia; Estação Estrada de Cunha - 174,2 mm/dia; Estação Campo de Cunha - 165 mm/dia; Estação Ponte Alta I - 155,3 mm/dia; e Estação de São Luís do Paraitinga, atingindo 66,9 mm/dia.
MEDEIROS (2013)	Região Serrana do Rio de Janeiro - Região Sudeste	Período: Em todas as estações as chuvas foram elevadas nos dias 11 ou 12 de janeiro de 2011, no período das 21h30min da noite do dia 11 de janeiro às 7h00min da manhã do dia 12/01.

		Nova Friburgo: Estação Vargem Alta - 219,2 mm; Estação Vargem Grande - 271,5 mm; Estação Fazenda Mendes - 225,4 mm; e Estação Teodoro de Oliveira - 112,4 mm. Teresópolis: Estação Fazenda Sobradinho - 145,5 mm no dia 12 e 104,3 mm no dia 11, totalizando um volume de 249,8 mm nos dois dias. Petrópolis: as chuvas não foram de magnitude tão elevada, atingindo 60,4 mm e 45,7 mm.
ALERTARIO (2012) ARMOND; SANT'ANNA NETO (2017)	Cidade do Rio de Janeiro - Região Sudeste Município do Rio de Janeiro - Região Sudeste	Segundo o AlertaRio o evento extremo de precipitação para gerar episódios de alagamentos é considerado aquele com intensidade muito forte de chuvas, >50,0 mm/hora ou + 12,5mm/15minutos. Os episódios extremos foram abordados como os dias nos quais os totais de precipitação ocorreram acima de 20mm/24h, mas que tiveram impactos - sobretudo de natureza hidrológica - em diferentes localidades do município.
INEA (2012)	Municípios do Estado do Rio de Janeiro - Região Sudeste	Escorregamentos - monitoramento de acumulados de chuvas para as seguintes situações de alerta aos eventos extremos de precipitação: chuvas maiores que 30 mm em 1 hora; P > 100 mm em 24 horas; P > 115 mm em 96 horas; P > 270 mm em 30 dias.
TAVARES et al. (2004)	Litoral Norte de São Paulo - Região Sudeste	Período de análise dos dados pluviométricos - 1991 a 2000. A maioria dos escorregamentos (141 casos) ocorreu em eventos de chuvas acima de 120 mm acumulados no período de 72 horas (69%), mas também foram consideráveis as ocorrências abaixo de 80 mm (21%) e entre 80 e 120 mm (10%).
CASTRO (2006)	Petrópolis - Ouro Preto, MG - Região Sudeste.	Chuvas acumuladas de cinco dias são as que mais influenciam na desestabilização de encostas. Precipitações de 22mm/5 dias podem desencadear eventos. Acima de 128mm/5dias há maior probabilidade de escorregamentos severos.
MEDEIROS (2013)	Vale do Itajaí - Santa Catarina - Região Sul	Período de 2008 e 2011. As chuvas intensas diárias para os eventos extremos das datas de 23 e 24/11/2008 foram: Município de Blumenau - Estação Blumenau - 243,5 mm (23) e 250,9 mm (24); Estação Itoupava Central - 138 mm (23) e 193,6 mm (24); volumes acumulados em dois dias - 494,4 mm e 331,6 mm. Município de Rio dos Cedros - chuvas foram mais intensas no dia 23 - Estação Timbó Novo - 184,9 mm/dia; Estação Arrozeira - 125,2 mm; e Estação Indaial - 110,3 mm. Município de Brusque - a chuva mais elevada ocorreu no dia 24, com a marca de 109,5 mm/dia.
ZANELLA (2006)	Cidade de Curitiba, Paraná, Região Sul	Caracterizou como eventos extremos de precipitação, episódios de chuvas a partir de 60 mm diários, ou somatório de três dias com valores de no mínimo 60 mm., e verificou que na região, os jornais davam mais exposição aos eventos que causavam mais estragos à vida da população, normalmente com valores acima de 100 mm diários ou na somatória de três dias.

Fonte: Elaborado pela autora.

Contudo, após análises identificou-se que as chuvas máximas diárias históricas de uma localidade podem provocar deslizamentos e inundações, mas, estes também podem ser causados por chuvas acumuladas em períodos superiores a um dia. Assim, quando se estuda somente as máximas diárias, não se tem ideia da magnitude dos eventos acumulados.

2.5.2. Análise Estatística de Eventos Extremos

Série temporal é qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo, tais como, precipitação pluviométrica anual, mensal e diária, valores mensais de temperatura, variabilidade interanual da temperatura, monitoramento de estiagens com usos de índices de secas. Numa Série Temporal são registradas diversas observações e simulações de processos e regimes lineares e não lineares na natureza (WAGNER, 2013, p. 12). A análise de séries temporais é o conjunto de métodos e técnicas matemáticas que permitem tratar estatisticamente estas observações temporais. Alguns dos principais objetivos da análise de séries temporais são identificar e isolar os fatores de influência da série, estabelecer se os dados apresentam algum padrão não-aleatório, indagar o mecanismo gerador da série temporal, fazer previsões de valores futuros da série, localizar os padrões não-aleatórios ou averiguar ausência desses padrões, descrever apenas o comportamento da série, pesquisar intermitências relevantes nos dados. Nesses casos, os padrões não-aleatórios são considerados como um índice de que determinado sistema ou processo está fora de controle, estabilidade ou equilíbrio.

De acordo com Morettin e Tolói (2006), dois enfoques são utilizados na análise de séries temporais. No primeiro, o estudo é feito no domínio temporal e os modelos propostos são paramétricos (parâmetros finitos); já no segundo a análise é realizada no domínio de frequências e os modelos são não-paramétricos (com número infinito de parâmetros) (MORETTIN; TOLOI, 2006). Segundo Morettin e Tolói (2006) as séries temporais podem ser decompostas em quatro componentes básicos: tendência, variações cíclicas, variações sazonais e variações irregulares. Ainda de acordo com Morettin e Tolói (2006), em várias situações uma série temporal pode demonstrar comportamentos que não se encaixam na suposição de um processo linear. Alguns deles podem ser, por exemplo, mudanças repentinas, variância condicional evoluindo no tempo (volatilidade) e irreversibilidade no tempo. Outro conceito relevante e muito utilizado a respeito de uma série temporal é que ela é estacionária, isto é, que se desenvolve no tempo aleatoriamente ao redor de uma média constante, refletindo alguma forma de equilíbrio estável (MORETTIN; TOLOI, 2006). Entretanto, muitos pesquisadores destacam que, a maior parte das séries temporais que encontramos na prática apresenta alguma forma de não estacionariedade, em geral tendências, sendo o caso mais simples aquele em que a série flutua ao redor de uma reta, com inclinação positiva ou negativa (tendência linear).

Nas avaliações dos riscos de eventos climáticos extremos devem ser aplicados métodos para estimar estatisticamente seus períodos de retorno-PR. Neste sentido, pode-se representar a chuvas intensas através de alguma distribuição teórica de probabilidade; onde, os coeficientes das equações intensidade-duração-frequência (IDF) são obtidos com base nas alturas pluviométricas, estimadas pela função teórica de distribuição de probabilidade, para diferentes períodos de retorno. No geral, é preciso identificar entre as diversas funções de distribuição de probabilidades conhecidas, qual é aquela que melhor se ajusta aos dados disponibilizados para análise. Contudo, as funções de distribuição de probabilidade mais comuns no estudo de precipitações intensas são as de: Gumbel, Log-Pearson III, Log-Normal, Pearson III e a de GEV (Generalizada de Eventos Extremos, que engloba as de Gumbel, Fréchet e Weibull) (ALVES et al.,2013). Outras pesquisas já aplicaram esta metodologia de análise, ampliando seus mecanismos de análises de acordo com suas particularidades.

Vários estudos têm abordado as mudanças climáticas, as alterações no comportamento e no padrão de chuvas, em suas análises, definindo vários índices de precipitação. Qiang Zhang et al (2012) desenvolveram uma pesquisa para analisar as mudanças espaço-temporal da estrutura de precipitação na bacia hidrográfica do rio Pearl, na China, usando dados de precipitação diária, do National Climate Center - NCC da China, no período de 1960 a 2005, de 42 estações pluviométricas instaladas no interior da bacia do Rio Pearl. Os resultados indicaram um aumento da intensidade de precipitações, chuvas contínuas de longa duração diminuíram nas últimas décadas e com períodos de chuvas contínuas em períodos mais curtos (ex.: 2 a 5 dias) tendem a ser predominante nas últimas décadas, aumentando a quantidade total de precipitação. Frequências de chuvas em período mais curtos de tempo, com maior valor total de precipitação pode ser esperado na bacia hidrográfica, o que pode facilmente provocar a ocorrência de eventos extremos de enchentes e secas; e chuvas intensas podem, facilmente, ocorrer em períodos chuvosos, com durações mais curtas, intensificando ainda mais as chuvas na bacia do Rio Pearl, em particular, na parte inferior (jusante). Contudo, a redução dos recursos hídricos disponíveis no abastecimento de água à montante da bacia do Rio Pearl, devido à diminuição de chuvas.

Wang e Zhou (2005) investigaram a distribuição espacial dos eventos extremos de chuvas intensas, durante o período de 1961 a 2001, e identificaram que a precipitação média anual aumentou de forma significativa no sudoeste, noroeste e leste da China. Por outro lado, houve uma diminuição significativa no centro, norte e nordeste do país. Desta forma, pesquisas

referentes duração, intensidade, frequência e distribuição estatística das chuvas têm sido de fundamental importância para subsidiar as ações de prevenção, controle e mitigação de eventos extremos em todo mundo.

Fowler e Kilsby (2003) analisaram a frequência regional de chuvas extremas no Reino Unido, no período de 1961 a 2000. Os autores analisaram eventos de chuvas extremas, com intervalos de duração de 1, 2, 5 e 10 dias consecutivos, anualmente, em toda série histórica, dos 204 pontos coletados, em todo o Reino Unido. Em cada uma das nove regiões climáticas definidas foram analisados os padrões de frequência regional de distribuição de chuvas, para elaboração das curvas crescentes de eventos extremos de chuvas de longo período e seus respectivos períodos de retorno. A técnica “bootstrap” foi usada para avaliar o nível de significância das curvas de tendências de crescimento dos eventos de chuvas intensas de longa duração. Os autores identificam que houve mudanças no padrão de chuvas intensas de longa duração em toda série histórica, porém, pouca mudança é observada no padrão de ocorrência de eventos de chuvas intensas com duração de 1 a 2 dias, mas, foram observadas mudanças significativas no padrão de distribuição das chuvas intensas com duração de 5 dias e de 10 dias para toda a série analisada, na maior parte das regiões do Reino Unido.

Oliveira et al. (2011), ajustou a distribuição de precipitações diárias de 136 estações pluviométricas do estado de Mato Grosso, por meio da distribuição de Gumbel, com o método dos momentos para estimação dos parâmetros da função. A aderência foi feita utilizando o teste Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 1%. Para todas as estações a distribuição de Gumbel pelo método dos momentos se mostrou adequada à distribuição empírica. Martins et al. (2011), para estimar a precipitação máxima, usaram modelos probabilísticos de Gumbel, Log-Normal com três parâmetros, Pearson III, Log Pearson Tipo III e GEV. Para estimativa dos parâmetros foi utilizado o método dos momentos-L e o teste de Kolmogorov-Smirnov como teste de aderência. Os resultados obtidos demonstraram a aplicabilidade de todos os modelos teóricos para a estimativa da precipitação máxima em diferentes períodos de retorno.

As funções teóricas de distribuição mais comumente usadas para modelos hidrológicos aplicados para análises de eventos extremos (como precipitações ou vazões máximas ou mínimas) aplicadas em diversas pesquisas são: Distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV), Gumbel, distribuição Pearson tipo III, Normal, Log-normal, Exponencial, Gama, Weibull e a distribuição Generalizada de Pareto (Elsebaie, 2011; Bem-Zvi, 2009; Naghettini e

Pinto, 2007). No Canadá, para estudos de precipitações máximas, a função de Gumbel, com seus parâmetros estimados pelo método dos momentos, é a mais utilizada, desde a década de 1960. Enquanto, que nos Estados Unidos, o Conselho de Recursos Hídricos obriga o uso da distribuição Log-Pearson tipo III (MILLINGTON, et al, 2011).

De todas as distribuições, a de Gumbel é a mais usada, não somente pela sua adequação à series de precipitações máximas, para identificar o período de recorrência de eventos extremos de chuvas intensas, mas também pela simplicidade dos cálculos para estimação de seus parâmetros (Haktanir et al, 2010). Contudo, publicações pertinentes indicam que especialmente durante as últimas décadas, a distribuição GEV é comumente usada para análises de frequências, tanto para séries de picos anuais de enchentes quanto para precipitações máximas anuais (HAKTANIR et al., 2010). Quando da necessidade de extrapolação dos dados amostrais para grandes períodos de retorno, a distribuição GEV ajusta valores mais próximos à realidade (QUADROS et al., 2011).

Shukla et al. (2010) a partir de 51 anos de observações de precipitação máxima em Jharkhand, Índia, estimaram a adesão da distribuição de GEV pelo método da máxima verossimilhança através do teste de Anderson-Darling e também calcularam o tempo de retorno destas precipitações máximas em até 200 anos. Concluíram que este método é confiável. Desde 1967, para estudos de precipitações máximas, o Conselho de Recursos Hídricos dos Estados Unidos obriga o uso da distribuição Log-Pearson tipo III, enquanto no Canadá o uso obrigatório é a função de Gumbel, com seus parâmetros estimados pelo método dos momentos (MILLINGTON et al., 2011).

Alves et al. (2013) utilizou e avaliou a adequação de duas funções de distribuição de probabilidade, funções Gumbel e GEV, com seus parâmetros estimados por três métodos diferentes: métodos dos momentos, da máxima verossimilhança e dos momentos-L aos dados de precipitações máximas anuais da estação climatológica da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT. A avaliação da melhor distribuição foi baseada nos testes de aderência Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov. Como resultados, obteve-se que a função GEV estimada pelo método da máxima verossimilhança foi a que melhor se adequou a série histórica presente.

Silva et al (2013) realizaram um estudo sobre a distribuição de frequência da chuva para região Centro-Sul do Ceará, na região nordeste do Brasil, cujo objetivo era analisar sete distribuições

de probabilidade Exponencial, Gama, Log-normal, Normal, Weibull, Gumbel e Beta para a chuva mensal e anual. Para verificação dos ajustes dos dados às funções densidade de probabilidade foi utilizado o teste não-paramétrico de Kolmogorov-Smirnov com nível de 5% de significância. Para a chuva total anual teve ajuste satisfatório dos dados às distribuições Gama, Gumbel, Normal e Weibull e não ocorreu ajuste às distribuições Exponencial, Log-normal e Beta. Recomenda-se o uso da distribuição Normal para estimar valores de chuva provável anual para a região estudada, por ser um procedimento de fácil aplicação e também pelo bom desempenho nos testes. A distribuição de frequência Gumbel foi a que melhor representou os dados de chuva para o período mensal, com o maior número de ajustes no período chuvoso. No período seco os dados de chuva foram melhores representados pela distribuição Exponencial (SILVA et al., 2013).

Oliveira, et al (2010) realizaram um estudo sobre a “Espacialização e análise das inundações na bacia hidrográfica do rio CAÍ/RS”, cujo objetivos eram espacializar e analisar as inundações na bacia hidrográfica do rio Caí, RS, a partir de dados obtidos por sensoriamento remoto, dados fluviométricos e da aplicação de técnicas de geoprocessamento. Para o cálculo do tempo de retorno das cheias foram utilizadas séries históricas de cota de três estações fluviométricas. A análise dessas séries possibilitou o entendimento da distribuição sazonal das cheias na bacia. Os autores verificaram que mais de 75% dos eventos de grande magnitude na bacia do rio Caí ocorrem entre os meses de junho e outubro. A partir do mapeamento da inundação de 2007, eles observaram que os municípios mais afetados foram Montenegro e São Sebastião do Caí, e que existe uma tendência maior de inundações à margem esquerda do rio Caí, provavelmente em virtude da deflexão que ocorre no médio curso. De modo geral, os modelos de inundação superestimaram as áreas atingidas, mas representaram satisfatoriamente os locais de maior avanço das águas (OLIVEIRA et al, 2010).

III. GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES NO BRASIL: A IMPLEMENTAÇÃO DA POLÍTICA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL

No mundo e no Brasil, com o aumento das ocorrências de desastres naturais, torna-se cada vez mais necessário a construção de um cenário político-institucional que incorpore a gestão de riscos e desastres ao processo de adaptação às mudanças climáticas e ao desenvolvimento sustentável. O ciclo de gestão da defesa civil no Brasil abrange as ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação voltadas à redução de risco e desastres no país.

3.1. Gestão dos Riscos e Desastres Naturais no Brasil

No Brasil, a gestão do desastre pode ser analisada a partir de diferentes processos históricos até a atual organização da Defesa Civil nacional e sua nova política priorizando a proteção frente aos riscos de desastres (SULAIMAN, 2014). Historicamente, a Defesa Civil foi estruturada para atuar frente ao evento, da Segunda Guerra Mundial às calamidades públicas, centrando seus esforços na resposta e na recuperação pós-desastre, como operação técnica e militar. Contudo, na década de 2010, houve mudanças no perfil de ação da defesa civil nacional, que segundo o Decreto nº 7.257, de 04/08/2010, a Defesa Civil é conceituada como “conjunto de ações preventivas, de socorro, assistenciais e recuperativas destinadas a evitar desastres e minimizar seus impactos para a população e restabelecer a normalidade social” (BRASIL, 2010, art. 2º, I; SULAIMAN, 2014).

A década de 1940 é o marco histórico de institucionalização da Defesa Civil no Brasil, que era vinculada às Forças Armadas, e a década de 1960 é o início da responsabilidade frente a desastres naturais (GOBATTO, 1997). Assim, os primeiros estudos sobre a organização institucional para atendimento a catástrofes foram realizados em 1966, no Estado da Guanabara, o qual elaborou o Plano Diretor de Defesa Civil, que organizava o Sistema Estadual de Defesa Civil, instituiu as Coordenadorias Regionais de Defesa Civil no Brasil (Decreto nº 722, de 18/11/66) e criou a Comissão Central de Defesa Civil. Ao longo dos anos 1970, diversos Estados criaram órgãos com a atribuição de desenvolver ações de Defesa Civil (SNDC, 2012). No plano federal, em 1967, o recém-criado Ministério do Interior recebeu a atribuição de assistir as populações atingidas por calamidades públicas em todo território nacional. Em 1969, o Decreto-Lei nº 950, instituiu o Fundo Especial para Calamidades Públicas (FUNCAP), constituído por dotações orçamentárias da União e saldos de créditos extraordinários abertos

para calamidade pública; e também, foi criado o Grupo Especial para Assuntos de Calamidades Públicas – (SNDC, 2012; SULAIMAN, 2014).

Entretanto, com a promulgação da Constituição Federal de 1988, cria-se o Sistema Nacional de Defesa Civil – SINDEC (Decreto nº 97.274/88), que tinha como órgão central a Secretaria Especial de Defesa Civil, vinculada ao Ministério do Interior. O SINDEC, composto por um conjunto de órgãos específicos, setoriais e de apoio, detém como objetivo planejar e promover a defesa permanente contra desastres, naturais ou provocados pelo homem, e atuar em situações de emergência e em estado de calamidade pública (SEDEC/MI, 2007). Como já ressaltado, cabe aos bombeiros militares atuar em situação de emergência e estado de calamidade pública. No Quadro 13 observa-se a estrutura descentralizada do Sistema Nacional de Defesa Civil, que é organizada vertical e hierarquicamente, do nível nacional ao comunitário.

Quadro 13 - Estrutura descentralizada e hierarquizada, do Sistema Nacional de Defesa Civil – SINDEC*.

ÓRGÃOS	SIGLA	ALOCAÇÃO
Conselho Nacional de Defesa Civil	CONDEC	Órgão superior no nível dos Ministérios
Secretaria Especial de Defesa Civil	SEDEC	Ministério de Integração Nacional (MIN)
Coordenadorias Estaduais	CEDEC	Governos Estaduais
Coordenadorias Regionais	REDEC	Ligadas aos Estados
Comissões Municipais	COMDEC	Prefeituras
Núcleos Comunitários	NUDEC**	Órgãos seccionais nos bairros

*A partir da Lei nº 12.608/2012, passa a ser denominado Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINPDEC

** Termo suprimido na Lei nº 12.608/2012, mas referendado como “associações de voluntários” (art. 8º, XV).

Fonte: SULAIMAN, 2014; GOBATTO, 1997.

Em 2005, por meio do Decreto nº 5.376, foi criado o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), coordenado pela Secretaria Nacional de Defesa Civil. Com funcionamento 24/07/2005, tem como objetivo gerenciar ações estratégicas de preparação e resposta à desastres em território nacional. Cabe, ainda, ao CENAD consolidar as informações sobre riscos de desastres no país, possibilitando ao Centro apoiar estados e municípios nas ações preparação para desastres junto às comunidades mais vulneráveis.

O Decreto 7.257/2010 instituiu, no âmbito da União, o Grupo de Apoio a Desastres (GADE), vinculado à Secretaria Nacional de Defesa Civil. O GADE é composto por equipe multidisciplinar mobilizável a qualquer tempo, para atuar em fase de desastre (SNDC, 2012).

Em 2012 o governo federal sancionou a Lei 12.608/12, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC) (BRASIL, 2012). O artigo 1º autoriza a criação de um sistema de informações e monitoramento de desastres no Brasil, cuja base de dados será compartilhada pelas três esferas da Federação, visando ao oferecimento de informações atualizadas para prevenção, mitigação, alerta, resposta e recuperação em situações de desastre em todo o território nacional. A lei destaca que é dever da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios adotar as medidas necessárias à redução dos riscos de desastre (Art. 2º). As medidas previstas poderão ser adotadas com a colaboração de entidades públicas ou privadas e da sociedade em geral.

A PNPDEC contempla uma abordagem sistêmica de ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação voltadas à proteção e defesa civil. Essa política preconiza a sua integração nas políticas de ordenamento territorial, de desenvolvimento urbano, de saúde, de meio ambiente, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, geologia, de ciência e tecnologia, de educação, de infraestrutura e às demais políticas setoriais, tendo em vista a promoção do desenvolvimento sustentável (POZZER, et al., 2014).

Entre os objetivos da PNPDEC (Artigo 5º), vale salientar a redução dos riscos de desastres; a incorporação do risco de desastre e as ações de proteção e defesa civil entre os elementos da gestão territorial e do planejamento das políticas setoriais; o desenvolvimento de cidades resilientes e os processos sustentáveis de urbanização; a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres; o monitoramento dos eventos meteorológicos, hidrológicos, geológicos, biológicos, nucleares, químicos e outros potencialmente causadores de desastres; a produção de alertas antecipados sobre a possibilidade de ocorrência de desastres naturais; o combate à ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis e de risco e a realocação da população residente nessas áreas; e o estímulo às iniciativas que resultem na destinação de moradia em local seguro.

A mais importante inovação da Lei 12.608/2012 foi a distribuição de competências entre os Entes da Federação. Verifica-se que a União tem atribuições relacionadas ao planejamento e

monitoramento em ampla escala, bem como ao reconhecimento do estado de calamidade pública e situação de emergência. Os Estados também têm forte atuação nas ações de planejamento e monitoramento, mas devem apoiar os Municípios, a quem cabe o planejamento urbano preventivo, de modo a evitar as ocupações em áreas de risco, bem como a implantação de ações de prevenção e gestão de situação de risco.

Como exemplo, um dos instrumentos de gestão de risco no nível das cidades é o Plano Municipal de Redução de Riscos – PMRR, que amparado legalmente pelo Estatuto das Cidades (Brasil, 2001), tem por objetivo a construção de referenciais fundamentais para a implantação e desenvolvimento de uma política pública municipal de gestão de riscos em áreas ocupadas ou não. Esse planejamento é importante tanto para o risco já instalado, como futuro ao garantir um registro ao longo do tempo dos eventos naturais que impactam cada cidade. A elaboração dos PMRRs conta com o apoio do Ministério das Cidades que, desde sua criação em 2003, incorporou a gestão de riscos à gestão urbana, como pode-se observar no “Programa Urbanização Fundiária e Integração de Assentamentos Precários” com “Ação de Apoio a Programas Municipais de Redução e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários” (MC,2009).

Segundo Ganem (2012), além das leis específicas relacionadas à proteção e defesa civil, há outras normas relativas ao direito urbanístico, ao direito ambiental e a outras matérias que auxiliam na gestão de desastres, especialmente no planejamento e controle do uso do solo e no desenvolvimento de uma cultura de prevenção (GANEM, 2012).

Em agosto de 2012, o *Plano Nacional de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres Naturais 2012-2014*, foi lançado pelo Poder Executivo, com objetivos de proteger a vida das pessoas, garantir a segurança das comunidades, minimizar os danos decorrentes de desastres e ainda preservar o ambiente por meio de ações de prevenção, mapeamento, monitoramento e alerta e resposta (BRASIL, 2012). O Plano articula ações de diferentes instituições, divididas em quatro eixos temáticos – prevenção, mapeamento, monitoramento e alerta e resposta a desastres (ANA, 2013, p.23):

Eixo Prevenção – A prevenção contempla as obras do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) voltadas à redução do risco de desastres naturais, com destaque para obras de contenção de encostas, drenagem urbana e controle de inundações, construção de sistemas de captação,

distribuição e armazenamento de água potável nas regiões do semiárido para enfrentamento aos efeitos da seca.

Eixo Mapeamento – Prevê o mapeamento de áreas de alto risco de deslizamento, enxurradas e inundações em 821 municípios prioritários. Nesses municípios, serão elaborados planos de intervenção, que identificam a vulnerabilidade das habitações e da infraestrutura dentro dos setores de risco, bem como propõem soluções para os problemas encontrados, além do apoio à elaboração de cartas geotécnicas de aptidão urbana, subsidiando as municipalidades no ordenamento territorial. Contempla, na componente “Risco Hidrológico”, a elaboração do *Atlas de Vulnerabilidade a Inundações*.

Eixo Monitoramento e Alerta – As ações previstas neste eixo têm como objetivo o fortalecimento do Sistema de Monitoramento e Alerta, especialmente por meio da ampliação da rede de observação e da estruturação do CEMADEN e do CENAD. Contempla também a implantação das Salas de Situação Estaduais para monitoramento hidrológico.

Eixo de Resposta a Desastres – Este eixo envolve um conjunto de ações voltadas ao aumento da capacidade de resposta frente à ocorrência de desastres, tais como a criação da Força Nacional de Emergência e a mobilização da Força Nacional de Segurança no apoio aos estados e municípios quando ocorrerem desastres de grande magnitude, visando a acelerar a execução das ações de recuperação e socorro.

No âmbito do Plano o CENAD e o CEMADEN possuem atribuições chave. O CEMADEN reúne e produz informações e sistemas para monitoramento e alerta de ocorrência de desastres naturais em áreas suscetíveis de todo o Brasil, enquanto o CENAD tem por objetivo gerenciar ações estratégicas de preparação e resposta a desastres, conforme ilustra a Figura 12. Nessa estrutura, o CEMADEN envia ao CENAD alertas de possíveis ocorrências de desastres nas áreas de risco mapeadas. O CENAD, por sua vez, transmite os alertas aos estados, aos municípios e a outros órgãos federais e apoia as ações de resposta a desastres.

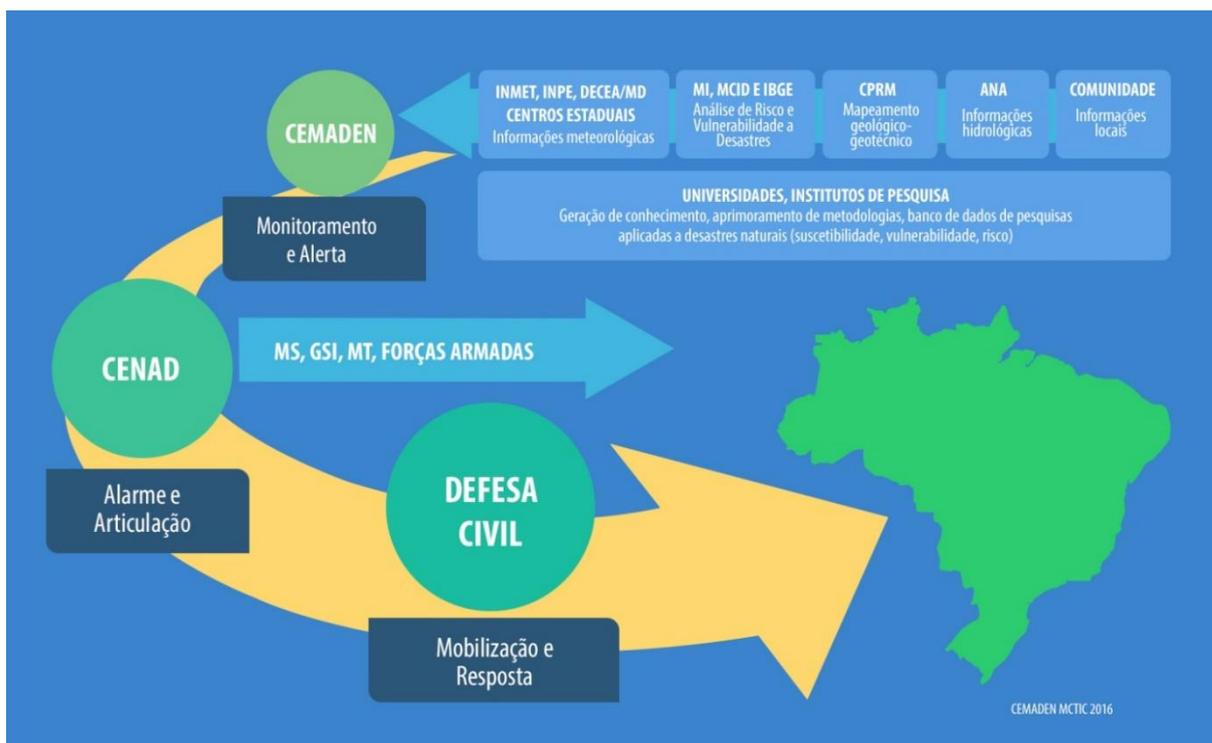


Figura 12 - Ciclo do gerenciamento de riscos e resposta a desastres naturais.
 Fonte: CEMADEN/MCTC, 2016.

Neste arranjo, o CENAD atua em parceria com outros órgãos, como: o Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais - CEMADEN, que opera um sistema de previsão de ocorrência de desastres naturais em todas as áreas de risco do Brasil, identificando as vulnerabilidades no uso e ocupação do solo, entre outras atividades; Secretaria Nacional de Defesa Civil - SEDEC; Defesa Civil Estaduais e Municipais; Serviço Geológico do Brasil - CPRM; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama); Agência Nacional de Águas - ANA; Agência Brasileira de Inteligência - Abin; Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE; Instituto Nacional de Meteorologia - Inmet e o Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia - Censipam.

Para o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres – PNGRD (2012-2014), foram destinados cerca de 18 bilhões de reais (PNGRD, 2012), sendo mais de 80% destinado à prevenção, cerca de 15% para ações de planejamento e resposta às ocorrências, e o restante em monitoramento e alerta (estruturação, integração e manutenção da rede nacional de monitoramento, previsão e alerta e mapeamento de áreas sujeitas a deslizamentos e inundações).

Atualmente os avanços tecnológicos, o intercâmbio de informações e investimentos em novas pesquisas e equipamentos permite a criação de sistemas de monitoramento e alerta capazes de atuar em diversas frentes e utilizando diferentes fontes de dados como: observação hidrometeorológica em tempo real, satélites, radares e modelos numéricos de previsão hidrológica e tempo. Como exemplo, pode-se citar o Sistema de Alerta e Visualização de Áreas de Risco – SALVAR do CEMADEN (SALVAR, 2015); Sistema de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais - SISMADEN, do INPE (SISMADEN, 2015); Sistema Integrado de Informações Sobre Desastres - S2iD do Ministério da Integração (S2iD, 2015); Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo – SAISP (SAISP, 2015); e Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro (AlertaRio, 2015).

Branco (2015) destaca que o CEMADEN/MCTI tem desenvolvido ambientes computacionais para análise de risco e emissão de alertas através da integração de dados de observação, modelos e mapas de risco, estudos de ocupação do espaço urbano, incluindo informações socioeconômicas com inventários multidisciplinares sobre desastres no território nacional e tipificação desses desastres (BRANCO, 2015).

Na esfera federal, o DRM-RJ intensificou sua participação nas reuniões técnicas com a equipe do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), no âmbito do Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada em Riscos de Desastres Naturais (GIDES/JICA) (NADE/DRM-RJ, 2016).

Muitos trabalhos de pesquisas têm sido realizados no sentido de ampliar os conhecimentos acerca dos processos que envolvem a gestão de riscos e desastres naturais. Entre as principais linhas de pesquisa pode-se destacar: o desenvolvimento de sistemas de apoio a tomada de decisão (RAFAELI NETO, 2000; PESSOA; MAGALHÃES, 2008); o desenvolvimento de modelos físicos e estatísticos de monitoramento e previsão de eventos extremos - meteorológicos, hidrológicos e geológicos (ANDRADE, 2006; SCOFIELD, 2013; GOMES, et al. 2008); estudos e implementação de redes de monitoramento de dados hidrometeorológicos e geofísicos para subsidiar sistemas de alertas (ANA, 2013; INMET, 2013; CPRM, 2013); o uso de Sistemas de Informação Geográfica para análise e tratamento de informações geoespaciais como por exemplo o mapeamentos de áreas vulneráveis à desastre naturais (ZAIDAN; FERNANDES, 2009); e o estudo e desenvolvimento de medidas estruturais e não

estruturais a serem aplicadas no sentido de evitar e mitigar os impactos dos desastres naturais (ANDRADE, 2006).

Vale ressaltar a iniciativa de Di Gregorio et al. (2013), que realizaram uma extensa revisão bibliográfica sobre os múltiplos assuntos relacionados à gestão integral de riscos de desastres, e a partir da observação participante dos autores por meio de vivência em situações operacionais e interinstitucionais no cenário de proteção e defesa civil brasileiro, propuseram a criação de um Sistema Informatizado para Gestão Integral de Riscos de Desastres Naturais (SIGRID), cuja proposta é conjugar os principais sistemas nacionais.

3.2. Prevenção e Redução de Desastres Naturais

Nas últimas décadas, com o crescente número de catástrofes naturais e de pessoas afetadas por desastres naturais, também aumentou a preocupação internacional relativa à magnitude e intensidade desses eventos. Durante 10 anos, no entanto, os desastres continuaram a produzir grandes custos e, como resultado, o bem-estar e segurança de pessoas, comunidades e países como um todo foi afetado. Mais de 700 mil pessoas perderam a vida, mais de 1,4 milhão de pessoas ficaram feridas e cerca de 23 milhões ficaram desabrigadas em consequência de desastres. No total, mais de 1,5 bilhões de pessoas foram afetadas por desastres de várias maneiras. Mulheres, crianças e pessoas em situação de vulnerabilidade foram afetadas desproporcionalmente. A perda econômica total foi de mais de US\$ 1,3 trilhões (UN-ISDR, 2015). Dessa forma, houve um crescente reconhecimento por parte dos governos, organizações, instituições financeiras, comunidade científica, sociedade civil, entre outros, de que é necessário reduzir os riscos e construir comunidades e sistemas resilientes (POZZER et al., 2014).

Importantes estratégias foram adotadas desde os anos 90 para combater e reduzir os desastres naturais pelo mundo. Em 1999 foi implementada pela ONU, a Estratégia Internacional para a Redução de Desastres (UN-ISDR – International Strategy Disaster Reduction of United Nations). A redução de risco de desastres (DRR- Disaster Risk Reduction) visa reduzir os danos causados por desastres naturais através de uma ética de prevenção (UN-ISDR, 2009). Este processo de prevenção é realizado através de esforços sistemáticos para: analisar e reduzir os efeitos dos desastres através de redução da exposição aos riscos, diminuindo a vulnerabilidade

de pessoas e habitações, melhorar o gerenciamento territorial e ambiental e, principalmente, preparação para os eventos adversos.

Várias outras estratégias para redução de desastres naturais foram criadas, tais como: estratégia de Yokohama (Japão) para um Mundo mais Seguro e Plano de Ação (1994-2004), criada na I Conferência Mundial sobre Redução de Desastres (ONU, Yokohama, Japão, 1994); a Declaração do Milênio, pela Cúpula de Johannesburg, África do Sul, 2002; e a Declaração de Hyogo e Plano de Ação (2005-2015), criada na II Conferência Mundial sobre a Prevenção de Catástrofes (ONU, Kobe, Japão, 2005), conhecida como Marco de Ação de Hyogo (UN-ISDR, 2005), onde a Assembleia Geral das Nações Unidas obriga todos os Estados Membros a criarem uma Plataforma de Redução do Risco de Catástrofes (TELES, 2011). Vale lembrar da Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável de 2012, "O Futuro que Queremos", onde, foi marcado pelo apelo para que os temas da redução do risco de desastres e o aumento da resiliência a desastres fossem abordados com renovado senso de urgência no contexto do desenvolvimento sustentável e da erradicação da pobreza e para que fossem integrados, conforme adequado, em todos os níveis. Além, do recente Marco de Sendai 2015-2030 e dos instrumentos normativos brasileiros em Educação Ambiental, Mudança Climática, Prevenção de Desastres e Direitos Humanos que preconizam a ação educativa frente à sustentabilidade.

O Marco de Ação de Hyogo tornou-se um importante instrumento de gestão para a implantação efetiva e eficiente da redução de risco de desastre, e ratifica a preparação, prevenção e mitigação como metas fundamentais dos Estados para proteger as comunidades, de maneira a promover uma cultura de segurança baseada na redução das vulnerabilidades, no reconhecimento e conscientização do risco por parte dos agentes públicos e das comunidades (SANTOS, 2011; SORIANO, 2009; POZZER, et al. 2014; MEDEIROS, 2013). Para atingir e concretizar suas proposições, o Plano de Ação define cinco ações prioritárias globais a serem adotadas pelos países (EIRD/ONU, 2007; POZZER, et al., 2014).

Desde a aprovação do Marco de Ação de Hyogo, em 2005, conforme documentado em relatórios de progresso nacionais e regionais sobre a sua execução e em outros relatórios globais, foram obtidos progressos na redução do risco de desastres nos níveis local, nacional, regional e global por países e outras partes interessadas, levando a uma diminuição da

mortalidade no caso de alguns perigos (UN-ISDR, 2015). Diante dessa realidade e para dar continuidade às políticas públicas internacionais em defesa da redução do risco de desastres, tornou-se necessário refletir e, principalmente, de se tomar decisões que contribuíssem para a implementação de um Novo Marco, por meio de novos planos, estratégias e programas, resultantes, após revisões e avaliações realizadas dos resultados implementados do Marco de Hyogo. Assim, o Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015 – 2030 foi aprovado no dia 18 de março pelos representantes de 187 Estados Membros da Organização das Nações Unidas (ONU) que se reuniram para a 3ª Conferência Mundial para a Redução do Risco de Desastres (WCDRR), realizada na cidade de Sendai no Japão, no período de 14 a 18 de março de 2015.

Baseado no Marco de Ação de Hyogo, o atual marco, Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015 – 2030, representa um grande avanço sobre o Marco anterior, pois, tem como meta alcançar o seguinte resultado ao longo dos próximos 15 anos: a redução substancial dos riscos de desastres e perdas de vidas, meios de subsistência e saúde, bem como de ativos econômicos, físicos, sociais, culturais e ambientais das pessoas, empresas, comunidades e países (parágrafo 16). Para tanto, o alcance deste resultado exige forte empenho e envolvimento de lideranças políticas em todos os países, em todos os níveis da implementação e acompanhamento deste quadro e na criação de um ambiente propício adequado.

O novo Marco tem um foco maior na prevenção do risco, houve mudança de foco, com objetivo de reduzir riscos de desastres e não mais perdas por desastres. Outra inovação foi defender a implementação da gestão do risco de desastre em todos os países, centrada nas pessoas (vidas). O Marco estabelece diretrizes principais, propõe sete metas, estabelece uma articulação clara entre as ações à nível nacional, local e regional, e global, destaca as ações de reconstrução e saúde, e define as responsabilidades de todas as partes interessadas, de forma compartilhada. Outra inovação imposta pelo marco foi a inclusão de ameaças de pequena escala, biológicas e tecnológicas (criadas pelo homem) ao escopo do Marco e não somente os eventos catastróficos. As partes interessadas deixam de ser consideradas vítimas e vulneráveis e passam a ser vistas como agentes de mudança com foco no seu empoderamento e inclusão na gestão participativa de redução dos riscos de desastres naturais.

Magnoni Júnior et al. (2016) destacam que para podermos implementar em sua plenitude as metas e as prioridades de ações previstas pelo Marco de Sendai 2015-2030 será urgente, que a

ciência, a tecnologia e a inovação que hoje está concentrada nas mãos de poucos países e sob a vigilância de poucos, seja radicalmente democratizadas a plano das nações e das pessoas, beneficiando principalmente os países pobres que são mais vulneráveis aos desastres naturais (MAGNONI JÚNIOR et al.; 2016, p. 69). Os autores ainda destacam que a promoção de políticas públicas robustas, a difusão, a popularização e a democratização do acesso à educação de qualidade, à ciência, à tecnologia e à inovação é um caminho seguro para a implementação do Marco de Sendai 2015-2030 e garantir a valorização da alteridade humana e a construção de uma sociedade verdadeiramente democrática, participativa e solidária no decorrer do século XXI.

3.3. Base de Dados Históricas de Episódios de Desastres Naturais no Brasil

No século XX, a partir da década de 50, houve um aumento significativo da frequência e da intensidade de desastres naturais em todo o mundo (EM-DAT, 2015). Diante desta problemática, a busca por dados de desastres tornou-se uma das principais prioridades para o desenvolvimento de pesquisas. Marcelino et al. (2006b), destacam a importância de inventariar os novos dados de desastres e a consistência dos já existentes, visto que estão sendo utilizados pelos tomadores de decisão no gerenciamento das medidas de mitigação e prevenção em desastres naturais (MARCELINO, et al., 2006b).

A ONU (Organização das Nações Unidas) utiliza dados globais do banco Emergency Events Database - EM-DAT, que é desenvolvido e administrado pelo Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), da Universidade Católica de Louvain, em Bruxelas (EM-DAT, 2013). Os bancos de dados globais têm como objetivo principal responder às necessidades dos tomadores de decisão na identificação das áreas mais afetadas e vulneráveis aos desastres naturais (PEDUZZI et al., 2005). Além do EM-DAT, existem dois outros bancos de dados globais: o NatCat mantido pelo Munich Reinsurance Company, com sede em Munique, Alemanha, e o Sigma, administrado pelo Swiss Reinsurance Company, com sede em Zurique, Suíça (MARCELINO, et al., 2006b). Ainda, segundo o autor, existem outros bancos de dados, como o mantido pela NASA e Universidade de Dartmouth, EUA, que contém informações exclusivas sobre as maiores inundações do mundo a partir de 1985.

No Brasil, uma das primeiras iniciativas de elaboração de banco de dados de desastres partiu do Grupo de Gestão de Risco de Desastres - GRID, na Universidade Federal do Rio Grande do

Sul, que elaborou uma base de dados denominada GROD-RS, desde o ano de 1982, com acesso restrito a pesquisadores e membros do GRID. Outra iniciativa de criação de Banco de Dados de Desastres Naturais partiu de pesquisadores do Grupo de Estudos de Desastres Naturais – GEDN, da Universidade Federal de Santa Catarina. Um dos importantes produtos resultantes das pesquisas do grupo foi a publicação do “Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina”, utilizando registros históricos de desastres ocorridos no Estado, no período de 1976 a 2003 (MARCELINO et al., 2006; HERRMANN, 2001).

No Brasil, cabe ao Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres - CENAD consolidar as informações sobre riscos no país, tais como mapas de áreas de risco de deslizamentos e inundações, além dos dados relativos à ocorrência de desastres naturais e tecnológicos e os danos associados. O gerenciamento destas informações do banco de dados possibilita ao CENAD apoiar estados e municípios nas ações de prevenção, preparação e mitigação para desastres junto às comunidades mais vulneráveis. A partir de 2012 o CENAD, com o objetivo de melhor gerenciar ações estratégicas de preparação e resposta a desastres em território nacional, criou o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2iD, que concentra, em nível federal, as informações sobre os desastres (CEPED/UFSC, 2011).

IV. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos metodológicos, materiais e técnicas utilizadas na pesquisa. A Figura 13 apresenta o fluxograma de trabalho realizado para atingir os objetivos propostos.

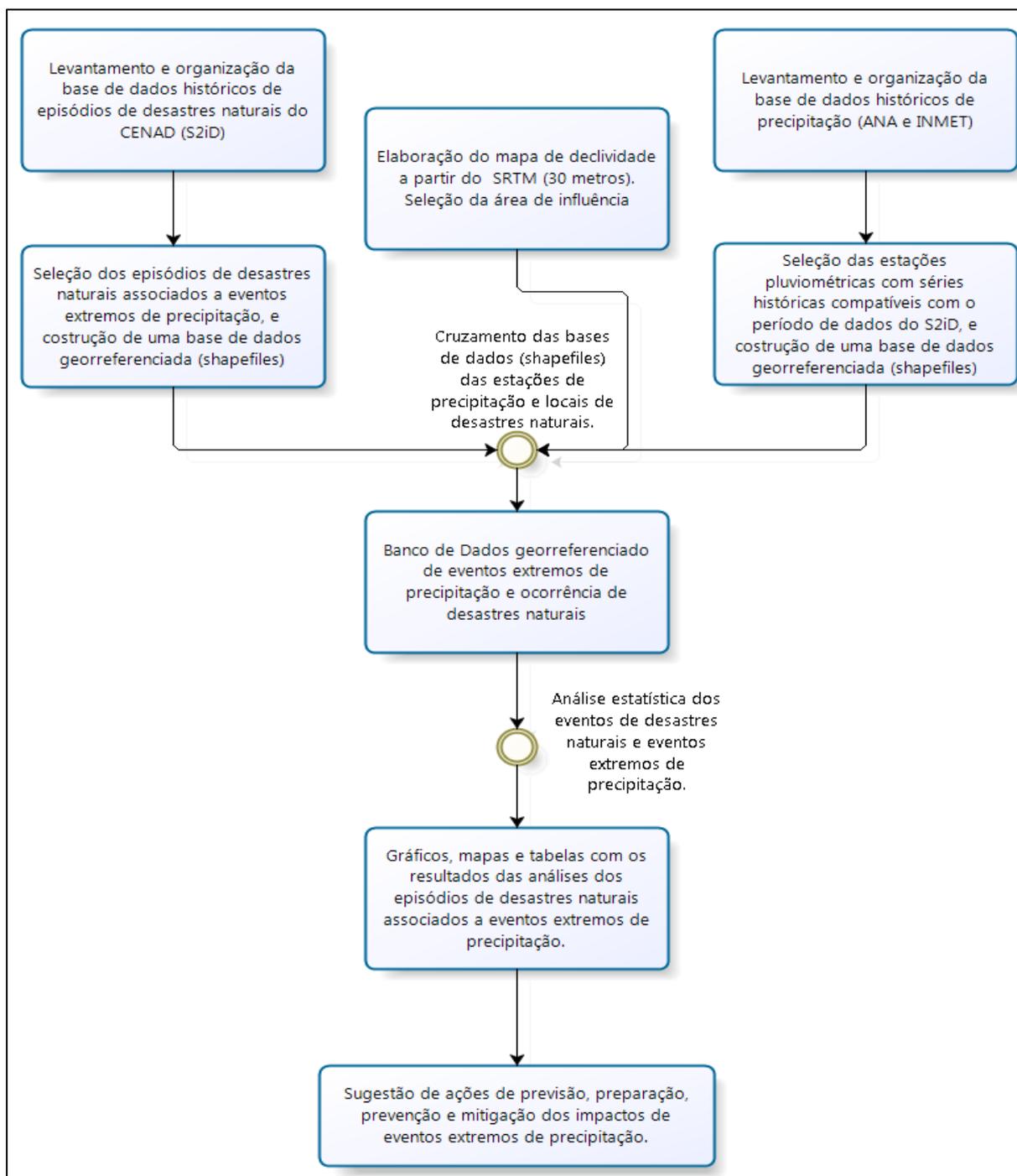


Figura 13- Fluxo dos processos utilizados no desenvolvimento do trabalho. Organizado pelo autor.

Na primeira etapa foram realizadas as definições do tema (objeto de pesquisa), do problema, das justificativas, dos objetivos e da hipótese. Em seguida, foram desenvolvidos a revisão crítica do referencial teórico (fundamentação teórica), a caracterização da área de estudo, a elaboração e definição dos procedimentos metodológicos, e a adequação das técnicas aplicadas na pesquisa.

Na segunda etapa foram desenvolvidos os procedimentos metodológicos descritos na Figura 14, com: a coleta dos dados e constituição da base de dados pluviométricos (escolha das estações), de desastres naturais (S2iD) e topográficos (base cartográfica); a análise de consistência e tratamento dos dados das três bases (falhas e erros); a compilação do Banco de Dados (Sistema Gerenciador de Banco de Dados Relacional – Access) e cruzamento das bases de dados (shapefiles). Na etapa seguinte, foram aplicadas: a elaboração dos scripts e programação software R; a organização e análises das planilhas (Excel); a aplicação da metodologia e análise preliminar dos resultados (validação); a adequação e refinamento da metodologia (técnicas dos quantis e distribuição de frequências); a obtenção dos primeiros resultados e produtos; a descrição e análise crítica dos resultados (gráficos, mapas e tabelas); o desenvolvimento de estudos de casos e representação das variáveis mais importantes. Na quarta etapa, foram realizadas a caracterização e representação dos resultados finais da pesquisa; observação e descrição das limitações do estudo; e apresentação de sugestões/recomendações para futuros trabalhos.

Nas seções que se seguem serão apresentadas, de forma mais detalhada, as diferentes fases desta pesquisa.

4.1. Levantamento das Bases de Dados de Precipitação e Eventos de Desastres Naturais

Nesta etapa foram realizados os processos de levantamento e de organização das bases de dados de registros históricos de desastres naturais e de informações das séries históricas de precipitação.

4.1.1. Base de Episódios de Desastres Naturais

Neste trabalho foi utilizado, como base principal dos eventos de desastres naturais no país, o S2iD. O S2iD é um sistema de informações produzido e desenvolvido no projeto Planejamento Nacional para Gestão de Riscos - PNGR, em uma cooperação técnica entre o Centro

Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED/ UFSC) e a Secretaria Nacional de Defesa Civil. O S2iD consiste de um inventário com os registros dos desastres a partir do reconhecimento federal de Situação de Emergência ou de Estado de Calamidade Pública nos municípios atingidos pelos desastres. O S2iD foi uma iniciativa pioneira da Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC), que visa a qualificar as informações sobre a ocorrência de desastres no território nacional e a dar transparência a essas informações. A Portaria GM/MI nº 526, de 6 de setembro de 2012, tornou obrigatório o uso do sistema, que está sendo implantado de forma gradativa em todo o país. As situações de emergência e estados de calamidade pública, decretados pelos municípios ou estados, que não foram reconhecidos pela União, por meio da publicação de uma portaria, foram descartadas e não foram computadas no S2iD.

É importante ressaltar que, para que as informações no S2iD sejam precisas e confiáveis, a parte mais importante está na ponta do processo, ou seja, os estados e municípios que são os responsáveis pela inserção de dados no sistema. As informações oficiais sobre um desastre são registradas após emissão e recebimento de dois documentos distintos: o Formulário de Notificação Preliminar de Desastre - NOPRED e/ou o Formulário de Avaliação de Danos - AVADAN. Quando não é possível preencher um dos dois documentos, o prefeito municipal deve oficializar a ocorrência de um desastre por meio de um Decreto Municipal. Na sequência ocorre a homologação do Decreto Municipal pela divulgação de uma Portaria no Diário Oficial da União, emitida pelo Secretário Nacional de Defesa Civil ou Ministro da Integração Nacional, tornando pública e reconhecida a situação de emergência ou estado de calamidade pública do município atingido.

Com a criação da Lei Nº 12.340/2010, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil - SINDEC, para o município ou estado receber recursos da união, destinado à execução de ações de reconstrução e atendimento de áreas afetadas por desastres, três documentos deveriam ser encaminhados:

- Decreto declaratório do estado de calamidade pública ou da situação de emergência;
- NOPRED (Notificação Preliminar de Desastre), emitido pelo órgão público competente, onde deverá constar a Codificação de Ameaças e Riscos - CODAR para identificar o tipo de desastre que acometeu a região atingida; e,
- Plano de trabalho, com proposta de ações de reconstrução em áreas atingidas por desastres.

Após a publicação da Instrução Normativa nº 1, de 24/08/2012, o NOPRED e o AVADAN foram substituídos por um único documento, o Formulário de Informações sobre Desastres - FIDE. A Figura 14 mostra o fluxo do processo de informações necessárias para oficialização de registro e reconhecimento de um desastre.

O estudo de séries históricas, além das informações constantes no S2iD, para alguns eventos específicos, os documentos citados acima também foram utilizados no processo de análise visando esclarecer possíveis falhas e erros contidos na base.

A motivação dessa etapa do trabalho se deve a necessidade de levantar informações sobre os diferentes desastres naturais decorrentes de eventos extremos de precipitação como: inundações bruscas e graduais, alagamento, movimentação de massa – deslizamentos planares e corridas de massa, chuvas intensas. O primeiro passo consistiu em determinar quais foram os principais eventos de desastres naturais, por tipologia de desastre, por região, suas datas de ocorrência e localidades. Além de informações referentes a perdas, danos e prejuízos materiais, ambientais, e população afetada em diferentes áreas do país.

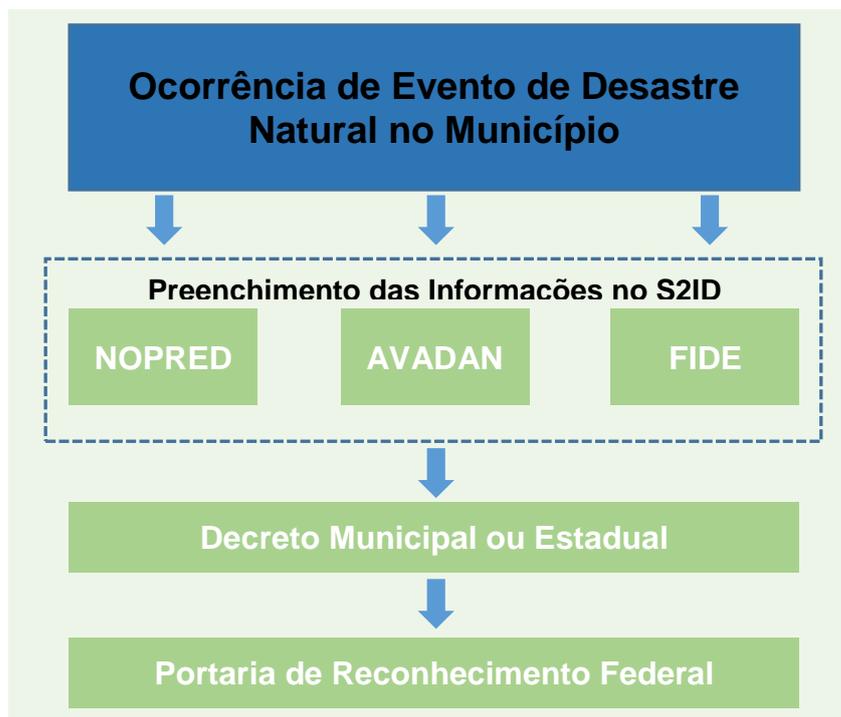


Figura 14 - Fluxo do processo de informações necessárias para oficialização de registro e reconhecimento de um desastre.

Primeiramente foram observados os campos de preenchimento das tabelas disponíveis no S2iD, corrigindo os possíveis erros e incoerências nas informações devido à falta de atenção no

preenchimento, duplicação de informações ou dados erroneamente eliminados. Para tal foram realizadas consultas junto ao Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2iD do CENAD e seus documentos em anexo (52.710 registros de desastres – 4.979 municípios). Nesta etapa foram realizadas as atividades de observação dos documentos - S2iD; consulta e observação das informações nas tabelas disponíveis no banco; e correção dos possíveis erros e incoerências nas informações, como a correção de duplicação de informações ou dados erroneamente eliminados.

4.1.2. Estações Pluviométricas

Na pesquisa foram utilizados dados de precipitação de estações pluviométricas, distribuídas nas diferentes regiões do Brasil, para a realização do cruzamento das variáveis de chuvas e desastres naturais no período em estudo. Tais dados foram utilizados em análises de intensidade, distribuição e frequência de chuvas intensas, e estimativa dos períodos de retorno que poderão resultar em novos episódios dos desastres em estudo. Assim, fez-se necessário levantar e organizar os dados de precipitação disponíveis no país. No Brasil a operação das estações pluviométricas e registros históricos de precipitação são realizados por várias entidades, seja em nível federal, estadual, municipal ou mesmo privado, sendo necessário despender um grande esforço para reunir e compilar tais informações.

A Agência Nacional de Águas – ANA, além de ser responsável por operar uma extensa rede de monitoramento hidrológico reúne e disponibiliza, por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - SNIRH, os dados de precipitação da maioria das instituições de monitoramento hidrometeorológico no país. Atualmente a ANA opera cerca de 2.700 estações pluviométricas, com dados diários (acumulados de 24 horas), das quais cerca de 550 são também estações automáticas e telemétricas, que disponibilizam dados horários de precipitação. Os dados hidrológicos em tempo real também são disponibilizados no SNIRH. Além disso, no SNIRH consta o cadastro de cerca de 9.500 estações pluviométricas operadas por outras entidades, sendo que parte destas estações possuem também os dados disponibilizados no SNIRH. Outra fonte importante de dados é o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, entidade oficialmente responsável pelo monitoramento pluviométrico no país, e cujos dados estão disponíveis a partir do portal web. O Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP/INMET abrange um universo de 291 estações meteorológicas convencionais, referente às medidas diárias. No banco de dados do

INMET estão acessíveis os dados diários de precipitação a partir de 1961, além de outras variáveis meteorológicas. Além do BDMEP o INMET possui cerca de 480 estações, automáticas e telemétricas, com dados horários de precipitação e demais variáveis meteorológicas.

Nesta pesquisa foram utilizados dados de precipitação disponibilizados pela ANA e INMET. Cabe ressaltar que a maioria dos postos utilizados são dotados apenas de pluviômetros convencionais, o que permite apenas a observação de acumulado de precipitação diária. Contudo, cada vez mais vem aumentando o número de postos automáticos (pluviógrafos digitais). Tais postos registram a variação de precipitação ao longo do tempo, em intervalos horários ou menor, que poderão contribuir para uma melhor definição de intensidades de chuva com curta duração em estudos futuros.

4.1.3. Compilação do Banco de Dados

Nesse trabalho optou-se pelo gerenciamento dos registros em Banco de Dados relacional utilizando um Sistema Gerenciador de Banco de Dados Relacional, que representa conjuntos de dados organizados e logicamente coerentes e relacionados. Os dados são armazenados em tabelas, e mantidos por um conjunto de softwares ou único software que controla o armazenamento, recuperação, exclusão, segurança e integridade dos dados em um banco de dados (DATE, 2004; ELMASRI; NAVATHE, 2011, p. 3).

O Sistema Gerenciador de Banco de Dados Relacional utilizado foi o Microsoft Office Access, ou simplesmente Access®, que é um “aplicativo” voltado para a criação e a manipulação de bancos de dados relacionais. De acordo com OLIVEIRA (2005, p. 6), embora o Access tenha algumas limitações, ainda assim ele adequado para tratar uma quantidade razoável dados, porque “atende aos pequenos sistemas e prepara os dados para um futuro *upgrade*”. Ou seja, ele é uma possível solução para a necessidade de organizar dados e ainda é um bom precedente à adoção de sistemas gerenciadores de bancos de dados relacionais mais robustos como por exemplo o SQL Server. A Figura 15 apresenta o modelo Entidade-Relacionamento (MER) utilizado neste trabalho.

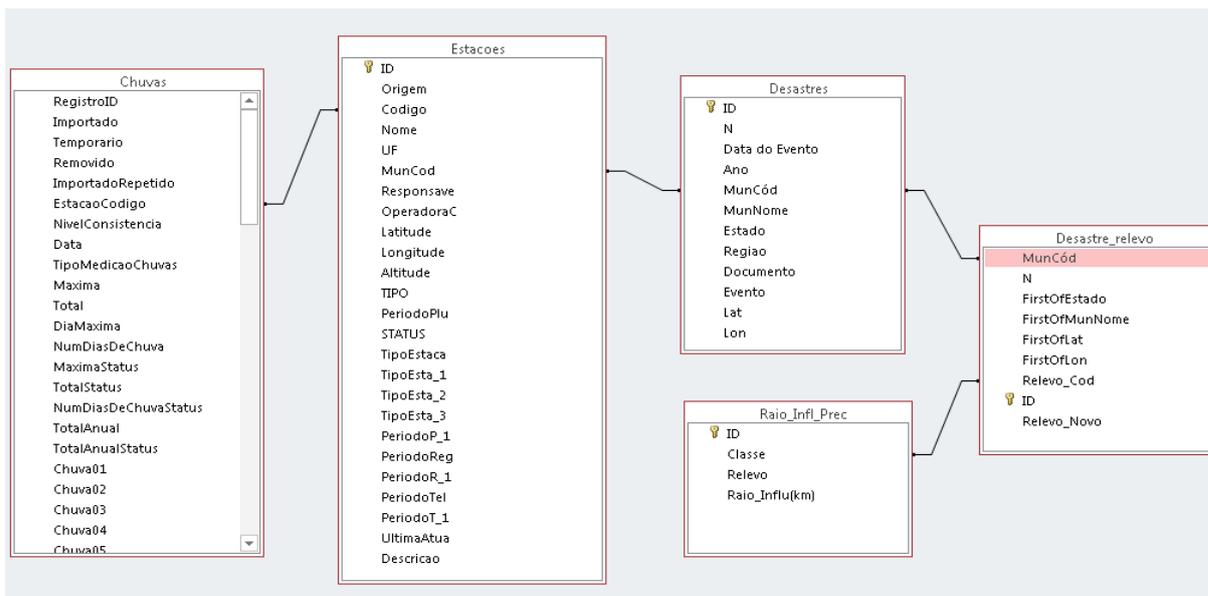


Figura 15 - Modelo-Entidade-Relacionamento (MER) do Banco de Dados utilizado neste trabalho.

Para facilitar a manipulação e análises dos dados utilizados neste trabalho foram desenvolvidos alguns *scripts* computacionais utilizando a linguagem R®. R é uma linguagem de programação de alto nível que possui uma grande variedade de técnicas estatísticas e gráficas (modelagem linear e não linear, teste clássicos de estatísticas, análise de séries temporais, classificação, clusterização, etc.). A linguagem é disponível como software livre sobre os termos da General Public License – GNU, e seu código fonte pode ser compilado na maioria dos sistemas operacionais incluindo Windows que foi utilizado neste trabalho (R-Project, 2016). Ressalta-se que, por ser um software livre, versátil e com uma grande variedade de ferramentas de análise estatística, a linguagem R vem sendo largamente utilizada pela comunidade científica para a execução de trabalhos e estudos envolvendo cálculos estatísticos e análises gráficas de todos os tipos.

Para o desenvolvimento dos *scripts* foi utilizado o ambiente de trabalho RStudio®, que é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) para a linguagem de programação R. O mesmo inclui um console, editor de script, bem como ferramentas para depuração do código, gerenciamento do espaço de trabalho entre outras (RStudio, 2016). Na Figura 16 é apresentado um exemplo de script, em linguagem R, desenvolvido manipulação e análise dos dados utilizados na pesquisa.

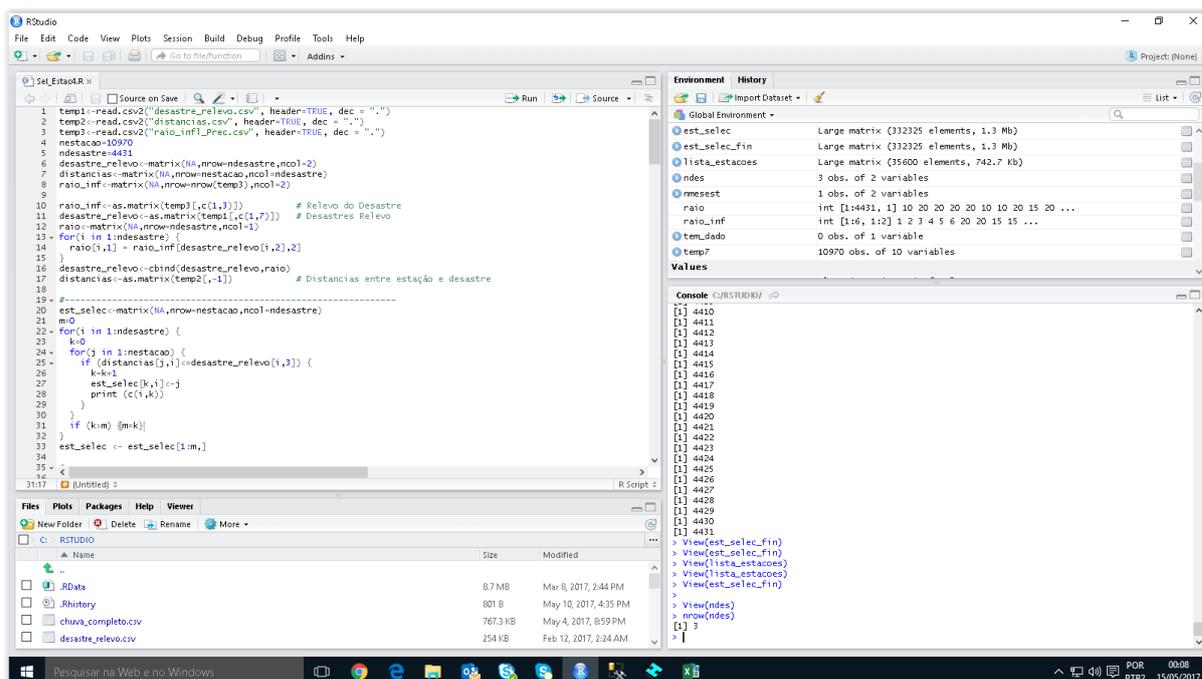


Figura 16 - Exemplo de *script*, em linguagem R, desenvolvido para manipulação e análise dos dados utilizados na pesquisa.

Na etapa de espacialização dos resultados foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica (GIS), ArcGIS® versão 10.3, para compilação de dados geográficos e elaboração de mapas, proporcionando as análises das informações geográficas mapeadas.

4.2. Seleção dos Desastres Naturais Associados a Eventos Extremos de Precipitação

A partir da base de dados S2iD foram selecionados os episódios de desastres naturais, dentre todos disponíveis, que sejam de interesse para este trabalho. Para tal foram aplicados os seguintes critérios:

- Seleção dos municípios que apresentaram, pelo menos, uma ocorrência de desastre natural associado a eventos extremos de precipitação, quais sejam: alagamentos, chuvas intensas, enxurradas, frentes frias/zonas de convergências, inundações bruscas e movimentos de massa (18.725 registros de desastres naturais – 4.431 municípios). Esta seleção inicial teve por intuito definir o conjunto de pontos utilizados no cruzamento espacial com as séries de precipitação, resultando no subconjunto de pontos de interesse da pesquisa. Para efeito de localização dos desastres naturais foram utilizadas as coordenadas geográficas da sede do município, catalogadas pelo IBGE.

- O subconjunto de pontos selecionados foi organizado agrupando as seguintes informações: período do evento; localização e georreferenciamento, categoria, tipo de documento de registro e relevo no local do desastre. O resultado desta análise resultou em planilhas de atributos (14.209 registros de desastres – 3.096 municípios) e *shapefiles* que foram armazenados no banco de dados Access e ArcGis, respectivamente.
- No subconjunto de pontos selecionados foi realizada uma análise visando identificar e reclassificar eventos que tenham sido deflagrados pelo mesmo fenômeno natural, mas que foram registrados como eventos distintos ou independentes na base de dados. Este tipo de situação ocorre, sobretudo, no caso dos registros de inundações e deslizamentos, que geralmente afetam vários municípios.

4.3. Seleção das Estações Pluviométricas

A partir da base de dados compilada do inventário de estações pluviométricas (10.790 estações) foram selecionadas àquelas estações, entre todas disponíveis, que sejam de interesse para este trabalho. Para tal foram aplicados os seguintes critérios:

- Estações que possuam, ao menos, um ano de dado coincidente com o período do banco de desastres naturais (1940-2014). Esta seleção inicial tem por intuito identificar as estações pluviométricas que serão utilizadas no cruzamento espacial com as séries de episódios de desastres naturais, resultado no subconjunto de pontos de interesse da pesquisa.
- O subconjunto de estações foi classificado de acordo com o período de dados disponíveis (inferior a 15 anos, de 15 a 30 anos e superior a 30 anos). Estações que possuam histórico com mais de 30 anos de dados podem ser utilizadas na aplicação de estatísticas mais elaboradas como: cálculo do período de retorno e análise de tendências. Enquanto estações com períodos mais curtos ficam restritas a comparações mais simples e diretas, tais como: máximos e mínimos observados e análise de valores acumulados. Estações que possuem dados disponibilizados em intervalo horário ou inferior podem ser melhor aproveitadas na análise de eventos súbitos de desastres.
- O resultado desta análise gerou planilhas (3.746 estações) com atributos como código e nome da estação, coordenadas, relevo e demais informações cadastrais, e *shapefiles*.

4.4. Cruzamento das Bases de Dados

Nesta etapa foi realizado o cruzamento entre os *shapefiles* de áreas de influência das estações pluviométricas e os locais de ocorrência dos eventos de desastres naturais. Este procedimento tem por objetivo identificar os desastres naturais que estão dentro da área de influência das estações pluviométricas, resultando nos pontos que compõem o conjunto de dados. Os seguintes critérios foram aplicados:

- Para a seleção da área de influência das estações pluviométricas foi utilizado critério similar ao estabelecido na Organização Mundial de Meteorologia – OMM, onde a influência é definida pelo tipo de relevo sendo de 9 e 14 km de raio, respectivamente para áreas de montanhas, planaltos/planícies. Para este trabalho utilizou-se um critério para raio de influência mais detalhado (mais classes de relevo), porém um pouco menos restritivo, conforme mostrado na Tabela 4.
- A aplicação da área de influência é definida com base no mapa de declividade, em graus, para o relevo brasileiro. O mapa foi gerado com o ArcGis® a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 metros) (ver Seção 4.6.2 para maiores detalhes).
- Além da área de influência das estações pluviométricas, também deverá ser verificado a existência de dados de precipitação nas datas de ocorrência dos episódios de desastre naturais, pois muitas estações pluviométricas possuem lacunas nas séries de dados.
- Como produto desta etapa foi gerado uma base de dados georreferenciada (planilhas de atributos e *shapefiles*) de eventos extremos de precipitação associada à ocorrência (datas) de desastres naturais.

Tabela 4 – Raio de influência das estações pluviométricas.

Classe	Declividade (Graus)	Tipo de Relevo	Raio de Influência (km)
1	0 – 3	Plano	20
2	3 – 8	Suave-Ondulado	20
3	8 – 20	Ondulado	15
4	20 - 45	Forte-Ondulado	15
5	45 - 75	Montanhoso	10
6	75 - 90	Escarpado	10

4.5. Análise dos Eventos Extremos de Precipitação

Atualmente existe, na literatura científica, uma grande diversidade de técnicas e métodos estatísticos que podem vir a ser utilizados para identificar àqueles episódios de eventos extremos de precipitação que estejam relacionados à ocorrência de desastres naturais. A seguir serão apresentadas as ferramentas escolhidas para serem utilizadas no desenvolvimento da pesquisa.

4.5.1. Análise das Precipitações Máximas Acumuladas para Diferentes Durações

Para caracterizar o regime de chuvas das regiões do Brasil e, principalmente, entender a intensidade, magnitude e a frequência desses eventos, foram realizadas análises estatísticas dos dados disponíveis das séries de chuvas localizados nos pontos selecionados.

A análise de extremos de precipitação também pode ser feita a partir do cálculo dos valores de chuvas máximas acumuladas em diferentes escalas temporais. Neste trabalho as chuvas diárias foram acumuladas para diferentes períodos de duração (1, 2, 3,4,5, 10, 15 e 30 dias), obtendo dessa maneira a série das máximas acumuladas por ano em cada uma das estações analisadas. Este procedimento visa tentar compreender o processo de chuvas contínuas e graduais não explicados com as séries das chuvas máximas de um dia de duração. Assim, os resultados do cruzamento dessas informações com as bases de dados de ocorrência de desastres naturais, que ocorrem gradativamente como deslizamentos por acúmulo e saturação do solo, podem auxiliar na identificação de condicionantes para a evolução de novos episódios desses desastres, em algumas localidades do Brasil.

Em alguns casos, a falta de registros de desastres naturais em área de abrangência de eventos de precipitação extremamente elevados, foi suprida a partir do levantamento de informações em fontes secundárias como jornais, ocorrências não divulgadas pela Defesa Civil, registros de atendimentos do Corpo de Bombeiro Municipal, entre outros.

4.5.1.1. Aplicação da técnica dos quantis

Compreender semanticamente as técnicas de quantificação é importante para saber executar e interpretar os resultados oriundos da análise espacial de dados geográficos aqui implementada.

A técnica dos quantis é uma das formas mais utilizadas para se classificar a distribuição de um total pluviométrico diário. De acordo com Xavier e Xavier (1987), este método envolve o princípio de relativização estatística, no sentido de se procurar interpretar de forma adequada o verdadeiro significado de um total pluviométrico. A técnica dos quantis foi proposta por Pinkayan em 1966 para avaliar a ocorrência de anos secos ou chuvosos sobre extensas áreas dos Estados Unidos. No trabalho proposto por Pinkayan (1966) os quantis utilizados referiam-se aos seguintes valores de quantis q : 0.15; 0.35; 0.65 e 0.85, cuja finalidade era permitir delimitar às ordens quantílicas, níveis ou faixas, para classificar os anos da série histórica em: muito seco, seco, normal, chuvoso e muito chuvoso. Xavier e Xavier (1999) utilizaram a mesma classificação e técnica dos Quantis para caracterizar os períodos secos ou excessivamente chuvosos no estado do Ceará.

Para a realização deste estudo optou-se por utilizar as faixas de probabilidade (quantis q), relacionadas às classes de precipitação utilizadas no trabalho de Souza (2011) para estudos de precipitação em Recife-PE (Tabela 5), com a inclusão de uma nova classe para eventos extremos de precipitação ($q = 0.99$). Para determinação dos quantis foi utilizado o software R e os dados diários de precipitação das estações selecionadas. Os quantis foram calculados utilizando as probabilidades de 5%, 25%, 50%, 75%, 95% e 99% definidas por classes. Com estas informações foi possível definir e classificar limiares apropriados das chuvas diárias para as diferentes regiões do Brasil.

Segundo Xavier e Xavier (2011), a técnica dos quantis incide em ser isenta a eventual assimetria da função densidade de probabilidades descrevendo o fenômeno aleatório, como a precipitação em questão. Silva (2018) destaca que Monteiro et al. (2012) concluíram que o uso da técnica dos quantis contribui para o planejamento regional e urbano sendo possível fornecer subsídio para projetos de pesquisa. Tais resultados podem indicar um possível sinal de alerta para a região estudada, tanto para a presumível ocorrência de uma estiagem severa, como para uma provável inundação. Silva (2018), também, aplicou a técnica dos quantis para classificar as áreas de precipitação pluviométrica homogêneas nas regiões do Cerrado. O autor ressalta que o processo de análise dos quantis se deu pela classificação das chuvas em cinco intervalos de acumulação anual/mensal, onde foi realizado o tratamento estatístico, a validação dos dados e a geração de frequências (absolutas e relativas) anuais e mensais para cada categoria, e em cada área homogênea (SILVA, 2018).

Tabela 5 - Classificação da precipitação diária segundo as faixas de probabilidade relacionadas às ordens quantílicas.

Faixas de Probabilidade	Classes de Precipitação Diária Acumulada
$P = 0$	Sem Chuva (SC)
$0 < P < Q_{0,05}$	Dia Seco (DS)
$Q_{0,05} \leq P < Q_{0,25}$	Chuva Muito Fraca (Cmf)
$Q_{0,25} \leq P < Q_{0,50}$	Chuva Fraca (Cf)
$Q_{0,50} \leq P < Q_{0,75}$	Chuva Moderada (CM)
$Q_{0,75} \leq P < Q_{0,95}$	Chuva Forte (CF)
$Q_{0,95} \leq P < Q_{0,99}$	Chuva Muito Forte (CMF)
$P \geq Q_{0,99}$	Extremo (E)

4.5.2. Análise das distribuições de frequências e períodos de retorno ou recorrência

As variáveis que caracterizam as chuvas intensas são a duração, a intensidade e a frequência de ocorrência, também conhecida como período de retorno. Nas avaliações dos riscos de eventos climáticos extremos devem ser aplicados métodos para estimar estatisticamente seus períodos de retorno a partir dos dados medidos e coletados (GUIMARÃES, 2011). Neste sentido, pode-se representar a chuvas intensas através de alguma distribuição teórica de probabilidade, onde os coeficientes das equações intensidade-duração-frequência (IDF) são obtidos com base nas alturas pluviométricas, estimadas pela função teórica de distribuição de probabilidade, para diferentes períodos de retorno.

O método estatístico para determinação de valores máximos de variáveis hidrológicas é denominado “Análise de Frequência”. O primeiro objetivo da análise de frequência é relacionar a magnitude de eventos extremos com suas frequências de ocorrência, através do uso das distribuições de probabilidade.

A análise de frequência de dados hidrológicos ou método estatístico envolve, basicamente, as seguintes etapas: seleção da série de dados de precipitações máximas anuais (amostra), que deve satisfazer os critérios estatísticos de aleatoriedade, independência, homogeneidade e estacionariedade, além de ter sido objeto de verificações de valores atípicos (*outliers*); propor uma ou algumas distribuições teóricas de probabilidade; realizar a estimativa de seus respectivos parâmetros e ajustar a melhor distribuição probabilística teórica aos dados

utilizando as técnicas disponíveis e; utilização da distribuição ajustada para inferir comportamentos referente à população, como por exemplo o período de retorno.

Período de retorno ou intervalo de recorrência de um evento extremo é o período de tempo médio, em anos, em que um determinado evento hidrológico é igualado ou superado pelo menos uma vez (GALLO, 2007). Para Naghettini e Pinto (2007) e Salas e Obeysekera (2014) o período de retorno, também denominado por tempo de retorno, está associado à probabilidade anual de excedência. Podendo ser definido como o inverso da probabilidade de excedência, sendo expresso por meio da equação

$$T(x_T) = \frac{1}{P(X > x_T)} = \frac{1}{1 - F_X(x_T)} \quad , (02)$$

em que $F_X(X_T)$ é probabilidade de não excedência.

Há uma grande variedade de funções teóricas de distribuição aplicados em análises de eventos extremos hidrológicos (como precipitações ou vazões máximas ou mínimas), entre as quais pode-se destacar: Gumbel, Log-Pearson III, Log-Normal, Normal, Exponencial, Weibull, Fréchet, Distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV), que engloba as de Gumbel, Fréchet e Weibull), e a distribuição Generalizada de Pareto (ELSEBAIE, 2011; BEM-ZVI, 2009; NAGHETTINI, PINTO, 2007; ALVES et. al., 2013). No geral é preciso identificar, entre as diversas funções de distribuição de probabilidades conhecidas, aquela que melhor se ajusta aos dados disponibilizados para análise.

Para estudos de precipitações máximas tem sido bastante utilizado as funções de distribuição de Gumbel, GEV e LogPearson III. De todas as distribuições, a de Gumbel é a mais usada, não somente pela sua adequação às séries de precipitações máximas, para identificar o período de recorrência de eventos extremos de chuvas intensas, mas também pela simplicidade dos cálculos para estimação de seus parâmetros (HAKTANIR et al, 2010). Ainda segundo Haktanir et al (2010), nas últimas duas décadas, a distribuição GEV vem sendo a mais utilizada para análises de frequências, tanto para séries de picos anuais de enchentes quanto para precipitações máximas anuais. Já a distribuição Log-Pearson tipo III é mais utilizada nos Estados Unidos, onde o Conselho de Recursos Hídricos recomenda seu uso em projetos hidrológicos (MILLINGTON et al, 2011). No Brasil é mais comum a utilização da função Gumbel, com ajustes dos dados às funções densidade de probabilidade utilizando o teste não-paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (OLIVEIRA et. al., 2011; SILVA et. al., 2013).

Para esta etapa da pesquisa foram utilizadas as distribuições de probabilidade Log-Pearson Tipo III, Gumbel e Generalizada de Valores Extremos (GEV). Após a aplicação das distribuições de probabilidade, suas respectivas aderências foram testadas utilizando os testes Kolmogorov-Smirnov (KS), Anderson-Darling (AD) e Cramér-von Mises (CVM).

A função GEV possui três parâmetros a serem estimados, quais sejam: forma, escala e posição. O parâmetro de forma representa onde a maioria dos dados está concentrada. O parâmetro de escala descreve quão espalhado a distribuição é; na medida em que o valor do parâmetro cresce, a função se torna mais espalhada. O parâmetro de posição descreve a posição da distribuição em uma dada direção do eixo horizontal (Millington et al, 2011). A Equação 3 descreve a função de probabilidades acumuladas FAP da distribuição GEV.

$$F_y(y) = \exp \left\{ - \left[1 - k \left(\frac{y-\beta}{\alpha} \right) \right]^{1/K} \right\} \quad (03)$$

onde:

$F_y(y)$ = probabilidade acumulada de ocorrência de um evento y ;
 k, α, β , = parâmetros de forma, escala e posição respectivamente.

A distribuição de Gumbel, conhecida também como função de valores extremos do Tipo I, possui apenas dois parâmetros (posição e de escala) e pode ser obtida a partir da função GEV quando k é igual a zero. A Equação 4 descreve a função de probabilidades acumuladas FAP da distribuição Gumbel.

$$F_y(y) = \exp \left[- \exp \left(- \frac{y-\beta}{\alpha} \right) \right] \quad (04)$$

onde:

$F_y(y)$ = probabilidade acumulada de ocorrência de um evento y ;
 α, β = parâmetros de escala e posição respectivamente.

A distribuição Log-Pearson Tipo III, também conhecida como função Gamma de 3 parâmetros, é assim denominada por descrever variáveis (ou seu logaritmo) cuja distribuição se comportam como uma função Gamma. A função densidade da distribuição Log-Pearson Tipo III (LPIII) possui uma grande variedade de formas. Para a análise de frequência de eventos hidrológicos máximos, somente as distribuições Log-Pearson Tipo III, com valores de β maiores do que 1 e valores de $\frac{1}{\alpha}$ maiores do que zero, são de interesse. Isso decorre do fato que valores negativos

do coeficiente de assimetria implicam em $\alpha < 0$ e, por conseguinte, em um limite superior para a variável aleatória. A FAP da distribuição Log-Pearson Tipo III é dada por

$$F_x(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \int_0^x \frac{1}{x} \left(\frac{\ln(x)-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{\ln(x)-\gamma}{\alpha}\right) dx, \quad (05)$$

onde se $y = [\ln(x)-\gamma]$ a FAP Log-Pearson Tipo III torna-se:

$$F_Y(y) = \frac{1}{\Gamma(\beta)} \int_0^y (y)^{\beta-1} \exp(-y) dy. \quad (06)$$

onde:

$F_Y(y)$ = probabilidade acumulada de ocorrência de um evento y ;
 α, β, γ = parâmetros de escala, forma, e posição respectivamente.

Conforme menção anterior, uma vez escolhida a distribuição a ser ajustada aos dados amostrais, seus parâmetros devem ser estimados por algum procedimento de otimização. Há uma variedade de métodos de estimação de parâmetros, entre os quais destacam-se: os métodos dos momentos (MOM), de máxima verossimilhança (MVS) e dos momentos-L (MML). Para este trabalho foi escolhido o Método da Máxima verossimilhança (MVS) por ser considerado o método de estimação mais eficiente porque produz os estimadores de menor variância. De um ponto de vista estatístico, maximizar a função de verossimilhança determina os parâmetros que têm maior probabilidade de produzir os dados observados. Entretanto, para alguns casos, a maior eficiência do método MVS é apenas assintótica, o que faz com que sua aplicação a amostras de pequeno tamanho produza estimadores de qualidade comparável ou inferior a outros métodos. O método MVS exige um maior esforço computacional, pelo fato de envolver soluções numéricas de sistemas de equações, frequentemente, não lineares e implícitas, contudo atualmente este não é um grande problema devido à grande capacidade computacional.

Para verificar qual das distribuições possui maior aderência às estimativas das funções de distribuições de probabilidade utilizadas, foram aplicados alguns testes de aderência. Os testes de aderência são utilizados para verificar se, e quanto, as distribuições de probabilidades testadas (distribuições em hipótese) se ajustam de forma correta ou não ao conjunto de dados (amostra finita) em análise. Assim, compara-se as frequências amostrais com as frequências teóricas esperadas pelo modelo probabilístico que se está julgando válido para descrever os dados observados (Naghetini e Pinto, 2007). A estatística dos testes de aderência é calculada pela maior diferença absoluta dada entre as frequências teórica e empírica, isto é:

$$D_{m\acute{a}x} = |F(x)_{emp\acute{r}ica} - F(x)_{te\acute{o}rica}| \quad (07)$$

A diferena D_{max} é comparada com o valor crítico $D_{crítico}$ para um determinado nível de significância. Sempre que o valor D_{max} é inferior ao valor $D_{crítico}$ aceita-se a hipótese de que a frequência dos valores observados segue a distribuo teórica. Desta forma, todos os testes de aderência testam a hipótese de determinada distribuo empírica pertencer ou não é determinada distribuo teórica.

Para este trabalho foram utilizados os testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS), Anderson-Darling (AD) e Cramér-von Mises (CVM). Estes testes são normalmente recomendados para estudos de extremos hidrológicos (Naghetini e Pinto, 2007). Os testes foram comparados a um nível de 5% de significância.

Em resumo, para cada estao foi realizada os seguintes procedimentos: análise de consistência dos dados; a identificao e a construo das séries de chuvas máximas anuais; a aplicao de testes de verificao da presena de “*outliers*” e tratamento dos mesmos caso existam; ajuste das distribues probabilísticas e determinao dos seus respectivos parâmetros; realizao de testes de aderência; e análise gráfica. Assim, foi selecionada a distribuo que melhor se ajusta  série de dados disponível e determinado os valores extremos de chuva associados aos períodos de retorno dos eventos, juntamente com seus respectivos intervalos de confiana. Após análise e comparao foi realizado o cruzamento dos resultados obtidos com os eventos ocorridos de desastres naturais dentro das áreas de influências pesquisadas, identificando separadamente o grau de susceptibilidade  desastres naturais, por ocorrência de eventos extremos de precipitao de chuvas. Com base nos resultados obtidos com os processos descritos acima, pode-se descobrir os limiares de acumulado de chuva que desencadearam os eventos de desastres naturais em algumas localidades do Brasil.

A estimao dos parâmetros das funoes de distribuo, aplicao dos testes de aderência e plotagem dos resultados foram realizadas com o programa R® com auxílio dos pacotes estatísticos FAdist e Fitdistrplus. A Figura 17 apresenta um organograma da metodologia utilizada no processo de análise de distribuo de frequência utilizada nesta etapa do trabalho.

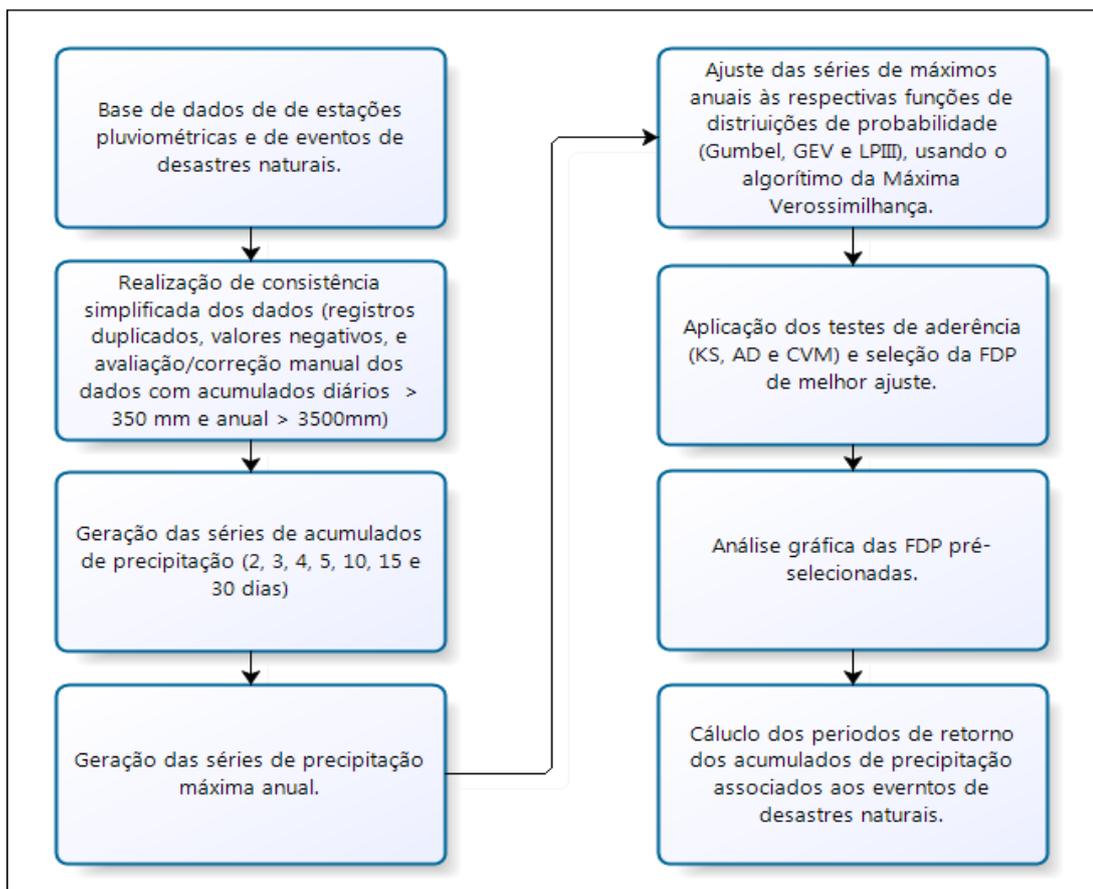


Figura 17 - Organograma da metodologia utilizada no processo de análise de distribuição de frequência utilizada neste trabalho.

4.5.3. Análises dos Efeitos da Topografia na Distribuição de Desastres Naturais pelo Brasil

Nessa etapa foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 metros), com preenchimento de vazios. O mapa de todo território brasileiro foi construído, no ArcGis, a partir do mosaico de 100 imagens, no formato GeoTIFF, baixadas do site da U.S. Geological Survey's Earth Resources Observation and Science Center (EROS) da USGS (EarthExplorer, 2016).

Os dados de elevação foram obtidos a partir da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global. A missão da SRTM foi realizada pelo ônibus espacial Endeavour, de 11 a 22 de fevereiro de 2000 em um projeto conjunto entre a National Imagery and Mapping Agency (NIMA) e a National Aeronautics and Space Administration (NASA), com objetivo de produzir dados topográficos digitais para todas as áreas terrestres entre 60°N e 56°S, com pontos de dados localizados a cada 1 segundo (aproximadamente 30 metros) em uma grade de

latitude/longitude. A precisão vertical absoluta dos dados de elevação é de 16 metros com 90% de confiança. A missão SRTM utilizou uma técnica chamada interferometria de radar, onde duas imagens de radar são obtidas de locais ligeiramente diferentes. As diferenças entre essas imagens permitem o cálculo da elevação da superfície ou mudança (USGS, 2017).

V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os principais resultados obtidos ao longo do trabalho de pesquisa.

5.1. Análise e Caracterização dos Dados de Desastres Naturais no Brasil.

Conforme descrito na Seção 4.1.1 os dados oficiais de ocorrência de desastres foram obtidos no S2iD. O levantamento temporal dos desastres naturais compreendeu todo o período disponível na base S2iD até o início do trabalho (1943 a 2014). As informações fazem menção ao tipo de desastre natural e a data e local dos eventos, permitindo estabelecer uma caracterização espacial das áreas onde os desastres naturais, por tipo, são mais recorrentes no Brasil. Foram utilizados o MS-Excel® e o MS-Access® na compilação dos dados e informações, e o software ArcGIS® 10.3 para estruturar o banco de dados georreferenciados que serviu de base para a geração dos mapas apresentados neste trabalho. No total foram catalogadas 52.710 ocorrências de desastres no Brasil, atingindo 4.979 municípios. A Tabela 6 apresenta um resumo das diferentes tipologias de desastres naturais contidas no banco de dados S2iD.

Considerando os objetivos deste trabalho aplicou-se um filtro na base de dados de desastres visando selecionar apenas aqueles diretamente relacionados a eventos extremos de precipitação positiva, quais sejam: alagamentos, enxurradas, inundações, chuvas intensas, frentes frias/zonas de convergência e movimentos de massa. Desta forma foram selecionados 18.725 registros de desastres naturais (Tabela 7) distribuídos por todo Brasil. As enxurradas e inundações são responsáveis, respectivamente, pela ocorrência de 10.247 e 6.584 episódios de desastres naturais.

Na região Norte a maior frequência de registros concentra-se no estado do Pará, com o maior número de ocorrências registradas nos municípios de Alenquer, Altamira, Óbidos, Parauapebas e Almeirim.

No Nordeste, o estado da Bahia apresentou 1.171 registros de desastres naturais, sendo Salvador o município que registrou o maior número de casos. Os estados do Maranhão, Pernambuco e Paraíba também apresentaram índices elevados de registros. Lembrando que estes números abrangem somente os eventos associados a extremos de precipitação positiva, e não incluem os episódios de secas e estiagem.

Tabela 6 - Tipologias de desastres naturais contidas no banco de dados S2iD até o ano de 2014.

TIPOLOGIA DO EVENTO	QTDE	%
Estiagem	21.992	41,72
Enxurradas	10.247	19,44
Inundações	6.584	12,49
Tempestades	5.546	10,52
Seca	5.103	9,68
Alagamentos	661	1,25
Deslizamentos	627	1,19
Erosão	411	0,78
Incêndio Florestal	307	0,58
Colapso de edificações	234	0,44
Incêndios Urbanos	195	0,37
Onda de Frio	119	0,23
Tremor de terra	115	0,22
Ciclones	112	0,21
Transporte passageiros e cargas não perigosas	109	0,21
Doenças infecciosas	106	0,20
Transporte de produtos perigosos	70	0,13
Frentes Frias/Zonas de Convergência	31	0,06
Liberação de produtos químicos nos sistemas de água potável	31	0,06
Corridas de Massa	23	0,04
Rompimento/colapso de barragens	20	0,04
Infestações	18	0,03
Quedas, Tombamentos e rolamentos	15	0,03
Derramamento de produtos químicos	12	0,02
Subsídências e colapsos	11	0,02
Outros	11	0,02
TOTAL	52.710	100,00

Fonte: Banco de Dados S2iD. Processado pela autora.

Tabela 7 - Registros de Desastres Naturais por Estado e Região no período de 1943 a 2014.

Quantidade total de Registros por Estado no período de 1940 à 2014.									
UF	Registros	UF	Registros	UF	Registros	UF	Registros	UF	Registros
AC	53	AL	230	DF	3	ES	701	PR	1687
AM	436	BA	1171	GO	139	MG	2648	RS	2153
AP	23	CE	360	MS	291	RJ	458	SC	3433
PA	534	MA	484	MT	645	SP	1175	Sul	7273
RO	130	PB	444	Centro-Oeste	1078	Sudeste	4982		
RR	37	PE	560						
TO	135	PI	356						
Norte	1348	RN	320					Brasil:	18725 Registros
		SE	119						
		Nordeste	4044						

Fonte: Banco de Dados S2iD. Elaborado pela autora.

O Centro-Oeste é a região com menor frequência de registros, concentrando-se principalmente no estado do Mato Grosso (645 registros) onde os municípios de Cuiabá, São Félix do Araguaia, Juara, Colniza, Apiacás, Nova Canaã do Norte e Nova Bandeirantes são os mais afetados. No Mato Grosso do Sul os municípios que apresentaram maiores ocorrências de desastres foram Porto Murtinho e Campo Grande. O Distrito Federal foi a área que apresentou menor número de registros, com apenas 03 casos informados.

Na região Sudeste o estado de Minas Gerais registrou 2.648 casos, sendo mais frequentes nos municípios de Ibirité, Contagem, Congonhas, Ponte Nova, Belo Horizonte, Governador Valadares e Muriaé. No Espírito Santo os municípios que obtiveram maior número de registros foram: Cachoeiro de Itapemirim, Viana, Guaçuí, Itapemirim, Colatina, Bom Jesus do Norte, Marechal Floriano, Santa Leopoldina, Vila Velha, Alegre, Linhares, Nova Venécia, Mimoso do Sul e Serra. No estado do Rio de Janeiro os municípios de Angra dos Reis, Petrópolis, Rio de Janeiro e Teresópolis foram os que tiveram o maior número de ocorrências. No estado de São Paulo foram os municípios de São Paulo e Santo André aqueles que registraram a maior frequência de eventos no banco de dados do S2iD.

Na região Sul as maiores frequências de desastres registrados abrangem o sudoeste do Rio Grande do Sul e, praticamente, toda a extensão territorial de Santa Catarina. No Paraná os municípios de Curitiba, União da Vitória, Umuarama, Rio Negro, Querência do Norte, Francisco Beltrão, São José dos Pinhais, Santo Antônio do Sudoeste, São João, Irati e Almirante Tamandaré tiveram mais de 14 ocorrências registradas cada. No Rio Grande do Sul os municípios de Estrela, São Jerônimo, Dom Pedrito e São Sepé apresentaram mais de 14 registros de desastres na série histórica. Em Santa Catarina os municípios que apresentaram mais registros foram: Blumenau, Florianópolis, Joinville, Canoinhas, Rio do Sul, Lages, Porto União, Camboriú, Araranguá, Itajaí, Taió, sendo o estado brasileiro que registrou maior frequência de desastres naturais (3.433). Isto em grande parte se deve ao fato de que o S2iD foi desenvolvido e implementado primeiramente neste estado.

O gráfico da Figura 18 mostra, em ordem decrescente, o total de eventos para os 50 municípios mais atingidos por desastres naturais. Chama a atenção que dentre os 50 município 35 são do estado de Santa Catarina, com 7 municípios entre os 10 primeiros. Os estados do Paraná, Minas Gerais, Pará, Rio de Janeiro e Mato Grosso estão representados por 02 municípios, enquanto Espírito Santo, Pernambuco, Mato Grosso do Sul e São Paulo por 01 município cada. O

município que apresentou maior número de registros foi São Paulo, com 50 eventos registrados no período levantado.

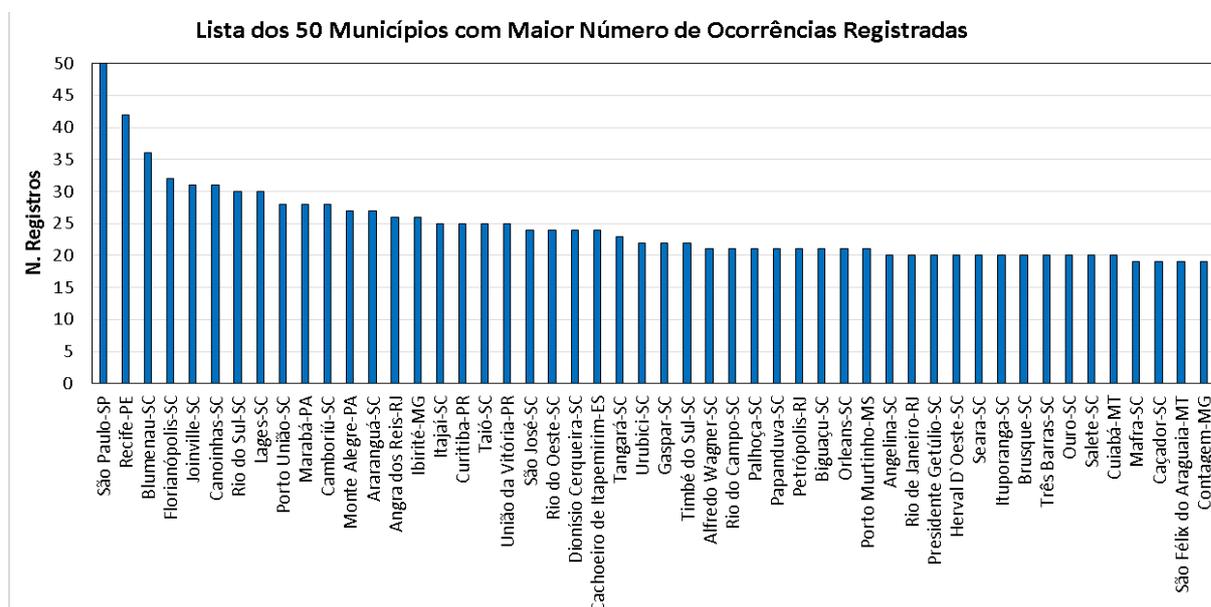


Figura 18 – Lista dos 50 Municípios classificados com maior número de ocorrências relacionadas à eventos extremos de precipitação positiva no sistema S2iD, em todo o país, no período de 1943 a 2014.

A região brasileira que apresentou maior ocorrência de desastres naturais foi a região Sul com 7.273 eventos registrados, seguida pela região Sudeste com 4.982 episódios, pelo Nordeste com 4.044 episódios, pela região Norte com 1.348 episódios, e Centro-Oeste que apresentou 1.078 registros. O tipo de desastre natural que apresentou menor número de incidências registradas foi a frente fria com um total de 31 episódios registrados e o que mais ocorreram foram as enxurradas, como pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8 - Distribuição dos Episódios de Desastres Naturais, relacionados a eventos extremos de precipitação positiva, por Região no Brasil, no período de 1943 a 2014.

Tipo Desastre	Quantidade de Desastres por Região					Brasil
	CO	NE	NO	SE	SU	
Alagamentos	34	138	57	249	183	661
Chuvas Intensas	100	22	7	98	299	526
Movimentos de Massa	6	58	16	497	99	676
Enxurradas	434	2266	435	2543	4569	10247
Frentes Frias/Zonas de Convergência	0	0	0	19	12	31
Inundações	504	1560	833	1576	2111	6584
Total	1078	4044	1348	4982	7273	18725

Fonte: Bando de Dados - S2iD. Elaborado pela autora.

Ao analisar a frequência anual dos registros de desastres naturais, relacionados a eventos extremos de precipitação positiva, que afetaram o Brasil de 1970 a 2014 (Figura 19) nota-se que 2009 foi o ano com maior número de ocorrências (1608 eventos), sendo 790 episódios de enxurradas (inundações bruscas), seguido por 694 episódios de inundações (gradual). No ano de 2004 registrou-se a ocorrência de 1.375 eventos de desastres, sendo 710 episódios de enxurradas e 625 de inundações. Praticamente o mesmo número de episódios foi verificado no ano de 2011 (1.368).

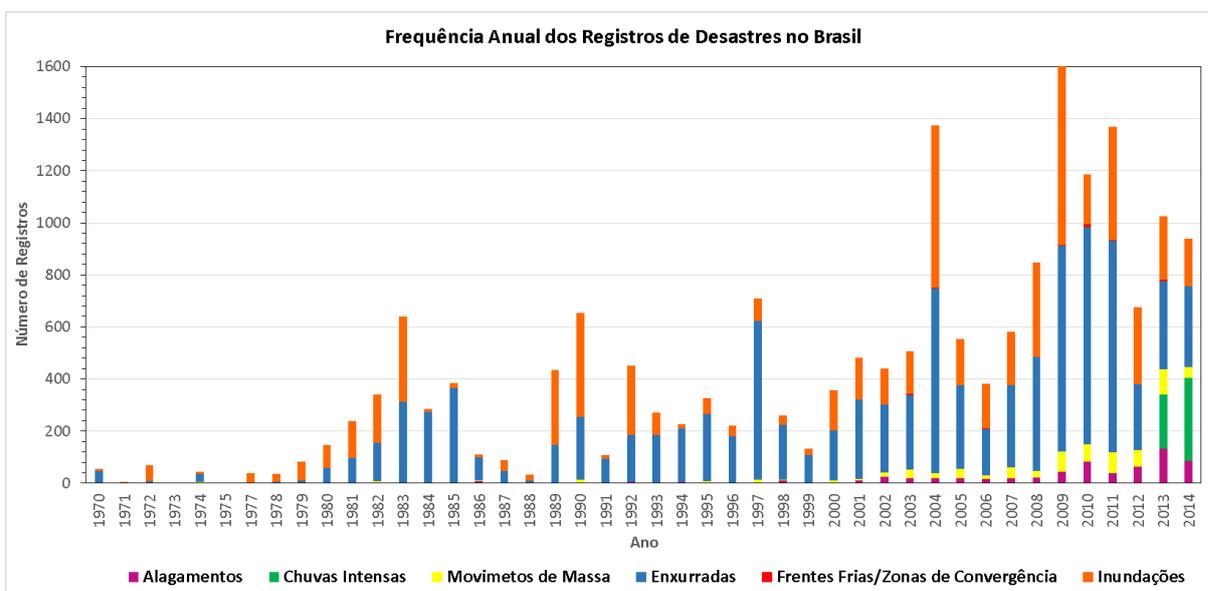


Figura 19 - Frequência Anual dos Registros de Desastres Naturais no Brasil, no período de 1970 a 2014.

Fonte: Bando de Dados - S2iD. Elaborado pela autora.

A partir do levantamento da frequência anual dos registros de desastres naturais, no período de 1970 a 2014, pode-se fazer relações entre os episódios de desastres com os períodos de ocorrências de eventos de El Niño-Oscilação Sul (ENOS), considerando-se os tipos e intensidades dos eventos os quais foram determinados através de um índice de anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM). Os episódios de El Niño de intensidade muito forte foram identificados para compreender as implicações nos eventos extremos de precipitação e relações com as ocorrências de desastres naturais. Na série histórica de 1950-2015, apresentada na Figura 20, observa-se que os anos de 1982-1983, 1997-1998 e 2015-2016 estiveram sob influência de El Niño, na categoria de intensidade muito forte, e os anos de 1940-1941, 1957-1958, 1965-1966, 1972-1973, 1987-1988 e 1991-1992 na categoria de de intensidade forte. O El Niño ocorrido em 2015-2016 foi considerado pela comunidade acadêmica e pelos institutos

de monitoramento do tempo e do clima, como sendo um dos mais intensos (SILVA, 2018). A Figura 20 ilustra a série do Índice Oceânico Niño (ONI) no período de 1950-2015, baseado na média trimestral da região Niño 3.4 do Pacífico Equatorial, onde três eventos El Niño são classificados como fenômenos de categoria muito forte.

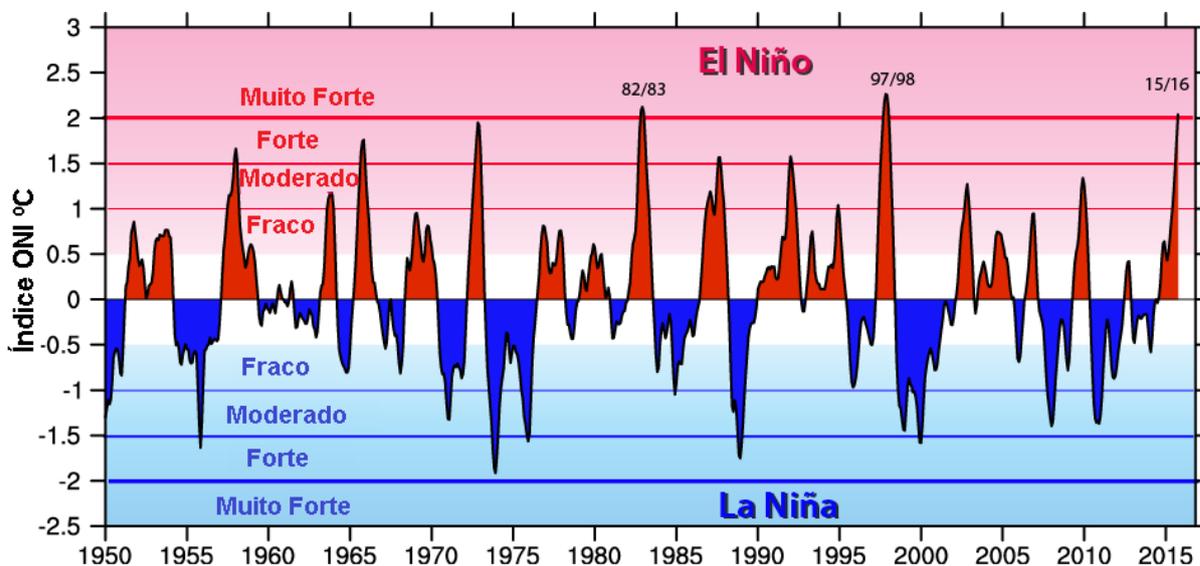


Figura 20 - Série do Índice Oceânico Niño – ONI no período de 1950-2015, baseado na média trimestral da região Niño 3.4 do Pacífico Equatorial. Adaptado pela autora.

Fonte: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/nino-sst-indices-nino-12-3-34-4-oni-and-tni>

Com base nos conhecimentos geográficos, e nas frequências anuais dos desastres naturais, pôde-se realizar algumas possíveis associações com os episódios ENOS.

O evento El Niño de 1982-1983 teve início em agosto de 1982, quando a média móvel de três meses da anomalia de temperatura na região Niño 3,4 do Pacífico Equatorial, indicou que os meses seguintes estariam sob influência deste fenômeno (agosto/1982 a setembro/1983). No período sob influência deste fenômeno foram registrados 1.010 desastres naturais, sendo 380 episódios ocorridos de agosto a dezembro/1982 e 630 registros de desastres ocorridos de janeiro a setembro de 1983. Neste sentido, como exemplo de casos ocorridos, temos os municípios de Rio de Janeiro-SE, estação nº 2243239–Capela Mayrink (20/03/1983); Campo Erê-SC, estação nº 2653001-Campo Erê-Empasc (09/07/1983); Irineópolis-SC, estação nº 83865-Irineópolis (09/07/1983) e São Miguel do Araguaia-GO, estação nº 1350001-São Miguel do Araguaia (31/12/1982) que ocorreram desastres naturais de enxurradas e inundações sob a influência do El Niño, ocasionados por eventos extremos de chuvas de 154 mm, 138,6 mm, 120,2 mm. e 101,1 mm/dia, respectivamente.

Silva (2018) destaca que no mesmo período a região Centro-Oeste do Brasil registrou chuvas acima da normal climatológica, atingindo Goiânia (GO), Jataí (GO), Campo Grande (MS), entre outras regiões. Neste episódio o ápice da anomalia da TSM aconteceu em junho de 1983, a qual registrou positivamente 4,6°C, o maior valor registrado para o período analisado. Particularmente, no Sul do Brasil, ocorreram os piores episódios de enchentes, o que acarretou em prejuízos econômicos e sociais para vários estados (SILVA, 2018).

Outro período marcado pela atuação dos eventos ENOS foi 1997/1998, que teve início em abril de 1997 e se estendeu até junho de 1998 (14 meses), sendo classificado como um evento de intensidade muito forte. Os valores extremos de TSM, cerca de 2,4° C acima da média, foram registrados entre outubro/1997 e janeiro/1998 (NOAA, 2017). Observa-se que durante a atuação do ENOS, neste período, foram registrados 642 desastres naturais ocorridos no Brasil, sendo 500 eventos de enxurradas, 108 casos de inundações, 18 de alagamentos e 16 registros de movimentos de massas. Verificou-se que 314 desastres ocorreram de abril a dezembro/1997 e 328 desastres ocorreram de janeiro a junho/1998. Neste sentido, como exemplo, os municípios de Cantagalo-PR, estação nº 2552040–Virmond (23/04/1998); Ponta Grossa-PR, estação nº 2550003–Santa Cruz (30/03/1998); Juara-MT, estação nº 1157001-Juara (20/02/1998); e Francisco Beltrão-PR, estação nº 2653012-Francisco Beltrão (20/06/1997) registraram ocorrências de desastres naturais de enxurradas e inundações sob a influência do El Niño, ocasionados por eventos extremos de chuvas de 217,7 mm, 204,2 mm, 186,4 mm e 172,4 mm/dia, respectivamente.

O mês de setembro de 1997 foi marcado pela atuação do ENOS com intensidade muito forte, onde, algumas áreas apresentaram as maiores anomalias de precipitação positiva, como em partes de Goiás, sudeste e noroeste do Tocantins, Distrito Federal, oeste de Minas Gerais, partes do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, São Paulo entre outras localidades. As anomalias negativas foram observadas na maior parte dos estados do Tocantins, Maranhão, centro-norte de Minas Gerais, entre outras áreas (SILVA, 2018). O estado do Rio Grande do Sul, nesse período, apresentou eventos extremos de tempo como precipitações acima da média, episódios de granizo e vendaval intensos, principalmente durante a primavera. Este cenário confirma as análises de Grimm e Tedeschi (2006) que destacam que as ocorrências de eventos extremos de precipitação na região Sul do Brasil estão relacionadas a episódios ENOS, e aumenta ou diminui de acordo com as anomalias de circulação atmosférica associada (GRIMM; TEDESCHI, 2006).

O período de abril de 2015 a março de 2016 também foi marcado pela influência do evento El Niño, tendo o mês de dezembro de 2015 o ápice do fenômeno, sendo considerado ENOS de intensidade muito forte. Ressalta-se a importância de se fazer possíveis correlações deste evento ENOS com possíveis análises da dinâmica das precipitações e ocorrências de desastres naturais em futuros estudos.

A partir do conjunto de registros de desastres naturais apresentado na Figura 20, relacionados com as anomalias de ENOS, observa-se que os anos com maior número de desastres registrados não foram marcados por atuação de evento El Niño de intensidade muito forte, como os períodos de: 2004/2005 – El Niño com intensidade fraca; 2007/2008 – La Niña com intensidade forte; 2008/2009 – La Niña com intensidade fraca; 2009/2010 – El Niño com intensidade moderada; 2010/2011 – La Niña com intensidade forte; 2011/2012 – La Niña com intensidade moderada; e 2014/2015 – El Niño com intensidade fraca.

Pesquisadores destacam que, em períodos de predomínio de El Niño, o risco de desastres naturais oriundos de eventos de precipitação positiva é maior se comparado aos períodos de neutralidade climática e períodos de La Niña, e que, em períodos de El Niño de intensidade fraca e La Niña moderada e fraca, os desastres naturais ocorreram em menor número. Contudo os resultados apresentados na Figura 19 não foram suficientes para comprovar essas correlações e afirmações. Além disso, o aumento das frequências de ocorrências de desastres nas últimas décadas pode estar mais relacionado a implantação do banco de dados S2iD, e ao aumento de reconhecimentos dos desastres naturais por obrigatoriedade dos municípios de oficializarem e reconhecerem os desastres naturais junto ao poder público para receberem os aportes financeiros para recuperação de áreas atingidas, do que os eventos de precipitação em si. Como sugestão de trabalhos futuros identifica-se a necessidade de realizar pesquisas mais aprofundadas, adotando estudos locais e regionais como é o caso das técnicas de análise rítmica de Monteiro (1971).

A Figura 21 descreve-se a distribuição dos desastres naturais para cada região do país, onde pode-se observar os percentuais distintos por tipologias de desastres para cada região do Brasil.

Na região Norte a maior recorrência de desastres relacionados ao regime pluviométrico são as inundações e enxurradas com respectivamente 62% e 32% dos registros. Os alagamentos contribuem com 4%, e os eventos de chuvas intensas e movimentos de massas com 1% de

ocorrências cada. Na região predomina o clima equatorial chuvoso, praticamente sem estação seca, com o maior total pluviométrico anual do Brasil.

Distribuição dos Tipos de Desastres Naturais nas Regiões Brasileiras.

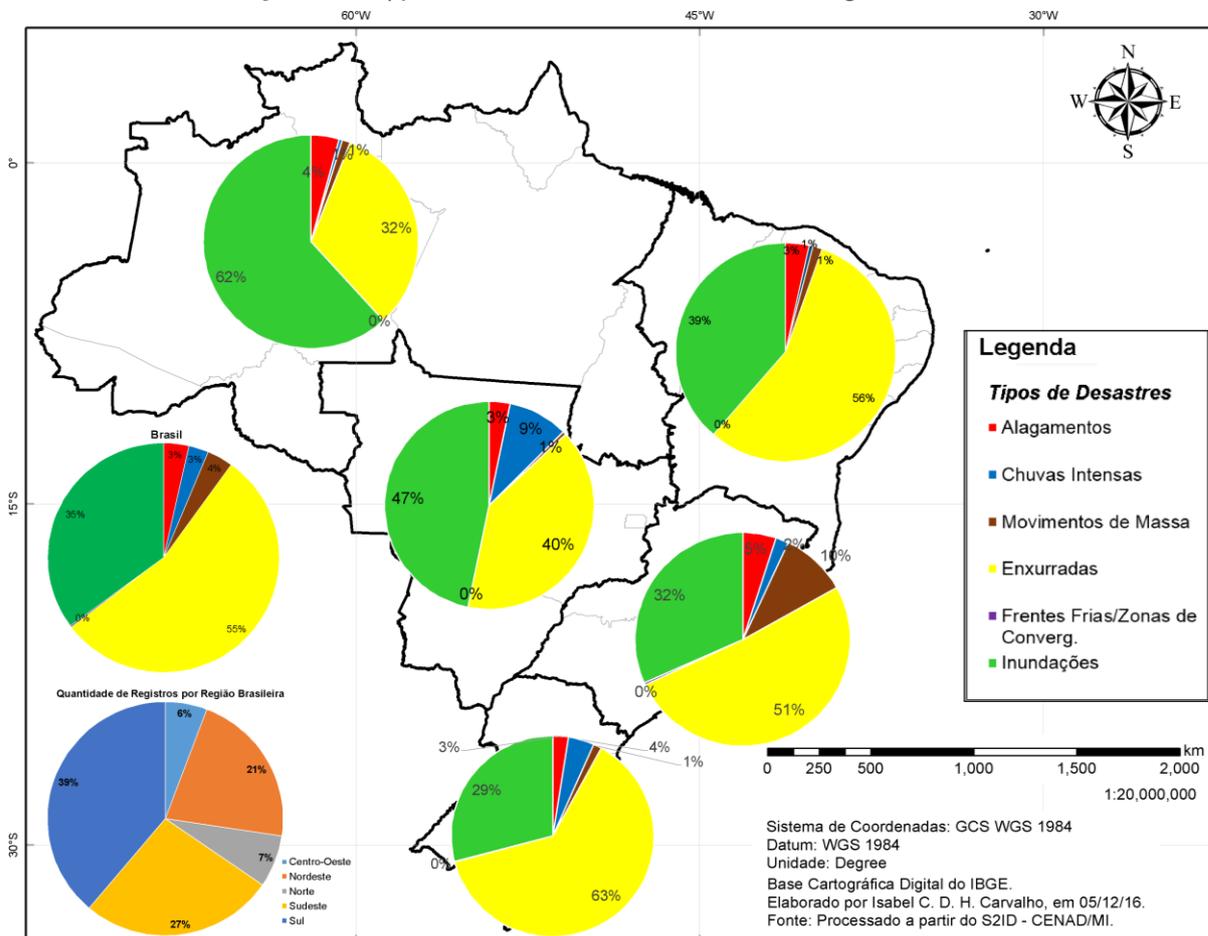


Figura 21 – Distribuição dos tipos de desastres naturais nas regiões brasileiras.

A região Norte é marcada por um processo cíclico e sazonal, um período de cheias e outro de vazante dos rios. Tanto as estiagens quanto as cheias são fenômenos cíclicos e acontecem anualmente, em maior ou menor escala. Outra característica do norte do país é que nos meses de novembro a março, devido à forte atividade convectiva, a região é atingida por tempestades severas, com chuvas fortes, rajadas de vento muito intensas e descargas elétricas. Já os fenômenos de estiagem e seca são influenciados pelo fenômeno El Niño, somado ao aquecimento do Atlântico Tropical Norte, que desfavorece a incidência das precipitações pluviométricas na região (MARENGO; NOBRE, 2009). Os principais sistemas que regem o tempo e o clima da Região Norte do Brasil são a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), as Linhas de Instabilidade (LIs) e circulação de brisa marítima, a penetração de sistemas

frontais, o deslocamento da ASAS/ASAN (Alta Subtropical do Atlântico Sul/Alta Subtropical do Atlântico Norte), a Alta da Bolívia associados com Distúrbios Ondulatórios de Leste e outros mecanismos de escala regional, como o vapor d'água da floresta amazônica e da cordilheira dos Andes, e de escala global, como El Niño e La Niña, e o dipolo do Atlântico Tropical (QUADRO et al., 1996).

Na região Nordeste, os desastres naturais mais comuns são os de caráter hidrometeorológico, relacionados a eventos extremos de precipitação, apresentando a variabilidade sazonal e interanual na distribuição de chuvas na região, bem marcante. Em relação aos tipos de desastre relacionados a eventos extremos de precipitação positiva as enxurradas correspondem a 56% e as inundações 39%, os eventos de alagamentos representam 3%, chuvas intensas 1% e movimentos de massas 1%. A Bahia é o estado que mais reportou desastres, seguido da Paraíba, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Alagoas, Maranhão e Sergipe. Nos anos de 2010, 2011 e 2012, nos estados de Pernambuco e Alagoas ocorreram inundações que atingiram populações instaladas próximas aos rios. As inundações tiveram relação direta com as precipitações elevadas diárias e ou chuvas acumuladas em maiores períodos de tempo, principalmente, nos meses de maio, junho e julho, que correspondem à estação chuvosa na região (MEDEIROS, 2013). Kayano e Andreoli (2009) ressaltam que a região sofre consequências severas tanto por secas quanto por precipitações intensas, pois o regime de precipitação no Nordeste resulta da complexa interação entre relevo, posição geográfica, natureza da superfície e os sistemas de pressão atuantes. Desta forma, secas e estiagens correspondem à maioria dos registros de desastres na região, seguidos por enxurradas e inundações.

Dentre a combinação dos diversos fatores que causam esses desastres naturais na região Nordeste, temos como colaborador a atuação do sistema meteorológico de Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) de origem tropical que atuam com mais frequência entre os meses de dezembro a fevereiro, com um tempo de vida médio de 4 a 11 dias. No Nordeste, os efeitos desse sistema sobre a precipitação, são bastante evidentes, principalmente, quando os VCANs se originam sobre o continente. Também, é importante levar em consideração a interação da VCAN com outros dois sistemas meteorológicos: a Alta da Bolívia (AB) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (FERREIRA, et al., (2009). Lucena; Cabral; Steinke (2018) destacam que as causas da instabilidade das precipitações e da semiaridez no Nordeste, estão relacionadas as atuações dos sistemas de circulação atmosféricas, como as oscilações da

Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), agindo conjuntamente “ou não” com as teleconexões, à exemplo do El Niño Oscilação Sul (ENOS), assim como a formação, localização e tempo de duração dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs). Observa-se que um dos principais sistemas geradores de chuva na região semiárida é a ZCIT e que a sua posição mais ao sul no decorrer do ciclo anual coincide com a curta estação chuvosa do Nordeste brasileiro centrada em março-abril (GREISCHAR; HASTENRATH, 2000). Atuam como sistemas causadores das chuvas, ao nível regional: as Linhas Instabilidades Tropicais (LI) e os Complexos Convectivos de Mesoescala - CCM (geralmente associados à ZCIT); os VCANs e as Ondas de Leste, sendo esta última responsável por grande parte das chuvas e nebulosidade que atuam no litoral leste do Nordeste brasileiro, e também, por efeitos das brisas marítima e terrestre, porém dificilmente alcançam a depressão sertaneja favorecendo, desse modo, a condição de semiaridez no interior da região (KAYANO; ANDREOLI, 2009; LUCENA et al., 2018).

Na região Centro-Oeste a grande maioria dos eventos registrados estão associados a enxurradas e inundações com 40% e 47% dos casos estudados, respectivamente. Com percentuais menores estão os desastres por chuvas intensas (9%), por alagamentos (3%) e movimentos de massas (1%). A região caracteriza-se pela transição entre os climas quentes de latitudes baixas e os mesotérmicos do tipo temperado de latitudes médias, o que contribui para uma acentuada variabilidade espacial e temporal de temperaturas e chuvas. A região também sofre influência da diversidade de fatores geográficos como latitude, relevo e vegetação, refletindo na grande biodiversidade pelos ecossistemas da Amazônia, do Cerrado e do Pantanal. Basicamente, o Centro-Oeste é caracterizado por duas estações bem definidas: uma estação quente e chuvosa, de dezembro a fevereiro, e uma seca com temperaturas amenas, entre junho e agosto. Os maiores índices de precipitações anuais ocorrem na porção norte da região (Mato Grosso), com valores acumulados anuais superiores a 1.800 mm, devido à influência dos sistemas amazônicos durante o verão e o outono, enquanto os meses de inverno são excessivamente secos. Apesar de pequena, na área situada mais ao sul a precipitação concentra-se também no período de inverno e está associado principalmente à atuação dos Complexos Convectivos de Mesoescala, influenciados pelo forte escoamento em baixos níveis da atmosfera a leste dos Andes, denominado jato de baixos níveis, o qual atua no transporte de massa de ar tropical em direção a latitudes mais altas (MARENGO et al., 2004; ALVES, 2009). As chuvas significativas da região têm início a partir da primeira quinzena de outubro estendendo-se até março, com totais

acumulados superiores a 200 mm/mês, associadas à penetração de sistemas frontais do setor sul. O sudoeste da região apresenta os menores índices pluviométricos. O período de seca vai de maio a setembro, e os totais acumulados não ultrapassam os 50 mm/mês.

Na região Sudeste as enxurradas correspondem a 51% dos registros, seguido por inundações com 32%, movimentos de massas com 10%, alagamentos com 5% e chuvas intensas com 2% dos casos de desastres. A região apresenta uma diversidade de regimes climáticos maior do que qualquer outra do país. Isto ocorre, sobretudo, devido a variabilidade latitudinal e de relevo, as influências da maritimidade/continentalidade e da atuação de sistemas tropicais e extratropicais de latitudes médias. Observa-se na região a atuação de distintos mecanismos como a invasão de sistemas mais frios em contraste com o domínio de massas mais quentes que, em combinação com as feições locais, conferem especificidades importantes e criam condições para ocorrência de forte instabilidade atmosférica. Isto acaba por resultar em grandes recorrências de casos de eventos extremos de precipitação na região. Ressalta-se que a região sofre a influência de diversos fenômenos de grande escala e seus impactos, como os eventos de El Niño e La Niña, e a oscilação decenal do Pacífico (NUNES; VICENTE; CANDIDO, 2009). A região marca a transição entre os regimes permanentemente úmidos do Brasil Meridional e alternadamente secos e úmidos do Brasil Central. Por sua posição e condições geográficas a região é envolvida pelas principais correntes de circulação atmosférica da América do Sul, sendo uma faixa de conflito entre massas de ar distintas com participação de correntes tropicais marítimas de leste-nordeste, correntes polares de sul e correntes do interior de oeste-noroeste (NUNES, VICENTE, CANDIDO, 2009, p. 247). A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) gera na região condições de instabilidades no verão, essa faixa de nebulosidade percorre de NW para SE, associada ao escoamento convergente na baixa troposfera do sul da Amazônia ao Atlântico Sul-Central.

Na região Sul, também a maior recorrência de desastres está relacionada ao regime pluviométrico, apresentando os maiores percentuais relativos a enxurradas e inundações (63% e 29%, respectivamente). As chuvas intensas contribuem com 4%, os alagamentos 3% e os eventos de movimentos de massas com 1% de ocorrências cada. É importante ressaltar que o estado de Santa Catarina apresenta o maior número de ocorrência de desastres naturais na série histórica pesquisada (3.433 registros). A porção leste do estado, e em particular a região do Vale do Itajaí, apresenta um longo histórico de desastres naturais, entre os quais se destacam as severas inundações de 1974, 1983, 1987, 1992, 1997, 1998 e 2008. Verifica-se que os episódios

de desastres naturais estão bem distribuídos no território do estado, porém estes eventos acarretam maiores danos e prejuízos nos municípios de maior porte e densamente povoados como: Blumenau, Itajaí, Joinville, Jaraguá do Sul, Lages, Chapecó, entre outros.

Entre os principais sistemas atmosféricos que influenciam as condições de tempo, favorecendo a ocorrência de desastres naturais, podem-se citar os sistemas frontais (frentes frias), as convecções locais (aquecimento diurno da superfície), os sistemas convectivos de mesoescala - SCM (Complexos Convectivos de Mesoescala – CCMs), os fenômenos ENOS - El Niño e La Niña, e a presença habitual dos jatos de altos e de baixos níveis e a proximidade relativa do Oceano Atlântico.

A própria localização do estado, entre as latitudes médias e subtropicais, permite que tanto as massas de ar tropical quanto os sistemas frontais influenciem frequentemente nessa região (RIBEIRO et al., 2016, CAVALCANTI; KOUSKY, 2009). Brooks e Craven (2003), também, destacam que a região localizada a leste dos Andes entre os 25°S e 35°S, onde se encontra o estado de Santa Catarina, é a que apresenta as condições mais favoráveis para a ocorrência de tempestades severas no mundo, inclusive superiores às observadas nas planícies dos Estados Unidos da América. Contudo, identifica-se uma frequência frontal relativamente maior nos meses de maio a dezembro, diminuindo entre janeiro e abril. Desta forma o estado de Santa Catarina pode ser considerado uma região de encontro entre duas massas de ar de origens diferentes, favorecendo a formação e intensificação de frentes, altamente frontogênica, apresentando as condições mais favoráveis para a ocorrência de eventos extremos de precipitação e desastres naturais.

Desta forma, o estado de Santa Catarina, devido ao alto grau de fragilidade do meio físico a desastres, pelo aumento de desastres ocorridos e seus impactos gerados (perdas e danos materiais), implantou um modelo de gestão de riscos a desastre natural, com ações de proteção e prevenção eficientes para minimizar os impactos gerados e otimizar a resiliência de seus municípios. É importante ressaltar a relevância de se adotar este modelo de gestão de risco, (aprimorado e adaptado) por outros estados ou municípios, ou mesmo pela União.

O fator determinante para o sucesso do estado de Santa Catarina no controle, monitoramento e diagnóstico de desastres naturais é que todos os 295 municípios catarinenses possuem a Coordenadoria Municipal de Defesa Civil. Segundo a Lei Federal nº 12.608 de 10 de abril de 2012, que instituiu o Sistema Nacional de Proteção de Defesa Civil–SINPDEC, a atuação do

órgão municipal de proteção e defesa civil é extremamente importante, tendo em vista que os desastres ocorrem no município. Desta forma, o município deve estar preparado para atender imediatamente a população atingida, reduzindo perdas materiais e humanas, compreendendo ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação, de forma multissetorial, em conjunto com os governos federal e estadual, e com ampla participação da comunidade.

No geral, essa legislação tem sido praticada efetivamente nos estados da região Sul, mantendo o sistema de informações e o banco de Dados S2iD bem assistidos. Entretanto, segundo o IBGE, apenas 8,29% dos municípios brasileiros possuem Núcleos Comunitários de Defesa Civil (NUDECs), o que evidencia a baixa capacidade de organização dos atores locais e estrutura da Defesa Civil (LONDE, 2015, p.88). Cabe aos gestores municipais tomar conhecimento da Lei 12.608/2012 e prover a Defesa Civil com agentes e recursos compatíveis com as necessidades de seu município, acompanhado suas atividades e facilitando a interação com outros órgãos e instituições. A comunicação eficiente em suas várias esferas e o envolvimento com a comunidade são temas que ainda não são considerados essenciais, apesar de sua inegável importância para o funcionamento efetivo da Defesa Civil dentro de sua concepção de órgão de prevenção e enfrentamento de desastres.

5.1.1. Consistência dos registros de desastres na base do S2iD

Conforme já mencionado, o Banco de Dados S2iD é um inventário de registros das ocorrências de desastres naturais por todo país. As informações são fundamentais para o desenvolvimento de pesquisas científicas e para auxiliar os projetos de avaliação da vulnerabilidade dos municípios a esses episódios de desastres naturais, além de subsidiar decisões quanto às ações preventivas e mitigadoras adequadas para cada região. Contudo, verifica-se várias discrepâncias e incompletudes de dados e informações referente aos registros de desastres naturais, sendo necessário estabelecer alguns critérios de consistência mínima dos dados para compor uma série histórica de registros de desastres para todas regiões do Brasil. Entre os principais problemas, destaca-se:

- Duplicidades de registros para um mesmo evento;
- Dificuldades nas interpretações dos tipos de desastres ocorridos, resultando em entradas de dados com falhas ou informações incorretas no banco de dados S2iD, quando comparada com as fontes oficiais originais;

- Falta dos anexos com documentos oficiais disponibilizados para o acesso (Fide, Avadan, Nopred, Relatórios de Danos, Portarias e Decretos). Estes documentos são fundamentais para as análises mais completas dos episódios de desastres naturais;
- Pouco cuidado quanto ao registro e integridade histórica dos dados, lançamentos das datas incorretas referente à ocorrência dos desastres;
- Registros não individualizados por município, ou seja, em um único registro são citados vários municípios. Isto dificulta a análise de distribuição espacial dos desastres.
- Registros não individualizados por tipo de desastre, ou seja, em um único registro são cotados vários tipos de desastres. Isto dificulta a análise estatística dos tipos de desastres (ver exemplo na Figura 22).
- Falta de identificação da dimensão territorial, de forma mais precisa, a abrangência espacial das áreas de ocorrência dos desastres.

Neste trabalho, os principais problemas detectados estão relacionados a falta de precisão nas datas de ocorrências e nos registros da localização da área de abrangência dos desastres. Em relação ao lançamento da data de ocorrência observa-se que, em vários casos, a data se refere à publicação oficial do desastre e não à data de ocorrência do mesmo, o que prejudica as análises e correlações com os dados de precipitação. Nesta pesquisa, várias vezes, houve a necessidade de recorrer aos decretos municipais, estaduais ou portarias para se obter as datas reais das ocorrências. No caso do lançamento da área de abrangência do desastre sugere-se que seja implementada as informações geográficas (coordenadas geográficas, croquis ou mapas).

Outro problema observado durante as análises refere-se a não consideração das ocorrências de deslizamentos descritos em alguns documentos oficiais, conforme pode ser observado nos casos de 350 deslizamentos de terra ocorridos em 04/01/2007, em Nova Friburgo (RJ). No S2iD os episódios foram tipificados como enchente ou inundação gradual. Contudo, na descrição do relatório Avadan (item 5 da Figura 23), está descrito a ocorrência de deslizamentos de terra.

SISTEMA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL - SINPDEC

Formulário de Informações do Desastre - FIDE

1. IDENTIFICAÇÃO			
UF: RS	Município: Alegria	Código IBGE: 4300455	
População (habitantes)	PIB (Anual)	Orçamento (anual)	Arrecadação (anual)
4.301	74.894.000,00	18.640.000,00	20.000.000,00
Receita corrente líquida (mensal)		Receita corrente líquida (anual)	
1.266.747,58		15.200.970,95	

PROTOCOLO Nº RS-F-4300455-13214-20161231

2. TIPIFICAÇÃO		3. DATA DA OCORRÊNCIA DO DESASTRE			
COBRADE	Denominação(Tipo ou Subtipo)	Dia	Mês	Ano	Horário
13214	Tempestade Local/Convectiva - Chuvas Intensas	31	12	2016	17:15

4.3 Descrição das áreas com população afetada

Área Urbana: Não houve locais afetados; Área Rural: Rincão Mauá, Rincão dos Nardes, Linha Wailler, Linha Condomínio, Linha Kinalski, Água Santa, Esquina Rolim, Lageado Matilde, Lageado Engenho, Esquina Queimada, Restinga Seca, Itamarati, Ponte Schimdt, Rincão dos Correia, Ressaca do Buricá e Barra Seca (acesso ao Município de São José do Inhacora).

5. CAUSAS E EFEITOS DO DESASTRE

Na data do evento nas localidades citadas (4.3), houve uma grande precipitação de chuvas no município, chegando a chover aproximadamente 270 milímetros em um período de 1:40 horas, causando grandes enxurradas que ocasionaram, destruição total de uma ponte e destruição parcial de outras duas pontes, também ocasionando estragos em estradas da área rural, estragos em bueiros e nas redes de água de comunidades interioranas.

Figura 22 - Relatório Fide com a classificação de um tipo de desastre registrado no banco S2iD (Tempestade Local/Convectiva – Chuvas Intensas) e a descrição de mais um desastre em um mesmo evento climático (enxurradas e inundações bruscas).

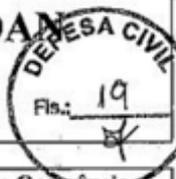
SISTEMA NACIONAL DE DEFESA CIVIL - SINDEC							
		<h2>AVALIAÇÃO DE DANOS - AVADAN</h2>					
1 - Tipificação Código NE.HIG 12.301				Denominação Enchente ou Inundação Gradual		2- Data de Ocorrência Dia Mês Ano Horário 04 01 2007 23:30h	
3- Localização UF: RJ Município: Nova Friburgo				5 - Causas do Desastre - Descrição do Evento e suas Características Devido ao alto índice pluviométrico (254 mm) sofrido durante as últimas 72 horas, houve o transbordamento do Rio Bengalas, no Distrito de Conselheiro Paulino; Rio Grande, em Riograndina e alguns Córregos inundando várias residências ribeirinhas a esses leitos d'água. Houve também cerca de 350 deslizamentos de terra em taludes nos diversos Distritos acima mencionados.			

Figura 23 - Relatório Avadan dos desastres ocorridos em 04/01/2007 em Nova Friburgo (RJ), com a classificação de apenas um tipo de desastre, enchentes, desconsiderando os desastres de deslizamentos de terra.

Ressalta-se também que em alguns documentos oficiais, o termo "deslizamento" é utilizado de modo genérico, abrangendo escorregamentos, corridas de massa e outros tipos de desastres de mesma natureza. Do mesmo modo, o termo "inundação" abrange enchentes, enxurradas e outros desastres tipificados e definidos pela Defesa Civil, o que compromete a confiabilidade real do inventário do S2iD. Assim, observou-se que houve registros de enxurradas como inundações bruscas e inundações graduais.

No geral, observa-se que em cerca de 73% dos relatórios Avadan os desastres naturais estão classificados como eventos de inundação (alagamentos, enxurradas e enchentes) e em apenas 17% dos relatórios estão classificados como "escorregamentos ou deslizamentos". Porém, ao analisar os relatórios Avadan, verifica-se que uma quantidade considerável de registros classificados como inundações, são também descritas ocorrências de escorregamentos ou deslizamentos; ou seja, um mesmo evento de chuva intensa pode causar inundação e deslizamentos, mas, o desastre acaba sendo classificado somente como inundação, subestimando o número real e os tipos de desastres. Um exemplo bem conhecido foi a tragédia ocorrida na região Serrana no Rio de Janeiro em janeiro/2011, na qual o município de Nova Friburgo foi o mais atingido por deslizamentos, mas os desastres registrados no S2iD foram classificados somente como "enxurradas ou inundações bruscas" em 13/01/2011 (Figura 24).



Figura 24 - Portaria de Reconhecimento de Situação de Emergência no Município de Nova Friburgo (RJ), publicado no Diário Oficial da União – Seção 1, nº 10, sexta-feira, 14/01/2011, que reconhece a situação em decorrência de enxurradas, sem levar em consideração os episódios de movimentação de massas ou deslizamentos ocorridos no município.

Outras dificuldades foram identificadas na interpretação e classificação do tipo de desastre natural, principalmente, por parte dos responsáveis pela emissão dos documentos (prefeituras, agentes locais da Defesa Civil Municipal, entre outros), que em muitos casos apresentaram incoerências nesta etapa. Devido a falta de experiência, conhecimentos técnicos, por não conhecerem as condições das áreas atingidas pelos desastres, por falta de inspeção no campo de especialistas capacitados na área, entre outras causas, observa-se que certos profissionais apresentaram dificuldades na etapa de classificação dos desastres naturais.

Verificou-se que houve carência de informações sobre os desastres naturais ocorridos no território nacional, principalmente antes de 2001, período anterior ao uso dos documentos oficiais como: NOPRED, AVADAN e FIDE. Como forma de minimizar as lacunas faz-se necessário a compilação de informações sobre desastres utilizando fontes secundárias como: jornais; inventário do EM-DAT (agências da ONU); inventário de dados e materiais técnicos das unidades de Defesa Civil municipal; companhias de seguro; instituições de pesquisa e universidades; dados de publicações científicas (periódicos, dissertações e teses acadêmicas); entre outras fontes.

Desta forma o processo de agregação e integração das informações de outras fontes, torna-se um recurso complementar para identificar casos de desastres não registrados, de discrepâncias nas informações, de erros de digitação e demais falhas no processo de transferência de dados, entre outras incoerências. Recomenda-se, também, a possibilidade de se utilizar novas tecnologias como os Sistemas de Informações Geográficas – SIG, fotografias aéreas e/ou imagens de satélite, cartas geotécnicas de risco e de susceptibilidade, GPS, entre outros recursos para facilitar o mapeamento, cadastramento e incorporação de registros históricos e de novos episódios de desastres no inventário S2iD.

Devido o processo de implementação do S2iD, em 2011, ter sido realizado de forma colaborativa entre os agentes locais de Defesa Civil e os administradores do banco de dados, ocorreram problemas de incoerências no processo de classificação dos tipos de desastres naturais conforme a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE).

Analisar a estrutura do Banco de Dados S2iD, e entender as inconsistências e peculiaridades dos dados, é uma etapa importante para se evitar possíveis distorções nas conclusões das análises e compreender as tendências nas distribuições dos desastres pelo país. Como o banco S2iD segue a codificação do COBRADE implementada em 2012, que se baseia no padrão EM-

DAT (Banco de Dados de Eventos Emergenciais utilizado pela Organização das Nações Unidas - ONU), verifica-se a necessidade de seguir uma estrutura de classificação que reflete a lógica do evento desencadeador do efeito causal que geram os impactos e danos.

Apesar da classificação COBRADE seguir um padrão de agrupamento lógico de tipos de desastres naturais em função de cinco grupos estabelecidos: climatológico, meteorológico, hidrológico, geológico e biológico, observa-se a necessidade que se faça uma nova readequação dos subgrupos, tipos e subtipos de desastres na categoria naturais. Desta forma, no banco S2iD, “chuvas intensas” são classificadas como desastre de categoria natural, no grupo de desastres meteorológicos, no subgrupo de tempestades, do tipo tempestade local/convectiva e subtipo codificado 1.3.2.1.4, considerada um desastre natural independente. Contudo muitos pesquisadores consideram que “chuvas intensas” devem ser consideradas como fenômeno ou evento desencadeador de múltiplos desastres naturais dos tipos inundações, enxurradas, movimentos de massas, entre outros, e não deve ser classificada como desastre em si. Tal ambiguidade também ocorre nas classificações dos desastres naturais dos tipos “frentes frias/zonas de convergência” (COBRADE – 1.3.1.2.0), “ciclones” (COBRADE – 1.3.1.1.1), “baixa umidade do ar” (COBRADE-1.4.1.4.0), entre outros. Seria importante manter o nível de detalhamento e descrição das classificações, porém que a COBRADE seja readequada e não caracterize tais fenômenos ou eventos desencadeadores como desastres independentes. Isto compromete a consolidação do banco de dados, devido as incoerências nos cadastros e falhas (erros) encontradas. Em muitos casos a dificuldade de classificar e codificar os desastres naturais afetam a confiabilidade e a consistência dos dados no inventário constituído S2iD.

5.2. Seleção dos Desastres Naturais Associados a Eventos Extremos de Precipitação

Seguindo os critérios listados na Seção 4.2 foram selecionados os municípios que apresentaram, pelo menos, uma ocorrência de desastre natural associado a eventos extremos de precipitação. As ocorrências de desastres naturais encontram-se espacializadas no mapa da Figura 25, onde a escala das cores corresponde ao total de eventos registrados em cada município brasileiro, considerando todos os seis tipos de desastres naturais selecionados para o estudo.

A Tabela 9 apresenta os desastres naturais relacionados à extremos de precipitação positiva e o quantitativo de municípios atingidos por região. Observa-se que 4.431 municípios foram atingidos por desastres naturais, sendo enxurradas e inundações responsáveis por atingir 3.592 e 2.982 municípios, respectivamente. A região do Brasil que apresentou maior número de

municípios atingidos foi o Nordeste com 1.525, seguida pelo Sudeste com 1.228 municípios, e Sul com 1.094 municípios atingidos. As regiões Centro-Oeste e Norte apresentam 292 municípios atingidos cada.

Este subconjunto de 4.431 municípios com ocorrência de desastres naturais compõe a base de dados utilizada no cruzamento com as estações pluviométricas, para geração da base final de dados utilizada neste trabalho.

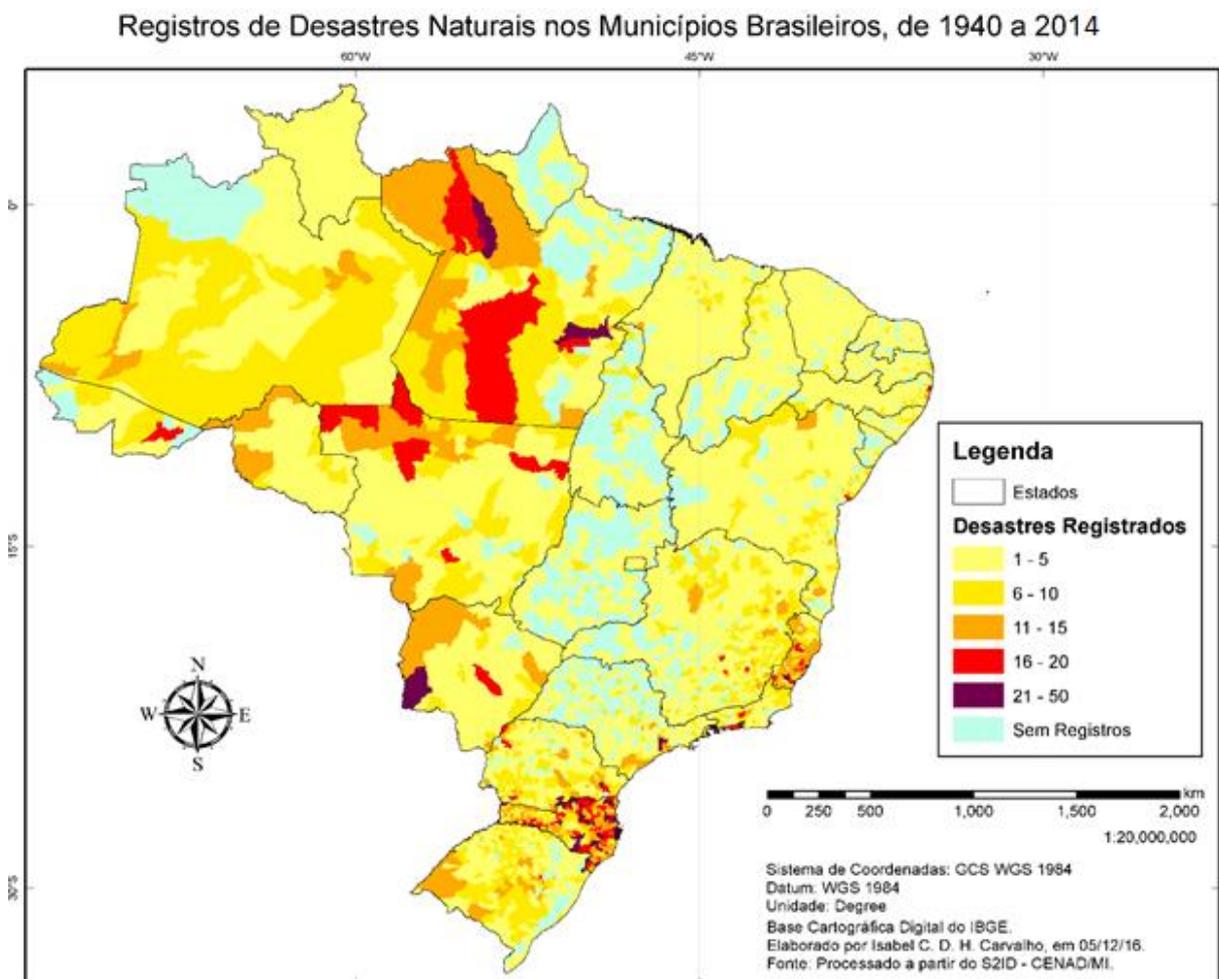


Figura 25 - Mapa de registros de municípios com ocorrência de desastres naturais, relacionados à extremos de precipitação positiva, no período de 1940 a 2014.

Fonte: Banco de Dados S2iD. Elaborado pela autora.

Tabela 9 - Comparativo de ocorrências de desastres naturais relacionados à extremos de precipitação positiva, por região e municípios atingidos.

Tipo Desastre	Municípios Afetados					Brasil
	CO	NE	NO	SE	SU	
Alagamentos	20	114	42	168	138	482
Chuvas Intensas	65	21	5	88	239	418
Movimentos de Massa	4	27	13	283	63	390
Enxurradas	197	1186	228	972	1009	3592
Frentes Frias/Zonas de Convergência	0	0	0	18	10	28
Inundações	201	1014	198	791	778	2982
Todos	292	1525	292	1228	1094	4431

Fonte: Bando de Dados - S2iD. Elaborado pela autora.

5.3. Seleção das Estações Pluviométricas

A escolha das estações pluviométricas foi realizada de acordo com o tamanho da série histórica disponível, da qualidade dos dados (de preferência estações com poucas falhas), e disponibilidade de dados no período em que ocorreram os desastres naturais em questão. Ao todo foram selecionadas 10.790 estações pluviométricas. Deste total 9.259 são estações exclusivamente convencionais onde 8.463 são do SNIRH/ANA e 796 do INMET (ver Figura 26), e 1.711 são estações automáticas/telemétricas (1.211 do SNIRH/ANA e 500 do INMET) (Figura 27). Ressalta-se que a maioria das estações telemétricas foram instaladas recentemente. Contudo, apesar do curto período de dados horários, tais estações, em sua grande maioria, apresentam um longo histórico de dados em razão de terem sido operadas de forma convencional antes de serem automatizadas.

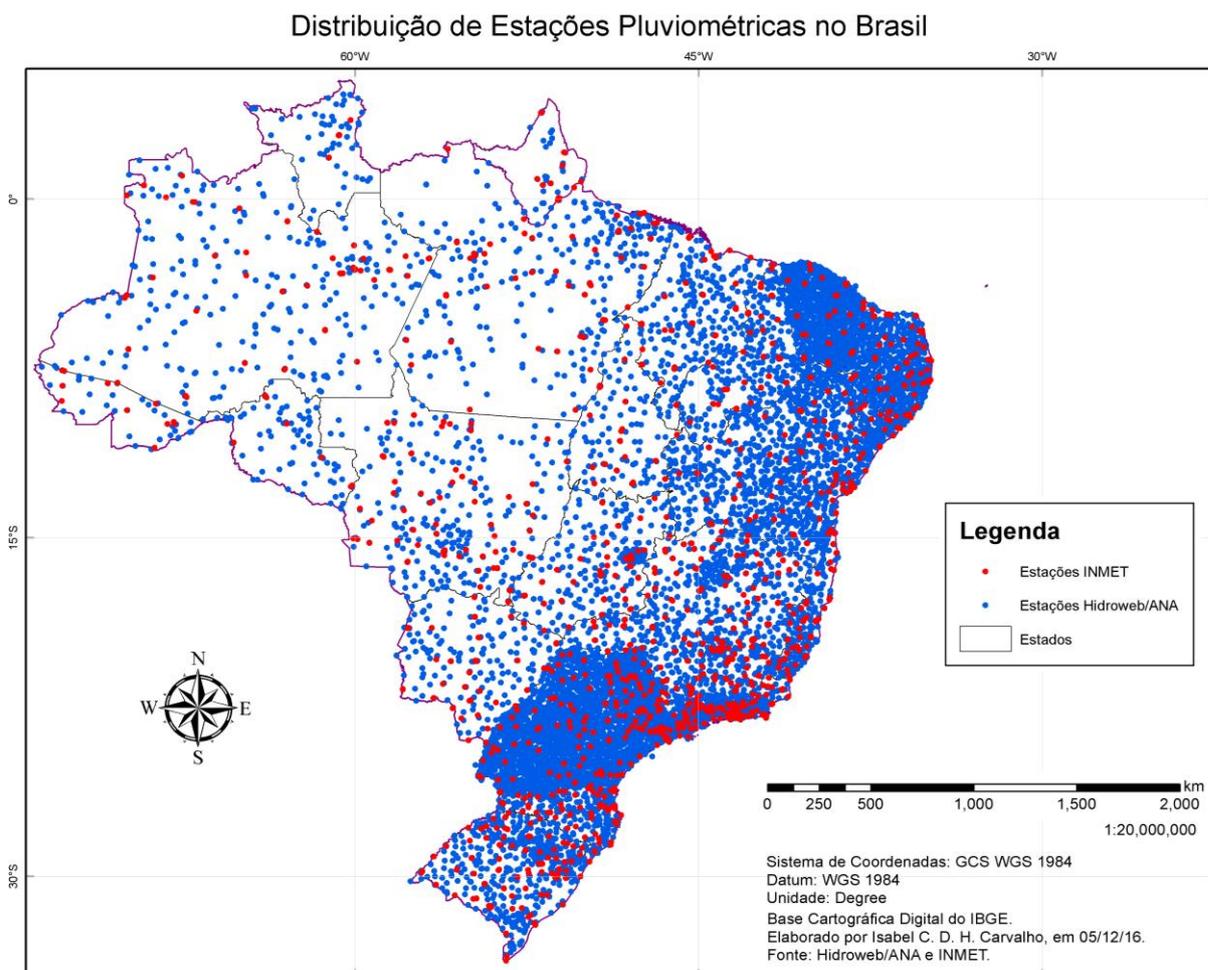


Figura 26 - Distribuição espacial das estações convencionais da ANA e do INMET selecionadas para este trabalho.

A Tabela 10 apresenta a distribuição da quantidade de estações por Unidade da Federação. Como pode ser observado a distribuição não ocorre de forma homogênea em todo território nacional. A principal causa desta distribuição desigual está relacionada com a política de cada unidade da federação no que diz respeito ao monitoramento hidrometeorológico. Estados como São Paulo, Paraná e Ceará historicamente possuem uma extensa rede de monitoramento pluviométrico, embora nem todas as informações estejam disponíveis de forma facilitada ao público em geral.

Este subconjunto de 10.790 estações pluviométricas compõe os registros de precipitação que, juntamente com os registros de desastres naturais, compõem da base de dados final utilizada neste trabalho.

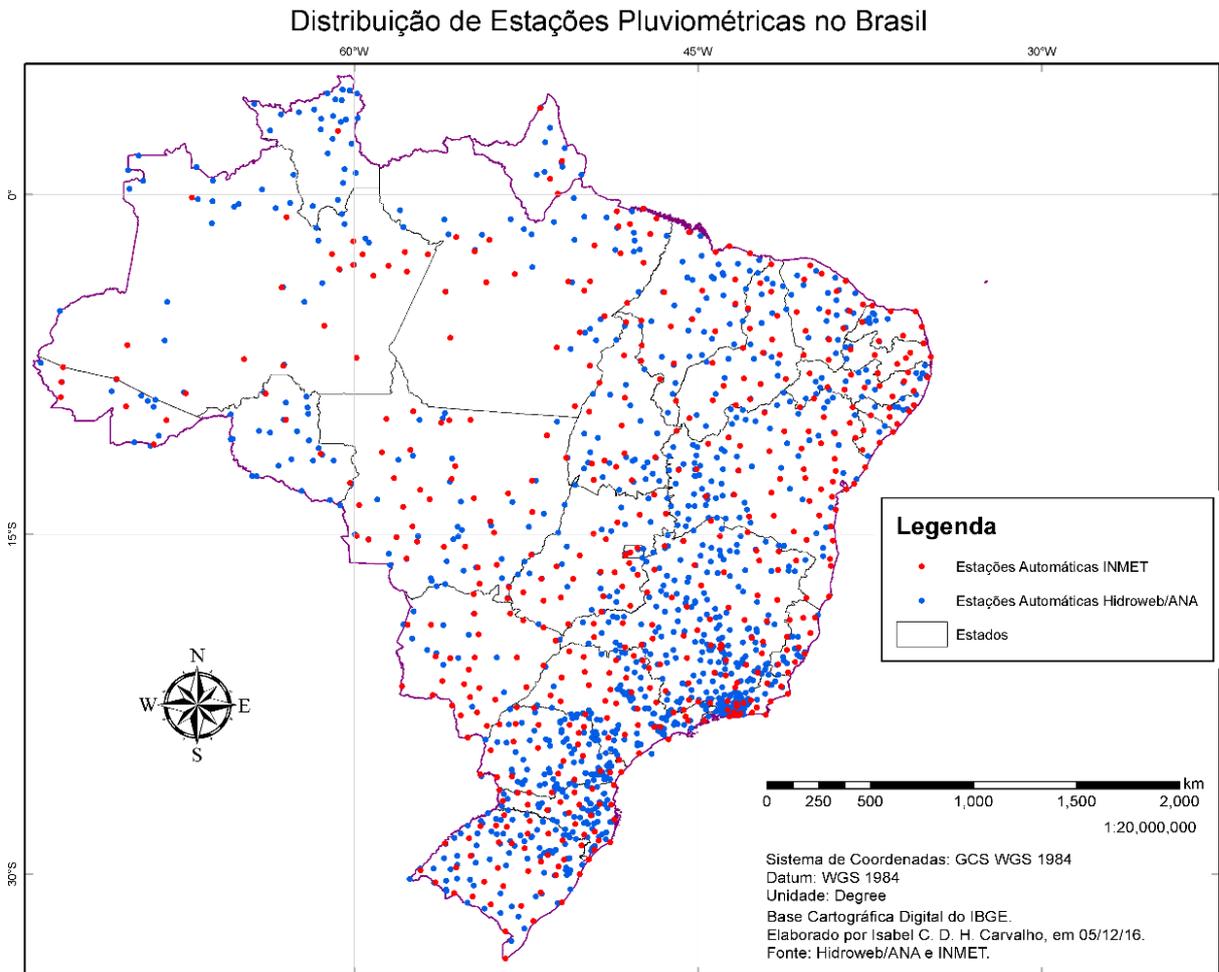
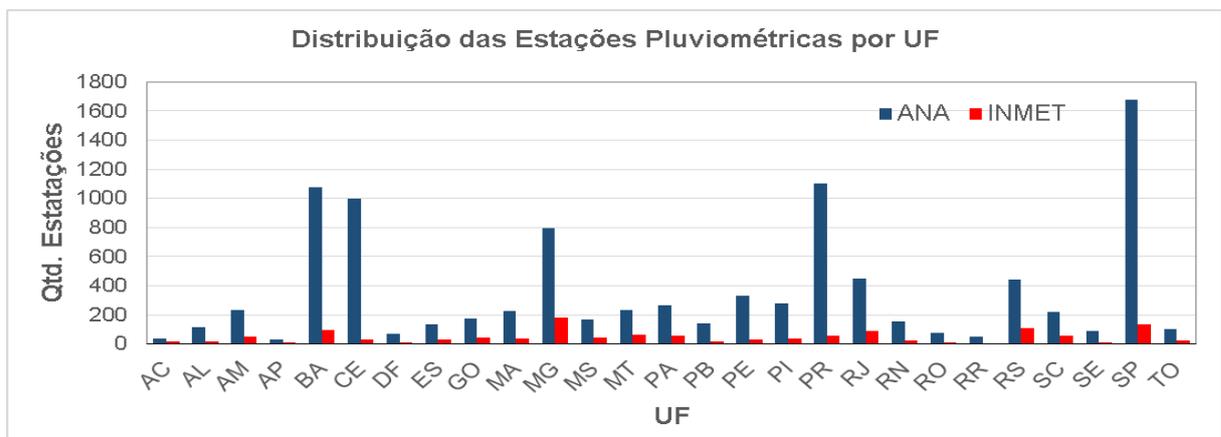


Figura 27 - Distribuição espacial das estações automáticas/telemétricas da ANA e do INMET selecionadas para este trabalho.

Tabela 10 – Distribuição da quantidade de estações pluviométricas por Unidade da Federação.



5.4. Cruzamento das Bases de Dados

Nesta etapa foi realizado o cruzamento entre os *shapefiles* de áreas de influência das estações pluviométricas, e os locais de desastres naturais ocorridos por município. Este procedimento tem por objetivo identificar os desastres naturais que estão inseridos nas áreas de influência das estações pluviométricas, resultando nos pontos que compõem o conjunto de dados utilizados neste trabalho. Os critérios adotados para a determinação da área de influência das estações pluviométricas selecionadas estão detalhados na Seção 4.4, e os parâmetros apresentados na Tabela 4.

A Figura 28 apresenta o mapa de declividade, em graus, para o relevo brasileiro. O mapa foi gerado com o ArcGis® a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 metros), com preenchimento de vazios, obtidos a partir da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global (ver Seção 4.6.2 para maiores detalhes).

Além da área de influência das estações pluviométricas, também foi verificado a existência de registro de precipitação nas datas de ocorrência dos episódios de desastre naturais (checagem de falhas), e a disponibilidade de pelo menos 15 anos de dados (consecutivos ou não). Este último critério foi adicionado para que se tenha um mínimo de significância nas análises estatísticas. Como produto desta etapa foi gerado uma base de dados georreferenciada (planilhas de atributos e *shapefiles*) de eventos extremos de precipitação associada à ocorrência (datas) de desastres naturais. A Figura 29 apresenta o mapa com a localização dos registros dos desastres naturais e estações pluviométricas selecionadas para este estudo.

O cruzamento das bases de dados resultou em 14.209 registros de desastres naturais localizados em 3.096 municípios brasileiros e 3.746 estações pluviométricas selecionadas segundo a área de abrangência dos desastres.

Mapa de Declividade em Percentual do Relevo Brasileiro

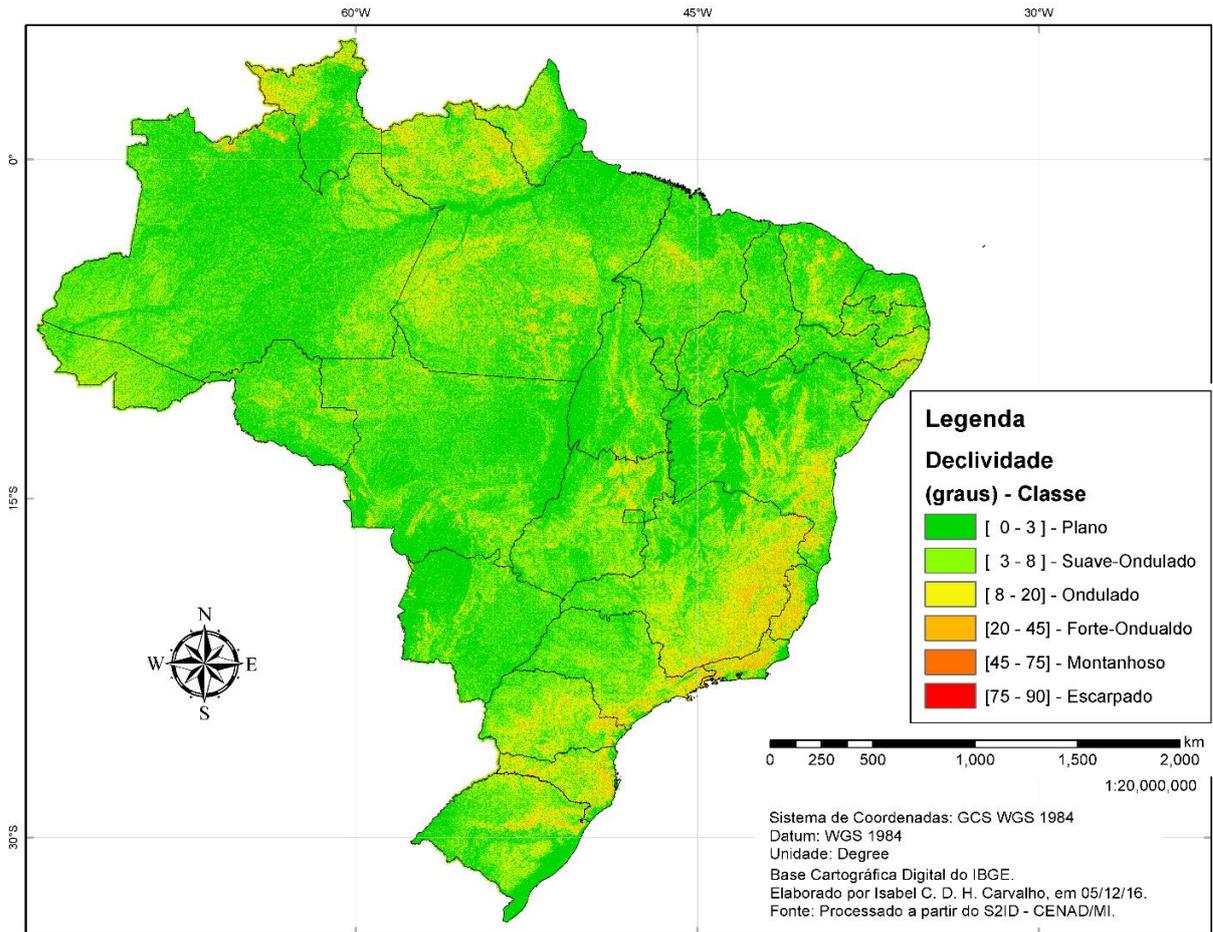


Figura 28 - Mapa de declividade (em graus), com resolução aproximada de 30 metros, do relevo brasileiro.

Mapa das Estações Pluviométricas Seleccionadas Segundo a Área de Abrangência dos Desastres

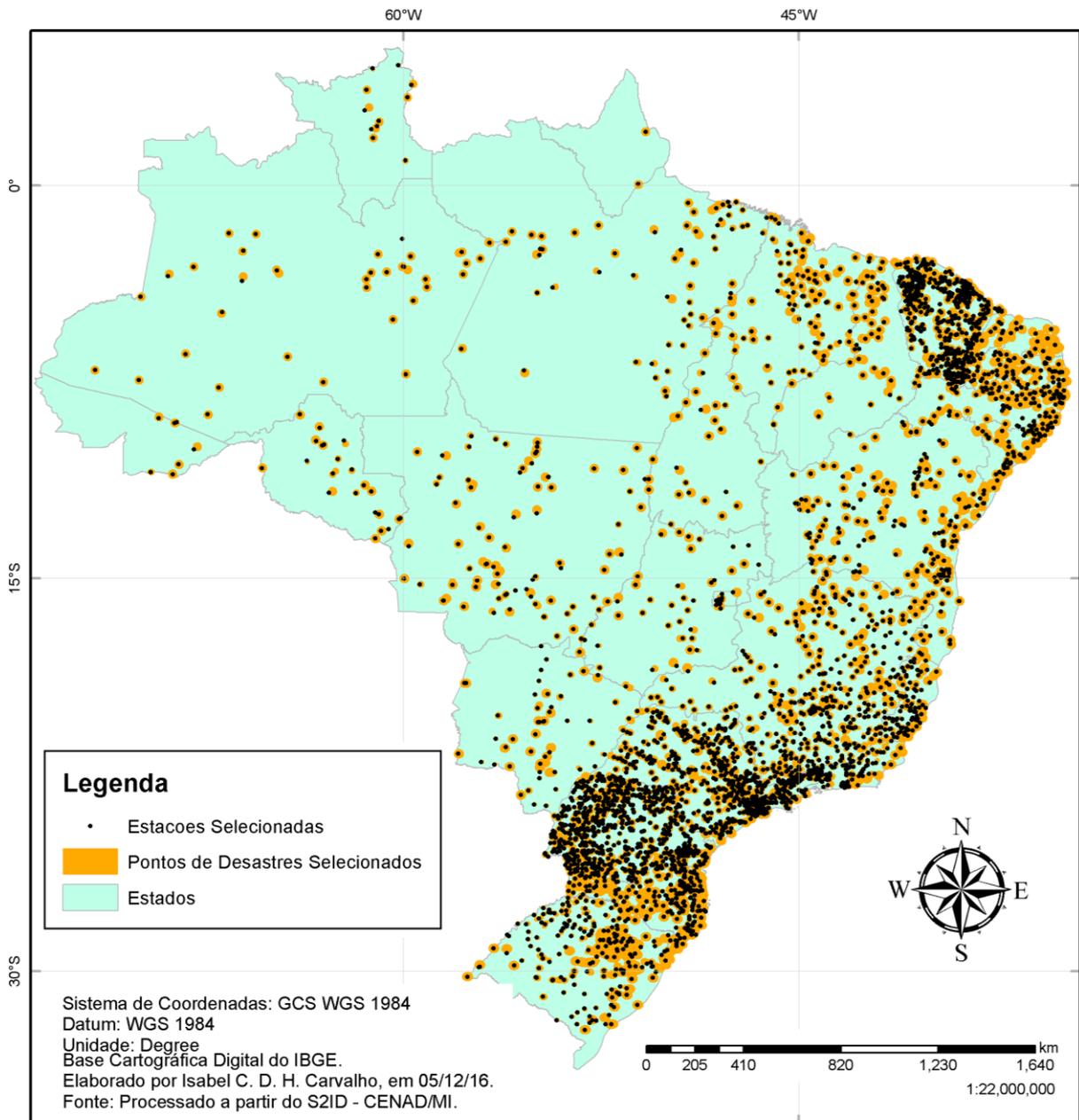


Figura 29 - Mapa das estações pluviométricas seleccionadas segundo a área de abrangência dos desastres.

Conforme pode ser observado na Figura 30, do total de 14.209 registros seleccionados após o cruzamento das bases de dados, 3.327 desastres ocorreram nas áreas com relevo do tipo suave-ondulado, seguido por 3.681 desastres naturais ocorridos em áreas de relevo tipo ondulado, 2.823 desastres registrados em áreas planas, 3.764 em áreas montanhosas, 414 desastres registrados em áreas de relevo escarpado e apenas 200 ocorridos em áreas com relevo do tipo

forte-ondulado. Na região Norte foram registrados 965 desastres naturais, sendo as áreas planas as mais atingidas (50,8%), seguida pelas áreas suave-onduladas (31,9%), áreas tipo ondulada (16,1%), e apenas 1,2% em áreas montanhosas e escarpadas. Na região Nordeste foram registrados 2.787 desastres naturais, onde 45,4% ocorreram em áreas de relevo suave-ondulado, 24,5% em relevo ondulado, 20,6% em áreas planas, 8,2% em áreas montanhosas, e apenas 1,4% dos desastres ocorreram em áreas de relevo forte-ondulado e escarpado. Na região Centro-Oeste foram registrados 742 desastres naturais distribuídos da seguinte forma: 35,8% em áreas de relevo do tipo suave-ondulado, 30,7% em relevo ondulado, 18,3% em locais planos, 12,8% em áreas montanhosas, 2,3% em relevo escarpado, e não houve registro em área de relevo forte-ondulado. Na região Sudeste foram identificadas 3.858 ocorrências de desastres naturais estando assim distribuídas: 42,7% em áreas de relevo montanhoso, 29,3% em relevo ondulado, 14,9% em áreas planas, 11,6% em relevo suave-ondulado e 1,6% em áreas escarpadas e forte-onduladas. Já na região Sul do Brasil foram registrados 5.857 desastres naturais, sendo 30,5% em locais de relevo montanhoso, 25,4% em relevo ondulado, 17,9% em áreas de relevo plano, 17,8% em relevo suave-ondulado, 5,2% em áreas escarpadas, e 3,3% em relevo forte-ondulado.

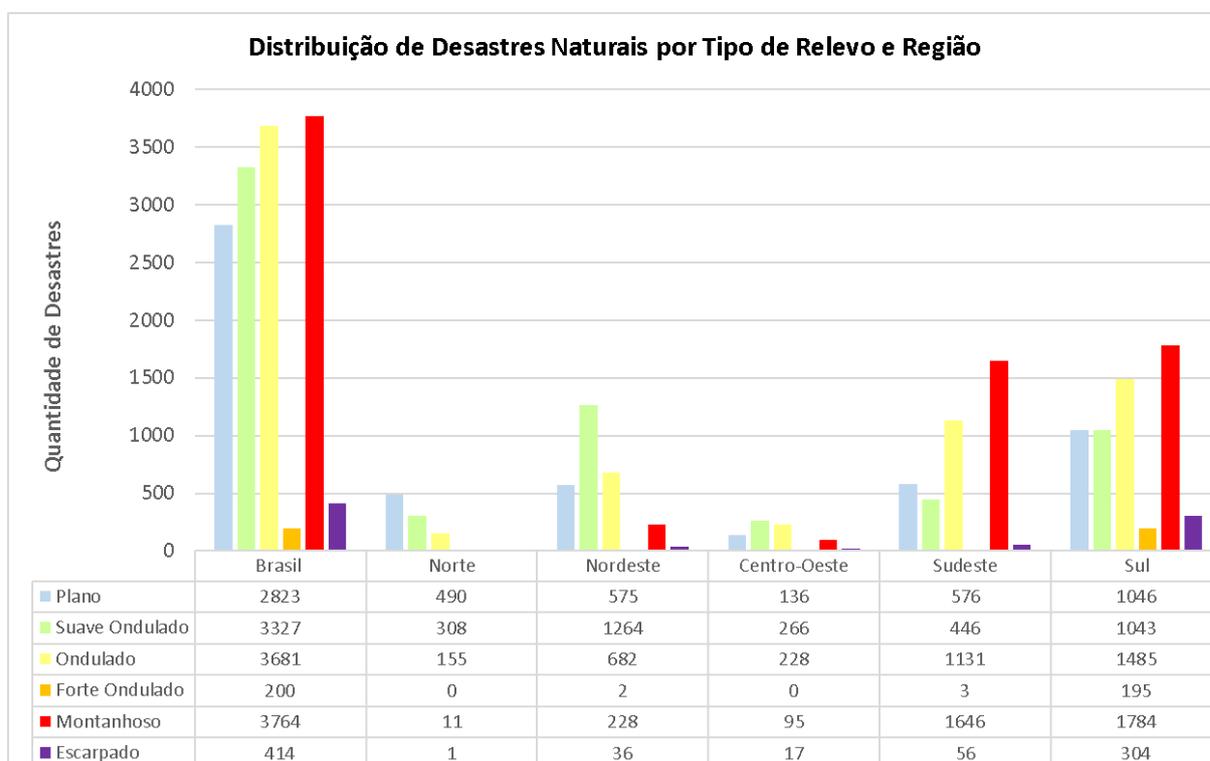


Figura 30 – Distribuição de desastres naturais por tipo de relevo e região brasileira, considerando a declividade das áreas atingidas pelos desastres naturais.

Na Figura 31 observa-se a distribuição dos tipos de desastres naturais decorrentes de precipitação positiva nas diferentes regiões do país. A Figura 32 apresenta a distribuição dos tipos de desastres naturais decorrentes de precipitação positiva por tipo de relevo. Analisando as Figura 31 e Figura 32 é possível observar que dos 555 eventos de alagamento a maioria ocorreram na região Sudeste (41,2%), 29,0% ocorreram na região Sul, 17,7% na região Nordeste e 7,2% e 5,0% nas regiões Norte e Centro-Oeste, respectivamente. Verifica-se que a parte dos casos de alagamento (27,6%) ocorreram em áreas de relevo do tipo suave-ondulado, 16,0% em relevo montanhoso (exceto na região Norte). Nas áreas de relevo forte-ondulado foram registrados apenas 0,2% de eventos de alagamentos todas no município de Turvo (SC).

Distribuição dos Desastres Naturais por Tipo e Região no Brasil

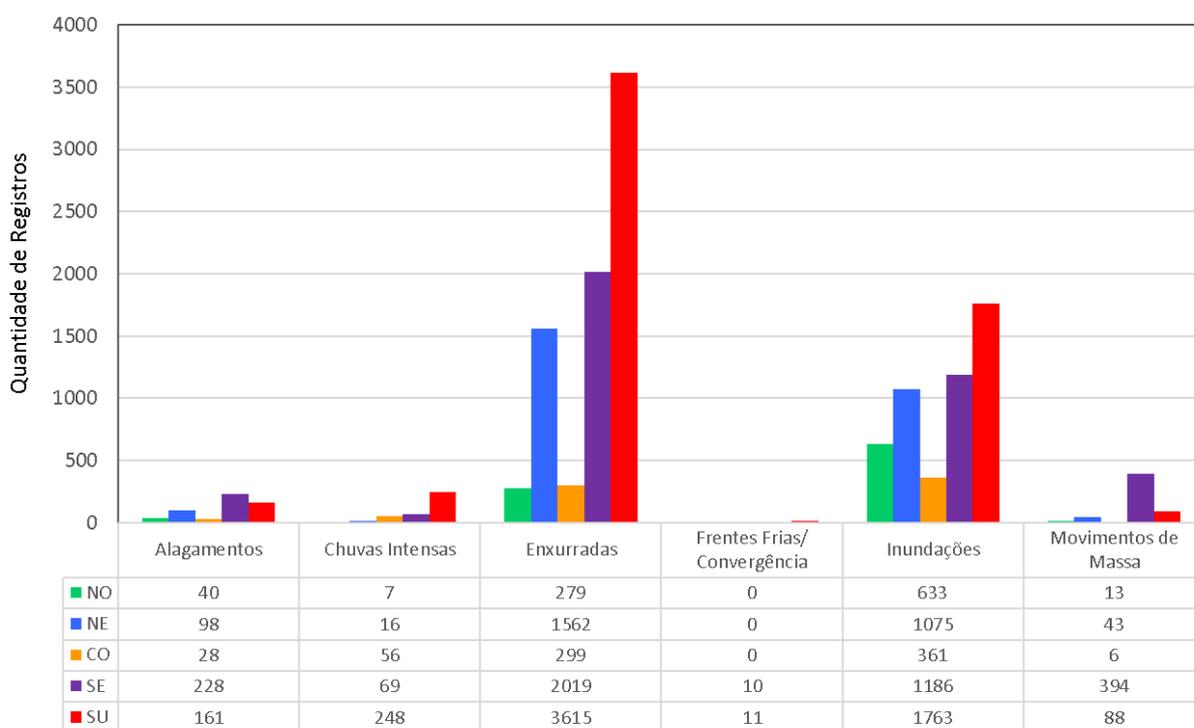


Figura 31 - Distribuição dos eventos de desastres naturais por tipo e região do Brasil.

Em relação às chuvas intensas foram observados 396 eventos em todo país. A maioria dos eventos ocorreram na região Sul (62,6%), seguido pela Sudeste (17,4%), Centro-Oeste (14,1%), Nordeste (4,0%) e Norte (1,8%). Observa-se na Figura 32 que 37,9% dos episódios de chuvas intensas ocorreram em áreas de relevo ondulado, 29,3% em relevo montanhoso, 18,4% em áreas suave-onduladas, 9,3% em áreas planas, 4,8% em áreas de relevo escarpado e apenas 0,3% nas áreas de relevo forte-ondulado.

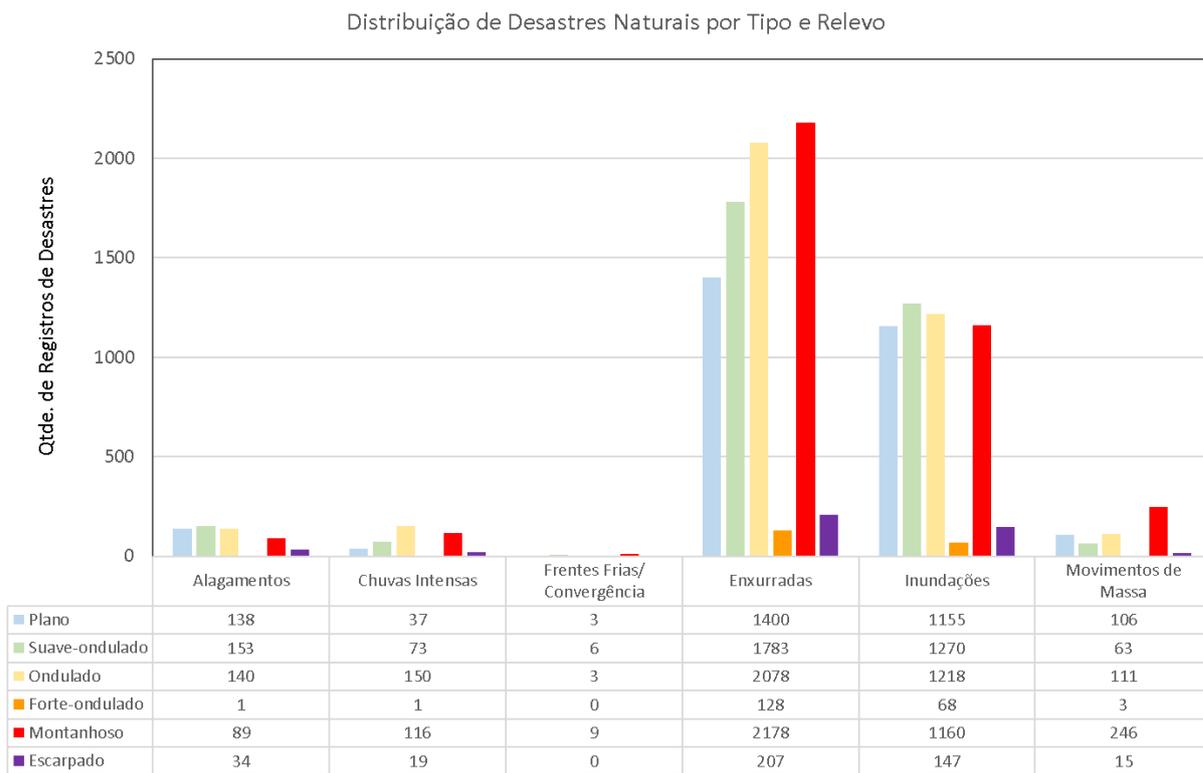


Figura 32 - Distribuição dos eventos de desastres naturais por tipo e classificação de relevô.

Foram registrados 7.774 eventos associados a enxurradas onde: 46,5% ocorreram na região Sul, 26,0% na região Sudeste, 20,1% no Nordeste, e apenas 3,8% e 3,6% nas regiões Centro-Oeste e Norte, respectivamente. Ao analisar a distribuição dos desastres registrados como enxurradas pelo Brasil observa-se que 22,9% ocorreram em áreas de relevô suave-ondulados, 26,7% em relevô ondulado, 18,0% em áreas planas, 28,0% em áreas montanhosas, 2,7% em áreas escarpadas, e apenas 1,6% em áreas de relevô forte-ondulado.

No que se refere à registros de desastres associados à ocorrência de Frentes-Frias/Zonas de Convergências, apenas 21 registros foram identificados na base de dados onde: 52,4% ocorreram na região Sul e 47,6% registrados ocorreram na região Sudeste. Nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste não foram registradas ocorrências na base de dados. Ao analisar a distribuição dos desastres de Frentes-Frias/Zonas de Convergências pelo Brasil observa-se que 28,6% dos registros ocorreram em áreas de relevô suave-ondulado, 42,9% em áreas montanhosas, 14,3% em áreas planas, 14,3% em relevô ondulado, e não foram identificados registros de desastres naturais decorrentes de frentes frias/zonas de convergências em áreas de relevô forte-ondulado e escarpado.

Em relação aos desastres naturais de inundações é possível observar que, dos 5.018 eventos registrados, a maioria ocorreu na região Sul (35,5%), 29% na região Sudeste, 23,6% na região Nordeste, seguido pelas regiões Norte e Centro-Oeste com 12,6% e 7,2%, respectivamente. Verifica-se, ainda, que 25,3% dos casos ocorreram em áreas de relevo do tipo suave-ondulado, 23,0% em relevo plano, 24,3% em relevo ondulado, 23,1% em áreas de relevo tipo montanhoso, 2,9% em relevo escarpado, e apenas 1,4% em relevo do tipo forte-ondulado.

Para os casos de desastres naturais caracterizados como movimentos de massas foram registrados 544 eventos no Brasil. A maioria dos eventos ocorreram na região Sudeste (72,4%), seguido pela Sul (16,2%), Nordeste (7,9%), Norte (2,4%) e Centro-Oeste (1,1%). Em relação ao tipo de relevo observa-se que 45,2% ocorreram em áreas montanhosas, 20,4% em relevo do tipo ondulado, 19,5% em áreas de relevo plano, 11,6% em relevo do tipo suave-ondulado, 2,8% em áreas de relevo escarpado e apenas 0,6% ocorreram em relevo do tipo forte-ondulado.

Para a compreensão da ocorrência de desastres naturais o relevo tem papel fundamental em sua evolução, amplitude e magnitude, possuindo vários componentes que contribuem para os eventos que podem evoluir para um desastre, especialmente a declividade e os tipos de relevos associados (GONÇALVES; VIZINTIM, 2017). Para representar os níveis de riscos a desastres naturais os componentes declividade e tipos de relevo foram aplicados nessa etapa do trabalho, identificando os níveis de risco com o tipo de desastre e com as estruturas do relevo. Ao analisar os resultados comparando os tipos de desastres com os tipos de relevo observa-se que: nos eventos de alagamentos e inundações (enchentes) a declividade influencia através das características planas do relevo, pois quanto mais plano o relevo maior o risco desses desastres. Já nos movimentos de massa (deslizamentos) e enxurradas o risco é inverso, quanto mais acidentado o relevo (maior a declividade) maior será o risco.

No geral, observa-se que os movimentos de massas ocorrem em áreas onde o terreno está exposto, ocupado, e sem a infraestrutura urbana de drenagem necessária para garantir que este tipo de desastre não ocorra. Os alagamentos têm relação direta com a impermeabilização do solo, onde poderá ser aplicado em novas pesquisas análises espaciais, por bacia hidrográfica ou por homogeneização de áreas pluviométricas, comparando a quantidade de ocorrências de desastres naturais com o percentual de área impermeabilizada, usando por base o mapeamento de áreas permeáveis. Assim, o mapeamento mostrará o percentual de área impermeável por bacia, por meio da média do percentual impermeável dentro da bacia, classificando em

diferentes classes de impermeabilização. Posteriormente, poderá ser feita a relação entre o número de ocorrências de desastres naturais por classe de impermeabilização. Também, poderá ser feita análises espaciais correlacionando o número de ocorrências de desastres com dados socioeconômicos, optando por analisar o número de ocorrências por densidade populacional, uma vez que este indicador é o dado que mostra impermeabilização do solo.

4.5. Caracterização dos dados pluviométricos

Esta seção visa apresentar as características gerais do conjunto de 3.746 estações pluviométricas selecionadas para este estudo, como resultado do cruzamento dos registros de eventos de desastres naturais e estações pluviométricas.

5.5.1. Caracterização geral da base de dados pluviométricos

A partir dos registros das estações pluviométricas selecionadas foi gerado um diagrama de disponibilidade dos dados de chuva (Figura 33). Neste diagrama as estações foram ordenadas por data de início de operação (mais antiga na base do diagrama), e os anos cujos registros foram considerados completos foram coloridos em azul. Os anos sem registro ou incompletos foram deixados em branco. São considerados completos os anos com mais de 90% dos registros diários preenchidos. Este tipo de gráfico é importante para se analisar a distribuição temporal dos dados utilizados (início da série histórica) e, sobretudo, indicar a quantidade e distribuição das falhas e interrupções existentes nas séries históricas.

Como complemento do diagrama de dados apresentado na Figura 33 foi gerado um gráfico da quantidade de estações pluviométricas, em funcionamento simultâneo, por regiões do país (Figura 34). Até meados da década de 1930 cerca de 135 estações pluviométricas operavam simultaneamente, sendo que períodos de aumentos significativos ocorreram em torno de 1940 (360 estações), 1942 (507 estações), 1960 (941 estações), 1962 (1.144 estações), 1975 (2.125 estações) e 1976 (2.461), com a quantidade máxima de 2.744 estações no ano de 1987. Ao final da década de 1980, apesar de novas estações iniciarem as operações, a quantidade de estações em funcionamento simultâneo decresceu (Figura 34).

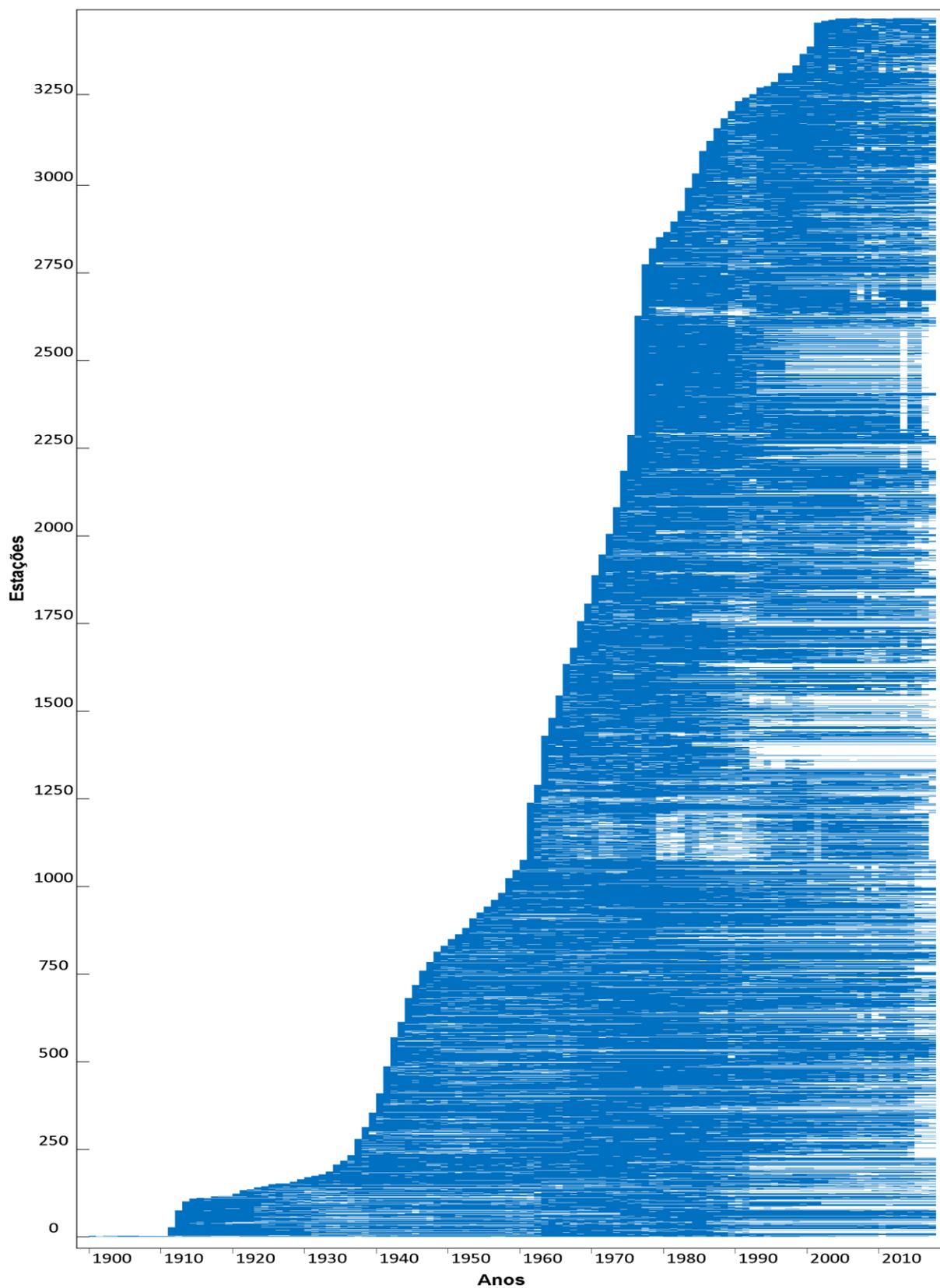


Figura 33 – Diagrama de disponibilidade dos dados das 3.746 estações pluviométricas selecionadas para este trabalho.

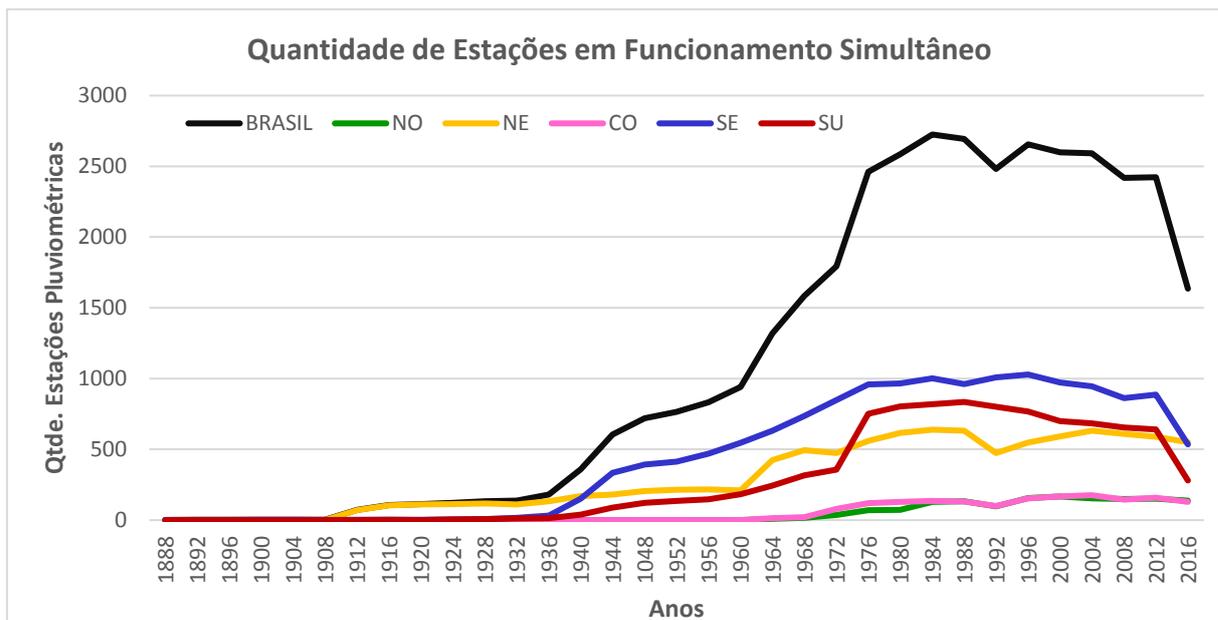


Figura 34 - Quantidade de estações pluviométricas em funcionamento simultâneo, referente ao período de 1888 a 2016.

A Tabela 11 apresenta um resumo de parâmetros estatísticos calculados a partir do conjunto das 3.746 estações pluviométricas selecionadas para o estudo. Para cada região administrativa, e para todo o país, foram calculados os seguintes parâmetros: número médio de dados (registros), número médio de dias com chuva, valor médio da chuva máxima, valor médio da chuva média, e valor médio do desvio padrão. Os valores apresentados foram obtidos a partir da média dos valores individuais calculados para cada estação. Estas informações fornecem uma visão geral de como estão distribuídos os dados selecionados para o estudo, e são relevantes para caracterizar as diferenças existentes entre as regiões do país.

A Tabela 11 mostra que, em média, as séries mais longas são encontradas na região sudeste e as mais curtas na região Norte. Em relação ao número médio total de dias com chuva a região sudeste também aparece em primeiro (devido as séries serem mais longas). Contudo, se considerarmos a razão entre a média de dias com chuva pela média do total de registros, verifica-se que a região Norte possui um índice bem mais elevado do que as demais regiões, com 41,2% de dias com chuva. A região Nordeste, por outro lado, possui apenas 22,5% de dias com chuva em média. No que concerne a média da chuva máxima, os valores de todas as regiões são bastante parecidos, ficando em torno de 200 mm/dia, com exceção da região Nordeste que apresenta valores médios de 169 mm/dia. Em relação ao desvio padrão (medida da variabilidade

dos acumulados diários de chuva), os maiores valores foram encontrados na região Sul e Centro-Oeste, e a menor variabilidade na região sudeste.

Tabela 11 – Parâmetros estatísticos, por região administrativa, calculados com base no conjunto de estações pluviométricas selecionadas.

Índice Estatístico(*)	Região Administrativa do Brasil					
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Brasil
Média de dias por estação	12957	15963	13368	19031	14720	16357
Média de dias com chuva por estação	5337	3594	3820	6082	4411	4775
Porcentagem da média de dias com chuva pela média do número total de registros	41.2%	22.5%	28.6%	32.0%	30.0%	29.2%
Média da chuva máxima (mm/dia)	197	169	199	200	197	191
Média da chuva média (mm/dia)	14.6	13.9	15.4	12.4	16.1	14.2
Média do desvio padrão (mm/dia)	17.5	16.0	18.2	15.8	18.1	16.8

*Os valores apresentados são a média dos valores individuais calculados para cada estação.

5.5.2. Análise preliminar de consistência dos dados pluviométricos

Nesta seção são apresentados os resultados de uma análise simplificada de identificação de falhas e consistência a que foram submetidos os dados pluviométricos selecionados para este trabalho. Primeiramente foi feito um estudo de disponibilidade dos dados e ocorrência de falhas/interrupções nas séries históricas, e em seguida realizou-se alguns procedimentos para identificação e correção de inconsistências nos registros diários e anuais das séries.

Embora não tenha sido realizado nenhum procedimento para preenchimento de falhas nos dados, uma vez que não seria relevante para o tipo de abordagem adotada neste estudo e, em alguns casos, podendo até interferir negativamente nas análises, foi realizada uma análise do comportamento geral da disponibilidade dos dados. De um total de 3.476 estações pluviométricas selecionadas, identificou-se que 3.000 estações (86,3%) apresentaram algum tipo de falha ou interrupção. Além disso, considerando a somatória de todas as estações, 19,7% (35.751 anos) do total de 181.569 anos registrados na base de dados, estão em branco ou incompletos.

Ao analisar as Unidades da Federação separadamente (Figura 35) observa-se que nas UFs da região Norte as estações pluviométricas apresentaram, em média, 38 anos de dados completos

e 6 anos de dados com falhas. Provavelmente isso está relacionado à indisponibilidade de dados históricos em áreas mais longínquas. Somente em 1961 foram instaladas as primeiras estações pluviométricas (13 estações) na região Norte. Na região Nordeste as 947 estações, em média, apresentaram 54 anos de dados disponíveis e 13 anos com dados falhos, com destaque para a Paraíba cujos dados apresentam em torno de 40% de falhas, o maior da base. No Centro-Oeste as 193 estações, em média, apresentaram 42 anos de dados e 8 anos de dados com falhas. Na região Sudeste as 1181 estações, em média, apresentaram 58 anos de dados disponíveis e 9 anos com falhas. No Sul as 975 estações, em média, apresentaram 48 anos de dados disponíveis e 10 anos com falhas, com destaque para a estação pluviométrica “2549006 - Curitiba/PR”, a mais longa da base com 117 anos completos de dados consistentes.

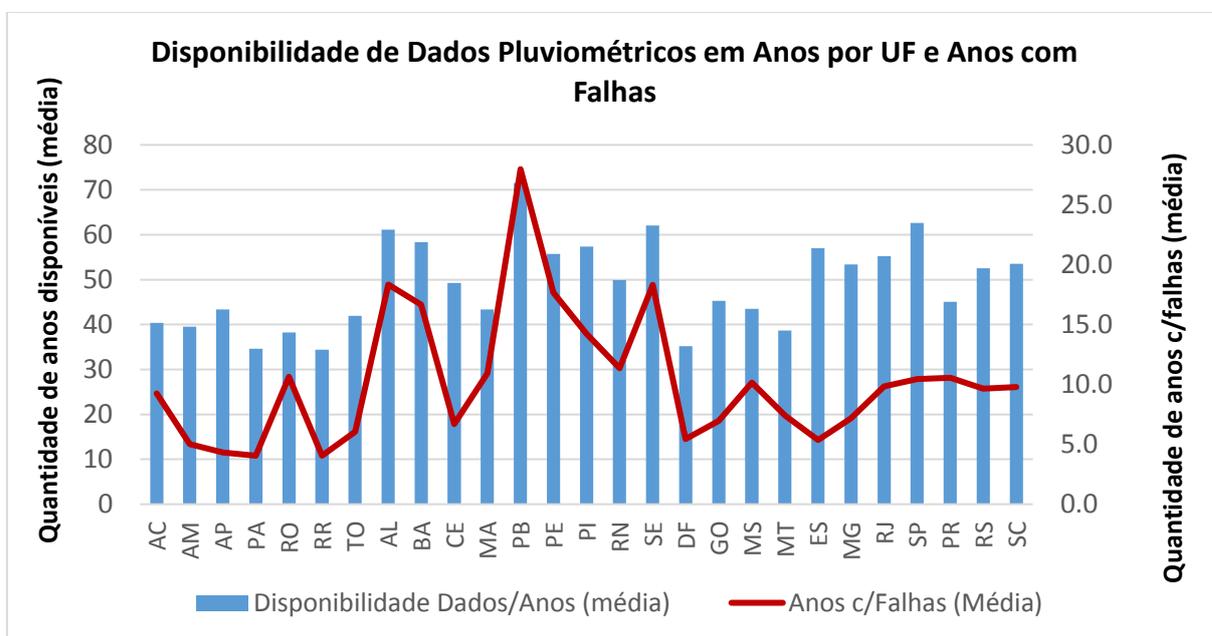


Figura 35 - Disponibilidade média de dados pluviométricos das estações meteorológicas por anos, nas Unidades da Federação, referente ao período de 1888 a 2016.

Em relação às inconsistências encontradas nos dados disponíveis, as mesmas podem ser resultantes de erros encontrados no preenchimento dos boletins pluviométricos por observadores como: preenchimento incorreto do cabeçalho e das leituras de acordo com o número de dias do mês, ilegibilidade das anotações, falta de decimal ou mais de um decimal, entre outros. Em resumo, para realização da análise simplificada de consistência dos dados, os seguintes critérios foram utilizados:

- presença de valores duplicados;

- presença de valores negativos;
- registros com valores diários acima de 350 mm/dia;
- totais mensais e anuais de precipitação muito elevado, conforme as normais climatológicas de cada região; e,
- valores diários acima do limite crítico fornecidos pelo teste de Grubbs-Beck.

O teste de Grubbs-Beck pode ser utilizado para testar a presença de *outliers* em um conjunto de dados. Ele pode ser usado para definir limites superiores e inferiores para *outliers* em uma série de dados como:

$$X_H = \bar{x} + k_N \cdot S_x$$

$$X_L = \bar{x} - k_N \cdot S_x$$

onde \bar{x} e S_x são a média e o desvio padrão do conjunto de dados e k_N o valor crítico para o teste de Grubbs-Beck de acordo com o conjunto de tamanho N e nível de significância α .

Os dados na série com valores maiores que X_H são considerados *outlier* superior, se forem menores que X_L são considerados *outlier* inferior.

O valor crítico para o teste é:

$$G_{crit} = \frac{(n-1)t_{crit}}{\sqrt{n(n-2+t_{crit}^2)}}$$

onde t_{crit} é o valor crítico para a distribuição t para T(n-2) graus de liberdade e nível de significância α/n .

Em uma primeira etapa, realizada de forma automática por meio de um programa desenvolvido no *software* R, os dados identificados segundo os critérios acima foram marcados e removidos. Os dados com registros duplicados e com valores negativos foram automaticamente excluídos das séries de dados. Os registros com valores diários e anuais acima do esperado foram considerados suspeitos e, em uma segunda etapa, os mesmos foram submetidos a uma avaliação manual. Nesta análise foram considerados fatores como: a estatística do histórico das estações, a quantidade de falhas, as inconsistências na série histórica (problemas com o observador das estações), análise visual dos gráficos e, quando possível, comparou-se com a média dos registros das estações próximas. Isto foi aplicado no intuito de não descartar os dados de

imediatamente os valores altos de precipitação, e aproveitar ao máximo o conjunto da série histórica dos dados extremos.

Ao aplicar a análise automática de consistência dos dados, do total de 56.857.509 registros diários de precipitação e 181.569 anos de dados, foram encontrados 530.861 registros duplicados (0.93% do total) distribuídos em 1631 estações. Além disso, foram encontrados 432 registros com valores de chuva negativa distribuídos em 4 estações. Tanto os registros em duplicidade quanto àqueles com valores negativos foram removidos das séries de dados.

Após a remoção dos registros duplicados e negativos, 442 registros diários foram considerados suspeitos por apresentar valores superiores a 350 mm/dia, e 622 totais anuais foram considerados suspeitos por apresentar valores que ultrapassaram 3.500 mm/ano.

A Figura 36 apresenta, por Unidades da Federação, a quantidade de registros de precipitação de chuva diária superior a 350 mm/dia e anual superior a 3.500 mm/ano. Os estados de São Paulo e Paraná apresentaram a maior quantidade de registros suspeitos, com respectivamente 246 e 80 registros anuais suspeitos, e 116 e 201 registros diários suspeitos cada. Não foram identificados registros suspeitos apenas nas estações pluviométricas nos estados do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul e Distrito Federal. Este cenário retrata o que Fetter (2016) já havia sugerido em sua pesquisa que uma quantidade significativa dos dados disponibilizados pela ANA merece investigação futura aprofundada.

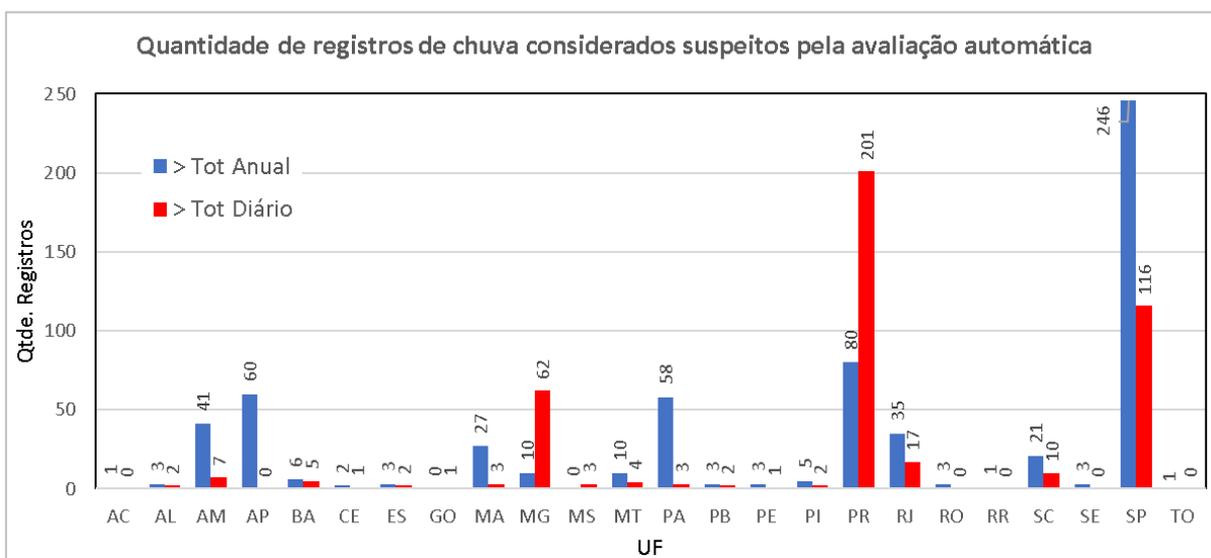


Figura 36 - Quantidade de registros de chuva considerados suspeitos na avaliação automática, nas Unidades da Federação. Em azul totais anuais > 3500 mm/ano e vermelho os registros diários > 350 mm/dia.

Em uma segunda etapa os dados considerados suspeitos foram avaliados seguindo uma análise manual e gráfica. A maioria dos dados suspeitos diários (268) puderam ser corrigidos por se tratar de valores visivelmente incorretos e que deveriam representar 0 na base. Outros 73 foram excluídos e 101 não puderam ser confirmados ou descartados, sendo considerados consistentes para efeito deste estudo. Boa parte dos valores altos estavam relacionados a dados acumulados de dois ou mais dias. Com a correção dos registros diários, 9 totais anuais ficaram abaixo do limite anual suspeito. Os demais 613 passaram por uma inspeção visual da série de dados (análise gráfica) e foram considerados consistentes para efeito deste estudo.

As Figuras Figura 37 e Figura 38 mostram exemplos de séries históricas de precipitação, para as estações 445010 - São João do Grajaá - MA e 2144003 – Caxambú-MG, antes e depois do processo da remoção de dados espúrios da série de dados.

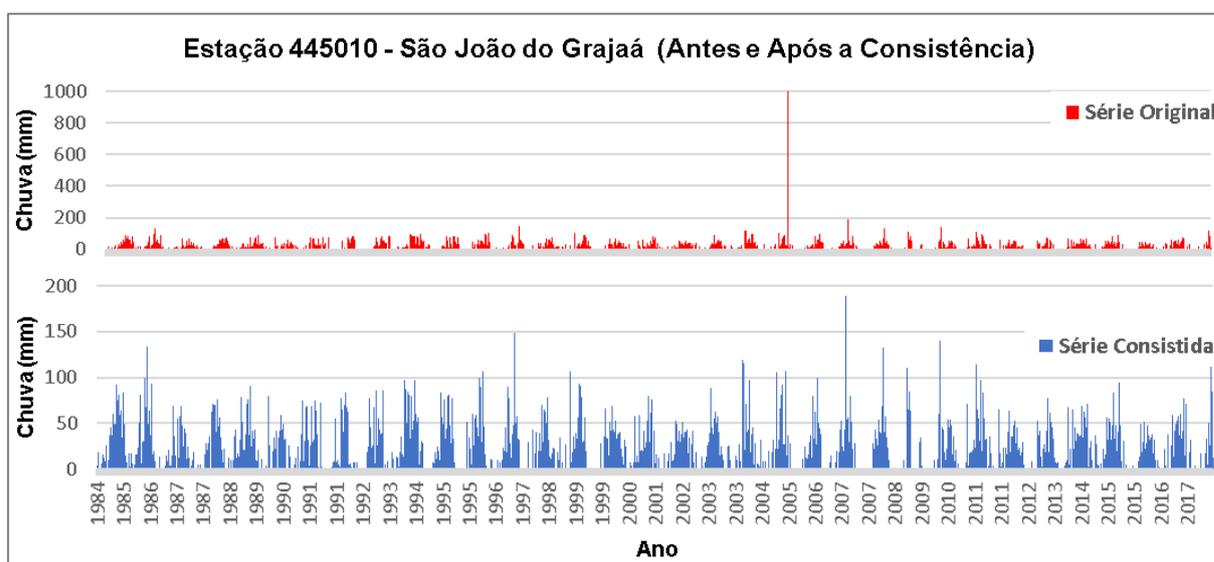


Figura 37 - Comparação entre as séries de dados de precipitação, da estação 445010 – São João do Grajaá-MA, antes e após a remoção de valores espúrios.

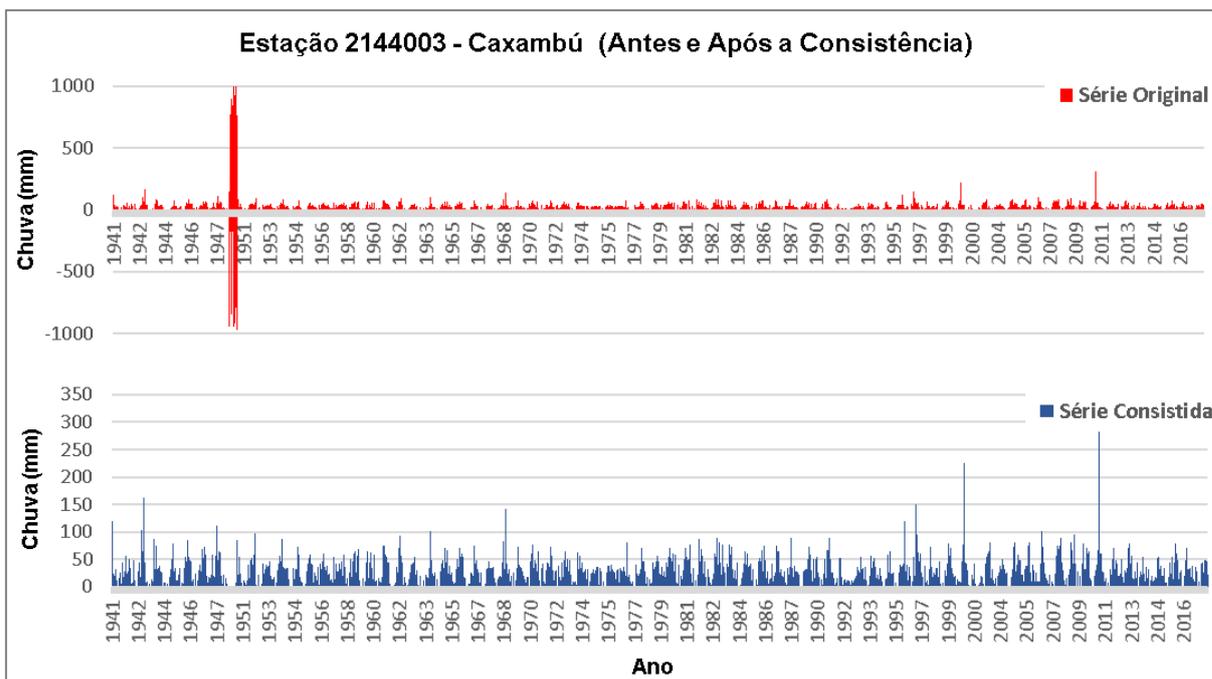


Figura 38 - Comparação entre as séries de dados de precipitação, da estação 2144003 – Caxambú-MG, antes e após a remoção de valores espúrios.

5.5.3. Classificação e Análises das Precipitações Pluviométricas

A partir da análise dos 106 anos de observações pluviométricas (Figura 39) foram extraídos alguns índices estatísticos que ajudam a caracterizar as a base de dados. Os histogramas da Figura 39(a) e (b) apresentam, respectivamente, a distribuição do número de dados por estações e distribuição do número de dias com chuva por estações. Estes índices mostram como está distribuído quantitativamente as séries históricas das estações selecionadas. Verifica-se que a maior parte das estações 2.437 (65%) possuem entre 7.500 e 22.500 registros diários de precipitação, e 2.060 (54%) das estações possuem entre 2.000 e 6.000 dias com chuva.

A Figura 39(c) apresenta a distribuição das máximas precipitações diárias (mm/dia) por estações. Verifica-se que quase três quartos das estações (74.3%) possuem máximo de precipitação histórica na faixa de 100 a 200 mm/dia, e quase um quarto das estações possuem precipitações máximas acima de 200 mm/dia. Menos de 1% das estações apresentaram registros de chuva máxima inferior a 100 mm/dia. A Figura 39(d) apresenta a distribuição dos quantitativos de precipitação (em mm/dia) equivalentes ao percentil de 95% por estações. O percentil de 95% é normalmente associado a chuvas muito fortes em um determinado local, e pode ser associado (de forma bem grosseira) a um tempo de retorno de cerca de 20 anos.

Verificou-se que a maioria das estações (75%) apresentaram os índices de Chuva Muito Forte (95% de percentil) concentrado na faixa de 35 a 55 mm/dia. Em torno de 16% das estações possuem valores de percentil de 95% superiores a 55mm/dia e apenas 8.5% abaixo de 35mm/dia.

Os dados pluviométricos foram analisados em escala diária, visto que no estudo de desastres naturais a avaliação da chuva com periodicidade diária (ou de preferência intradiária) é de fundamental importância tanto para a compreensão do comportamento da precipitação quanto para a avaliação dos seus impactos.

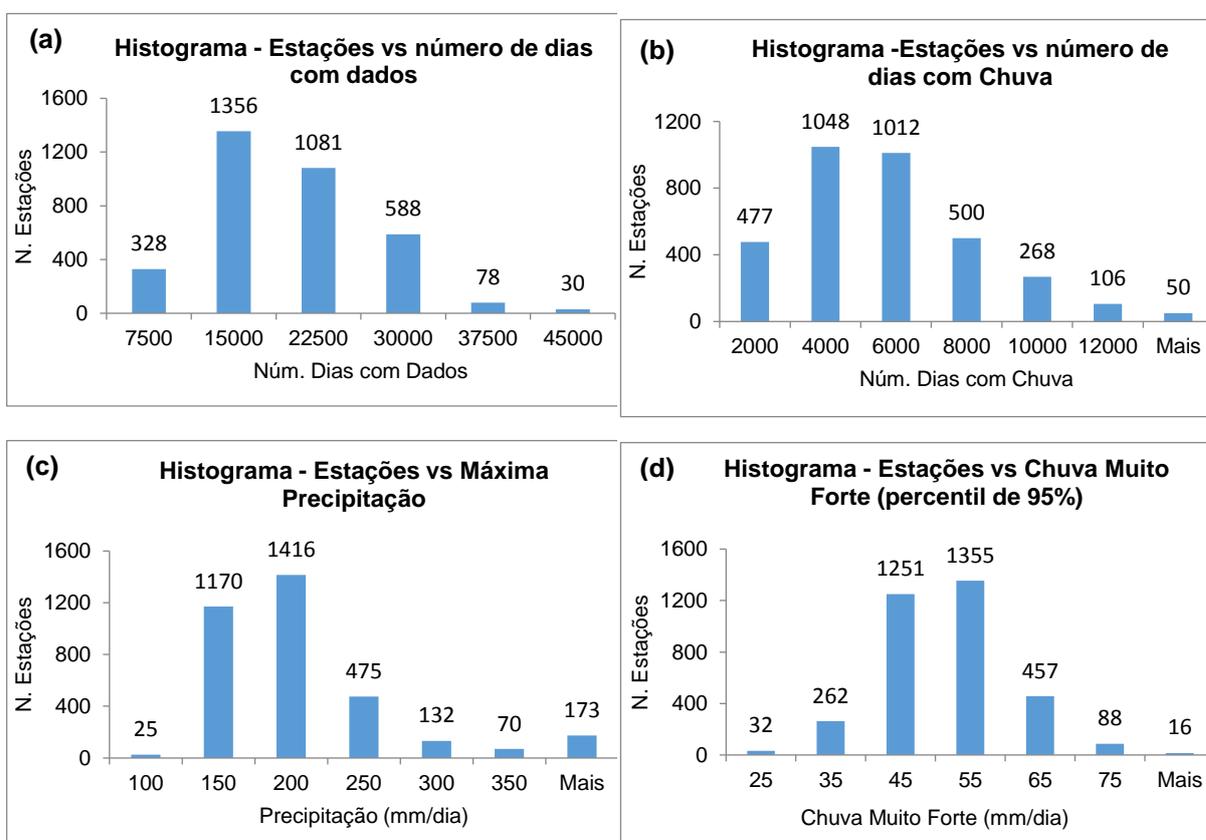


Figura 39 – Estatística do conjunto de estações pluviométricas selecionadas para o estudo (3.746 estações). (a) Histograma do número de dias com dados; (b) Histograma do número de dias com chuva; (c) Histograma da precipitação máxima diária (mm/dia); (d) Histograma dos valores considerados Chuva Muito Forte (percentil de 95%) (mm/dia).

Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 12 apresenta uma classificação da intensidade da precipitação diária, para as diferentes regiões do país, de acordo com a técnica dos quantis, apresentada na Seção 4.5.1.1. O propósito de desenvolver essas análises resulta-se do seguinte questionamento. A partir de

quantos milímetros uma chuva pode ser definida como um evento extremo de precipitação? Assim, para o trabalho em questão, a classe mais relevante diz respeito a faixa e probabilidade de ocorrência acima de 95% ($P \geq Q_{0.95}$).

Ressalta-se a importância de se calcular os valores limiares para cada região (e estação), visto que a chuva intensa é diferente de um local para outro devido a vários fatores de influência tais como: declive do terreno, cobertura de vegetação, altitude, rede hidrográfica, tempo e clima local, localização da estação pluviométrica, urbanização, entre outros.

Tabela 12 - Classificação da intensidade da precipitação diária (mm/dia), para as diferentes regiões do Brasil, segundo as faixas de probabilidade de ocorrência (técnica dos quantis).

Classes de intensidade de chuva (mm/dia) / Faixas de probabilidades	Região Administrativa do Brasil					
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Brasil
Sem Chuva	P = 0	P = 0	P = 0	P = 0	P = 0	P = 0
Dia Seco ($P < Q_{0.05}$)	P < 0.6	P < 1.2	P < 0.8	P < 0.4	P < 0.9	P < 0.8
Chuva Muito Fraca ($Q_{0.05} \leq P < Q_{0.25}$)	0.6 ≤ P < 3.2	1.2 ≤ P < 3.8	0.8 ≤ P < 3.5	0.4 ≤ P < 2.2	0.9 ≤ P < 3.9	0.8 ≤ P < 3.3
Chuva Fraca ($Q_{0.25} \leq P < Q_{0.50}$)	3.2 ≤ P < 8.6	3.8 ≤ P < 8.5	3.5 ≤ P < 9.2	2.2 ≤ P < 6.8	3.9 ≤ P < 10.1	3.3 ≤ P < 8.4
Chuva Moderada ($Q_{0.50} \leq P < Q_{0.75}$)	8.6 ≤ P < 19.6	8.5 ≤ P < 17.9	9.2 ≤ P < 20.7	6.8 ≤ P < 16.6	10.1 ≤ P < 22.1	8.4 ≤ P < 18.9
Chuva Forte ($Q_{0.75} \leq P < Q_{0.95}$)	19.6 ≤ P < 49.2	17.9 ≤ P < 45.2	20.7 ≤ P < 50.3	16.6 ≤ P < 43.0	22.1 ≤ P < 51.1	18.9 ≤ P < 46.7
Chuva Muito Forte ($Q_{0.95} \leq P < Q_{0.99}$)	49.2 ≤ P < 80.3	45.2 ≤ P < 75.9	50.3 ≤ P < 79.7	43.0 ≤ P < 71.7	51.1 ≤ P < 81.2	46.7 ≤ P < 76.4
Chuva Extrema ($P \geq Q_{0.99}$)	P ≥ 80.3	P ≥ 75.9	P ≥ 79.7	P ≥ 71.7	P ≥ 81.2	P ≥ 76.4

Fonte: Elaborado pela autora.

5.6. Análise Estatística dos Eventos de Desastres Naturais e Extremos Positivos de Precipitação

Nesta seção são apresentados os resultados de análises estatística obtidos a partir do estudo da relação entre os eventos de desastres naturais e extremos de precipitação.

5.6.1. Análise dos Eventos Extremos de Precipitação pela Técnica dos Quantis

A seguir são apresentados os resultados da análise dos eventos extremos de precipitação que originaram episódios de desastres naturais. Para se fazer uma análise uniformizada da frequência de precipitação em um período de 24 horas, as distribuições dos acumulados de precipitação foram agrupadas em 8 intervalos distintos, dividido nas seguintes classes de quantis: $P=Q_0$, $Q_0 \leq P < Q_{0.05}$, $Q_{0.05} \leq P < Q_{0.25}$, $Q_{0.25} \leq P < Q_{0.50}$, $Q_{0.50} \leq P < Q_{0.75}$, $Q_{0.75} \leq P < Q_{0.95}$, $Q_{0.95} \leq P < Q_{0.99}$, e $P \geq Q_{0.99}$, identificados nas séries de dados de precipitações das estações utilizadas. As 8 classes e os respectivos agrupamentos por quantis são apresentadas na Tabela 13, que mostra a distribuição de frequência da precipitação média para o conjunto de estações pluviométricas utilizadas neste trabalho. São apresentados o valor de corte para cada quantil, o número de ocorrência e a frequência acumulada para os valores acumulados de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15 e 30 dias.

Tabela 13 - Distribuição de frequência da precipitação média para o conjunto de estações pluviométricas seccionadas para o estudo. São apresentados os parâmetros da precipitação acumulada para 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15 e 30 dias.

Período de Dias	Parâmetro	Classe							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Acumulados		$P=Q_0$	$Q_0 \leq P < Q_{0.05}$	$Q_{0.05} \leq P < Q_{0.25}$	$Q_{0.25} \leq P < Q_{0.5}$	$Q_{0.5} \leq P < Q_{0.75}$	$Q_{0.75} \leq P < Q_{0.95}$	$Q_{0.95} \leq P < Q_{0.99}$	$P \geq Q_{0.99}$
1 Dia	Precipitação (mm)	0.00	0.77	3.26	8.42	18.89	46.52	76.48	Mais
	N. Ocorrências	20005	648	1714	2257	3215	4805	2694	2930
	Freq. Acumulada (%)	52%	54%	58%	64%	73%	85%	92%	100%
2 Dias	Precipitação (mm)	0.00	0.96	4.45	11.75	25.91	61.43	98.95	Mais
	N. Ocorrências	17240	520	1525	2462	3548	5667	3483	3823
	Freq. Acumulada (%)	45%	46%	50%	57%	66%	81%	90%	100%
3 Dias	Precipitação (mm)	0.00	1.13	5.52	14.66	31.86	73.70	117.12	Mais
	N. Ocorrências	15488	504	1507	2555	3709	6273	3937	4295
	Freq. Acumulada (%)	40%	42%	46%	52%	62%	78%	89%	100%
4 Dias	Precipitação (mm)	0.00	1.29	6.59	17.47	37.45	84.98	133.43	Mais
	N. Ocorrências	14581	425	1386	2425	3850	6700	4354	4547
	Freq. Acumulada (%)	38%	39%	43%	49%	59%	77%	88%	100%
5 Dias	Precipitação (mm)	0.00	1.46	7.69	20.29	42.92	95.60	148.59	Mais
	N. Ocorrências	13993	390	1327	2427	3897	6844	4671	4719
	Freq. Acumulada (%)	37%	38%	41%	47%	58%	75%	88%	100%
10 Dias	Precipitação (mm)	0.00	2.49	13.99	35.14	70.18	144.98	216.06	Mais
	N. Ocorrências	12616	309	1150	2190	4030	7865	5662	4446
	Freq. Acumulada (%)	33%	34%	37%	43%	53%	74%	88%	100%
15 Dias	Precipitação (mm)	0.00	4.02	21.38	50.98	97.62	190.96	277.16	Mais
	N. Ocorrências	12167	254	1038	2177	4054	8554	5700	4324
	Freq. Acumulada (%)	32%	32%	35%	41%	51%	74%	89%	100%
30 Dias	Precipitação (mm)	0.00	11.89	46.54	100.75	180.11	320.16	441.04	Mais
	N. Ocorrências	11712	284	772	2009	4451	9449	5741	3850
	Freq. Acumulada (%)	31%	31%	33%	39%	50%	75%	90%	100%

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 40 apresenta a distribuição de frequência da precipitação média para o conjunto de estações pluviométricas utilizadas neste trabalho. São apresentados o histograma para a precipitação acumulada de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15 e 30 dias.

Na Figura 40(a) observa-se a distribuição da precipitação diária, onde a maior parte dos eventos de chuva (4.805 registros) tiveram valores no intervalo da classe de percentil $Q_{0.75} \leq P < Q_{0.95}$, que equivale ao intervalo de 18.89 mm/dia a 46,52 mm/dia. No histograma a primeira coluna equivale a Classe 1 ($P=Q_0$), ou seja, o percentil corresponde a frequência de eventos de precipitação cruzados com os eventos de desastres que não houve identificação de precipitação (0 mm/dia). Assim, 20.005 registros (52% dos eventos) não apresentaram dados de precipitação. As possíveis causas que resultaram na inexistência de eventos de chuvas registrados, quando foram observados a ocorrência de desastres, podem estar associadas a fatores como: erros de medição (dados não confiáveis ou ausência de registros); chuvas que ocorreram no local do desastre, mas não foram detectadas pelas estações pluviométricas localizadas dentro da área de raio de influência, que dependendo do relevo pode chegar a 20km (conforme Tabela 10); incoerências nas distribuições espaciais dos eventos cruzados, onde as coordenadas geográficas dos desastres naturais registrados no Banco de Dados S2iD não representam as coordenadas reais dos desastres, pois foram utilizadas as coordenadas dos municípios, segundo classificação do IBGE; e incoerências nas distribuições temporais dos eventos de desastres cruzados, pois há uma diferença temporal entre as datas de ocorrências dos desastres informadas no S2iD e as datas efetivas das ocorrências de desastres, sendo parte das datas cadastradas de 1 a 3 dias à posteriori da ocorrência do evento.

De acordo com a análise dos dados percebeu-se que é possível a ocorrência de movimentos de massas considerando a intensidade de Chuva Fraca (Cf) - Classe 4 ($Q_{0.25} \leq P < Q_{0.50}$). Este fato ocorre quando há registros de dias consecutivos com chuvas anterior a um evento de Cf, contribuindo para encharcamento do solo, que fica mais vulnerável a ocorrência de algum desastre. Como exemplos pode-se mencionar os eventos registrados no dia 20/08/2007, por três estações pluviométricas localizadas na cidade de Recife (PE), com índices pluviométricos que variaram de 2,2 mm a 7,2 mm/dia, e acumulados de chuvas registrados nos 5 dias anteriores variando de 34,1 a 78,6 mm/5dias acumulados, como pode-se observar na Tabela 14.

Tabela 14 - Distribuição dos eventos de precipitação de chuvas acumuladas para a cidade de Recife (PE), que ocasionaram três registros de deslizamentos em 20/08/2007.

Estação Pluviométrica	Precipitação Acumulada Antes do Evento				
	10 dias	5 dias	3 dias	2 dias	Dia do Evento
834017 - Recife/Afogados	75	34,1	20	13,7	5,7
835048 - São Lourenço Da Mata II	126,6	78,6	47,5	33,2	7,2
82900 - Recife (Curado)	117,8	63,5	45,3	34,5	2,2

Fonte: Base de Dados Pluviométricos – Agência de Águas- ANA. Elaborado pela autora.

A Figura 40(b) apresenta a distribuição das precipitações de chuvas acumuladas para 2 dias, sendo que a Classe 1 ($P=Q_0$) registrou 17.240 eventos dias sem dados de precipitação. A maior parte dos eventos de precipitação (5.667 registros) ocorreram na classe 6, que corresponde a frequência de eventos entre valores de percentil $Q_{0.75} \leq P < Q_{0.95}$, que equivale ao intervalo de 25,9 a 61,4 mm/2dias.

Ao visualizar a sequência dos diferentes períodos acumulados, verifica-se que quanto maior o número de dias de precipitações acumuladas aumenta-se o viés para à direita da distribuição de frequências (na direção das classes mais altas). Isso mostra que, por levar em conta vários dias, a correlação com os eventos de desastres aumenta ou seja, verifica-se um aumento das frequências nas classes mais altas quando o período acumulado aumenta.

A partir da análise dos dados verificou-se que chuvas com intensidade acima do limiar da Chuva Muito Forte (acima de 46,7 mm), no Brasil, são classificados como eventos intensos de chuvas. Com isso, localizou-se os dias com registros de precipitação extrema ordenados pelos valores máximos obtidos em 24 horas, e classificou limiares relacionados aos eventos extremos, conforme Tabela 23. As Chuvas Muito Fortes (CMF) correspondem ao limiar entre $46.7 \leq P < 76.4$ mm, as Chuvas Extremas (CE) valores maiores que 76.4 mm/dia.

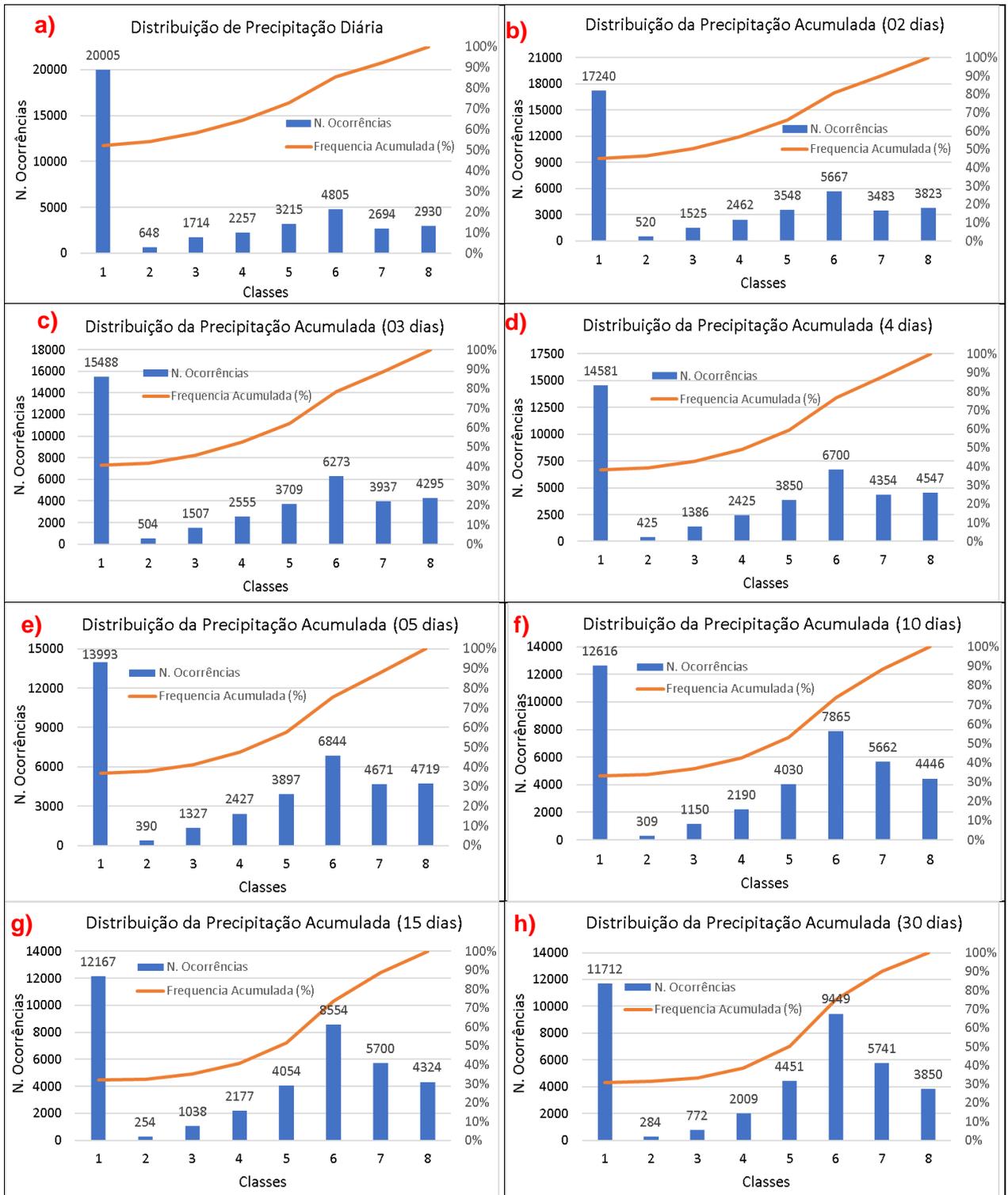


Figura 40 - Distribuição de frequência da precipitação média para o conjunto de estações pluviométricas utilizadas neste trabalho. São apresentados o histograma para a precipitação acumulada em 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15 e 30 dias.
 Fonte: Elaborado pela autora.

Após analisar a distribuição das precipitações positivas nas regiões do Brasil e definir os limiares de intensidade da precipitação, é de suma relevância analisar a frequência média observada e relativa mensal do número de observações diárias em cada classe de precipitação. Cabe salientar que o conhecimento e classificação da intensidade da chuva mensal contribuem para o planejamento dos municípios, desde a preparação ao enfrentamento à desastres naturais, emissão de alertas relacionados aos acumulados de chuvas no ano, determinação de meses secos ou chuvosos, monitorando a dinâmica e comportamento das chuvas, na prevenção à desastres naturais como na identificação de áreas de riscos, entre outros.

Na região Norte, de toda a série analisada das estações cruzadas, constatou-se que 8% da série histórica para a região são classificados como Chuva Forte (CF), 2% como Chuva Muito Forte (CMF), e 1,3% como Chuva Extrema (CE). A Figura 41 apresenta a frequência média observada de precipitação em relação à classificação (Dia seco (DS), Chuva muito fraca (Cmf), Chuva fraca (Cf), Chuva moderada (CM), Chuva forte (CF), Chuva muito forte (CMF) e Chuva extrema (CE), distribuídas nos meses de janeiro a dezembro, no período 1910 a 2016, em toda região Norte.

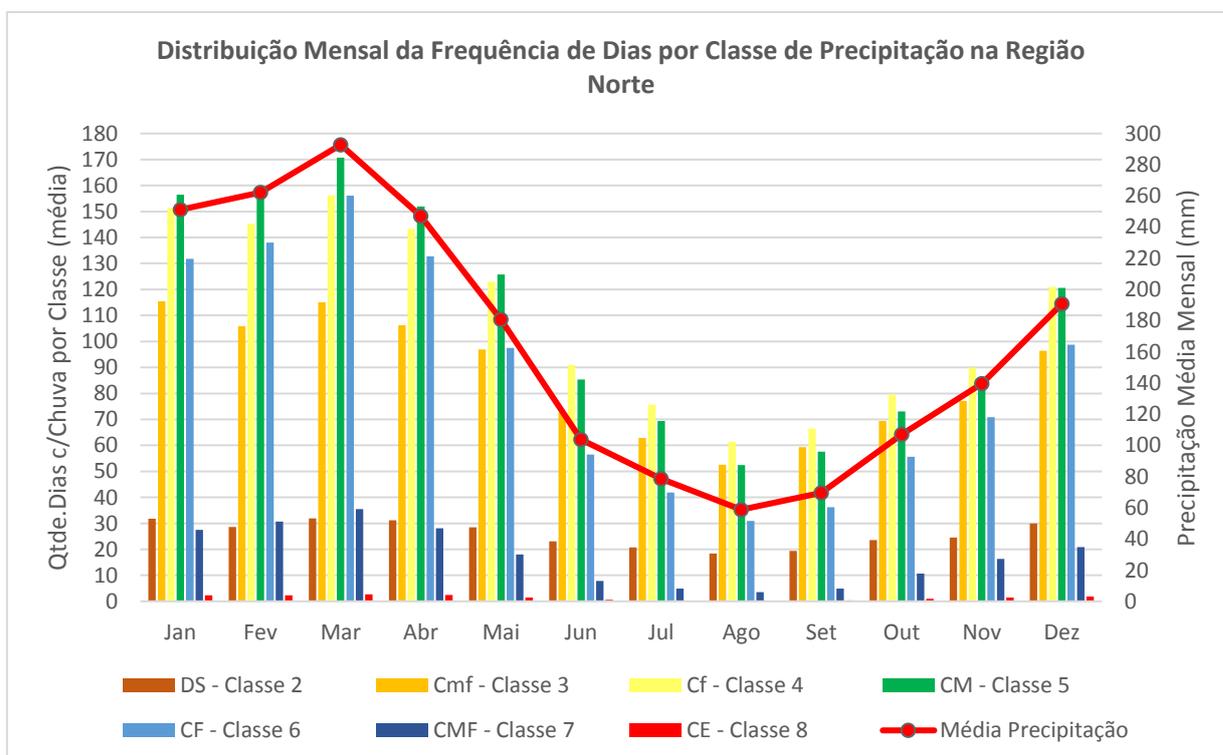


Figura 41 - Frequência média de dias para as classes de precipitação, por mês do ano para a região Norte. Fonte: Elaborado pela autora.

O período de julho a outubro apresentou pelo menos 4 dias com registro acima de 49,2 mm/dia, revelando que chuvas muito fortes podem ocorrer aleatoriamente neste período, e não necessariamente apenas durante a estação chuvosa. Cabe ressaltar que os meses de janeiro a junho e dezembro apresentaram em média duas ocorrências de Chuvas Extremas – CE. Eventos com a magnitude de CMF ocorrem em média 30 vezes com maior frequência nos meses de janeiro a abril. Considerando a classe CE são observados pelo menos 14 vezes num período de 12 meses, com maior frequência em março. Pode-se inferir destes resultados que chuvas com essas intensidades não são tão raras na região Norte, revelando mais uma vez a vulnerabilidade a que estão expostas grande parte da população.

As informações destacadas na Figura 42 mostram que os desastres naturais estão distribuídos por todos os meses, com maior ocorrência nos meses de março, abril e maio, mostrando que há uma relação direta entre quantidade média de precipitação e ocorrência de desastres. Ao analisar os registros da base de dados de desastres na região Norte verifica-se que, do total de 1.058 desastres naturais registrados, apenas 12 episódios foram decorrentes de Chuvas Extremas (CE) e variaram de 85 mm. a 148,2 mm/dia, conforme pode-se observar na Tabela 15.

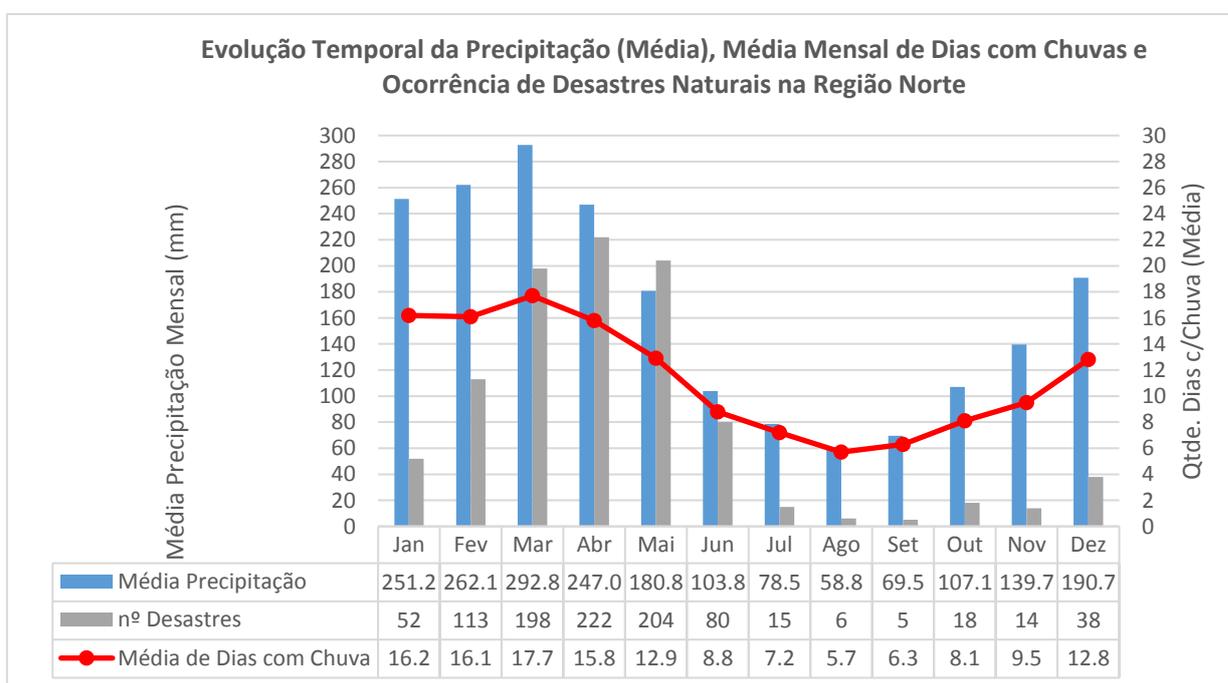


Figura 42 - Distribuição mensal das ocorrências de desastres naturais, média da precipitação e dias com chuva na região Norte.

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 15 - Descrição dos Eventos Extremos de Precipitação – Classe CE na região Norte e Tipos de Desastres Naturais Ocorridos.

Município-UF	Data Evento	Tipo Evento	Estação	Chuva (mm)
Marabá-PA	07/12/2014	Chuvas Intensas	0082562 - Marabá	148,2
Rondon do Pará-PA	17/11/2014	Mov.Massa	0448000 - Rondon do Pará	100
Itamarati-AM	31/03/2014	Alagamentos	0668000 - Santos Dumont	86,2
Itacoatiara-AM	16/05/2011	Enxurradas	0082336 - Itacoatiara	139
São Miguel do Guamá-PA	28/04/2011	Enxurradas	0147011 - Colônia Santo Antônio	133,5
Boa Vista-RR	13/05/2010	Alagamentos	0082024 - Boa Vista	127,2
Novo Progresso-PA	12/04/2010	Enxurradas	0755000 - Novo Progresso	130,1
Cacoal-RO	26/02/2010	Enxurradas	1161000 - Vista Alegre	94,1
Santarém-PA	06/06/2009	Inundações	0254000 - Santarém	122,7
Jacareacanga-PA	22/01/2009	Inundações	0657000 - Jacareacanga	130,9
Almeirim-PA	29/04/2005	Inundações	0152005 - Almeirim	96,8
Boa Vista-RR	20/06/1996	Enxurradas	0082024 - Boa Vista	122,5

Fonte: Elaborado pela autora.

Na região Nordeste, de toda a série analisada das estações cruzadas, constatou-se que 4% (699 dias) dos registros foram classificados na categoria Chuva Forte (CF), 1% (139 dias) Chuva Muito Forte (CMF) e apenas 7 dias (menos de 1%) como Chuva Extrema (CE). A Figura 43 apresenta a frequência média observada de precipitação de chuvas em relação à classificação DS, Cmf, Cf, CM, CF, CMF e CE, distribuídas nos meses de janeiro a dezembro, no período 1910 a 2016, em toda região Nordeste.

Como demonstra a Figura 44 os desastres naturais estão distribuídos por todos os meses, com maior ocorrência nos meses de fevereiro, abril e maio. Já os meses de agosto a novembro apresentam menor número de ocorrência de desastres naturais. Ao analisar a frequência dos desastres no banco de dados, observou-se que em toda série histórica de desastres ocorridos na região Nordeste (6.756 registros), 408 (6,03%) desastres naturais ocorreram devido as Chuvas Extremas – CE. Os desastres naturais resultantes de precipitações de Chuvas Extremas variaram de 75,9 mm a 264,4 mm/dia, onde os menores valores foram registrados no município de Floresta (PE) em 24/01/2004, estação pluviométrica nº 838021, causando desastres de enxurradas; e no município de Itanhém (BA) em 07/03/2010, estação nº 1740008, também causando desastres de enxurradas. Nesta classe de CE os desastres naturais que foram registrados são: enxurradas (231 episódios), inundações (133), movimentos de massas (23), alagamentos (16) e chuvas intensas (05).

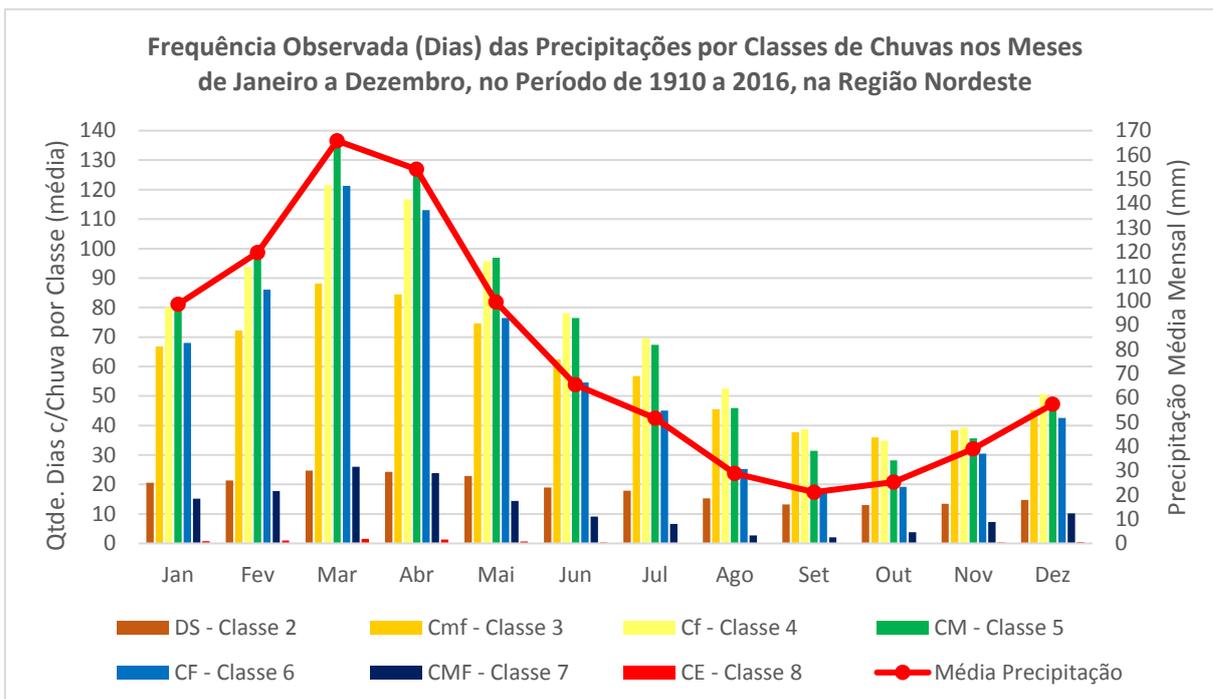


Figura 43 - Frequência média de dias para as classes de precipitação, por mês do ano para a região Nordeste.

Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela 16 estão descritos 13 registros de desastres naturais ocorridos pelos maiores valores de eventos extremos de precipitação da classe de Chuvas Extremas – CE, na base de dados da região Nordeste.

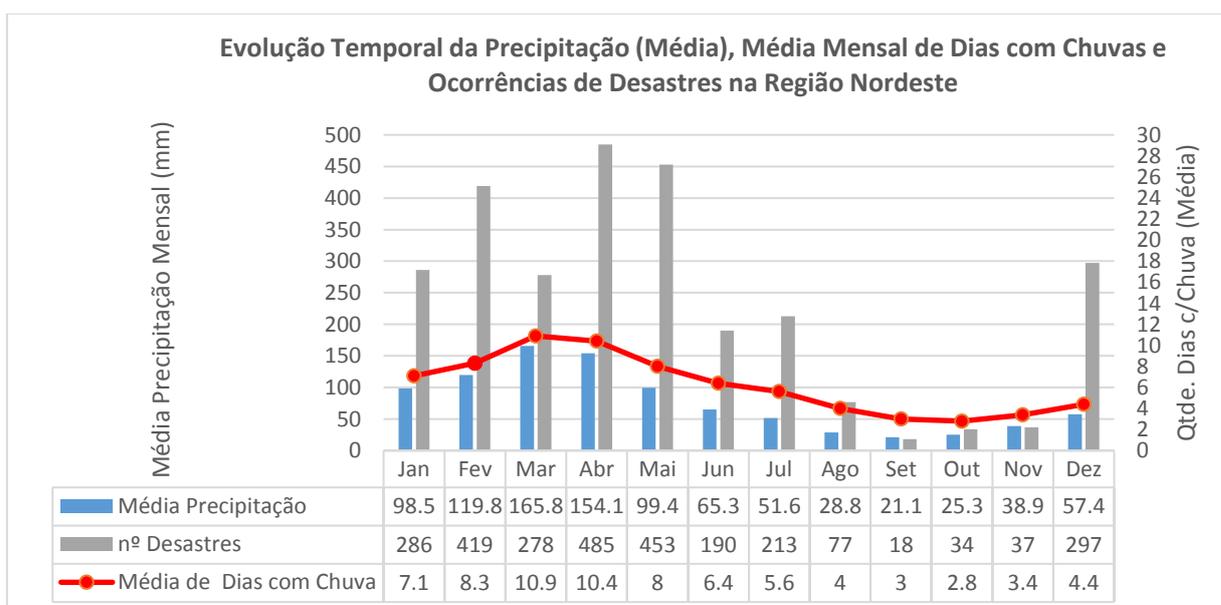


Figura 44 - Distribuição mensal das ocorrências de desastres naturais, média da precipitação e dias com chuva na região Nordeste.

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 16 - Descrição dos Eventos Extremos de Precipitação – Classe CE na região Nordeste e Tipos de Desastres Naturais Ocorridos.

Município	Data_Evento	Tipo_Evento	Estação	CE (mm)
Natal-RN	15/06/2014	Chuvas Intensas	00082598 - Natal	222
Cairu - BA	28/11/2013	Enxurradas	01339044 - Nilo Peçanha	240
Nilo Peçanha - BA	28/11/2013	Enxurradas	01339044 - Nilo Peçanha	240
Taperoá - BA	28/11/2013	Enxurradas	01339044 - Nilo Peçanha	240
Rio Largo - AL	05/06/2010	Enxurradas	00935056 – Fazenda Boa Fortuna	203,7
Caxias - MA	20/04/2009	Inundações	00082476 – Caxias	235,2
Patos - PB	14/04/2009	Enxurradas	00082791 - Patos	258,2
Olinda - PE	02/06/2005	Mov.Massa	00834017 - Recife / Afogados	101,7
Fortaleza - CE	07/03/2004	Enxurradas	00338034 - Eusébio	253
Salvador - BA	04/05/2003	Mov.Massa	01338009 - Coroa	130,3
Paulista - PE	01/08/2000	Alagamentos	00834017 - Recife / Afogados	237,4
Ipojuca - PE	01/08/2000	Enxurradas	00835138 - Pirapama	200,6
Salvador - BA	21/04/1996	Enxurradas	00083229 – Salvador (Ondina)	232,5

Fonte: Elaborado pela autora.

Na região Centro-Oeste, observou-se que a categoria Chuva Forte (CF) registrou 749 dias, com 6% da série histórica para a região. Em relação à Chuva Muito Forte (CMF), foram registrados 150 dias dentro desta categoria, representando 1% da série de dados. Na categoria de Chuva Extrema (CE) foram computados apenas 13 dias de chuvas, menos de 1% da série de dados. A Figura 45 apresenta a frequência média observada de precipitação de chuvas em relação à classificação DS, Cmf, Cf, CM, CF, CMF e CE, distribuídas nos meses de janeiro a dezembro, no período 1910 a 2016, em toda região Centro-Oeste.

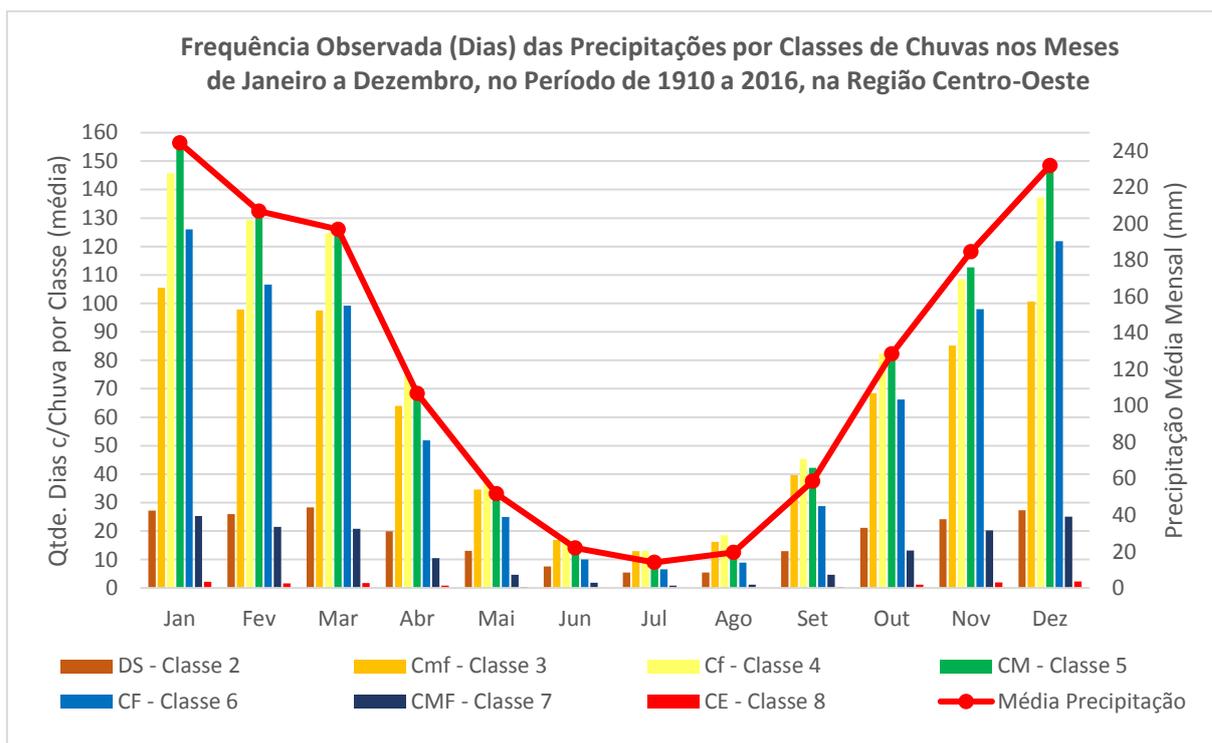


Figura 45 - Frequência média de dias para as classes de precipitação, por mês do ano para a região Centro-Oeste.

Fonte: Elaborado pela autora.

Como mostrado na Figura 46, os desastres naturais estão distribuídos por todos os meses, com maior ocorrência nos meses de janeiro a abril e dezembro. Já os meses de julho e setembro apresentam menor número de ocorrência de desastres naturais, 9 e 7 casos registrados, respectivamente. Ao analisar a frequência dos desastres no banco de dados, observou-se que em toda série histórica de desastres ocorridos na região Centro-Oeste (1.050 registros), 39 (3,71%) desastres naturais ocorreram devido as Chuvas Extremas – CE, com variações entre 80,4 mm a 224,8 mm, onde os menores valores de precipitação da classe foram registrados no município de Novo Gama (GO) em 02/02/2005, estação pluviométrica nº 1548010, causando desastres de enxurradas; e no município de Batayporã (MS) em 27/09/2010, estação nº 2253014, causando desastres de alagamentos. Na região Centro-Oeste, os desastres naturais registrados dentro da classe de Chuvas Extremas – CE foram: enxurradas (23 episódios), inundações (10), alagamentos (05) e chuvas intensas (01). Não houve registro de desastres de movimentos de massas. Na Tabela 17 estão descritos 12 registros de desastres naturais ocorridos pelos maiores valores de eventos extremos de precipitação da classe de Chuvas Extremas – CE, na base de dados da região Centro-Oeste.

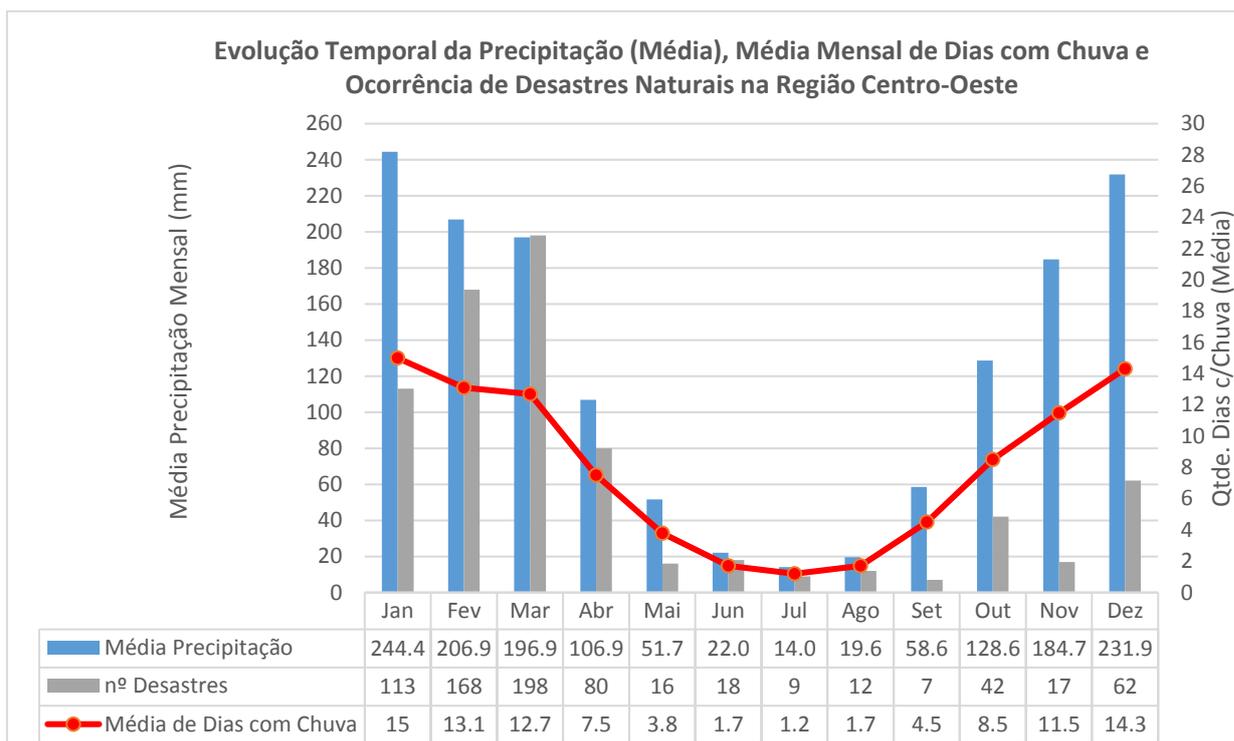


Figura 46 - Distribuição mensal das ocorrências de desastres naturais, média da precipitação e dias com chuva na região Centro-Oeste.

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 17 - Descrição dos Eventos Extremos de Precipitação – Classe CE na região Centro-Oeste e Tipos de Desastres Naturais Ocorridos.

Município	Data_Evento	Tipo_Evento	Estação	CE (mm)
Vera - MT	22/02/2007	Enxurradas	00083264 - Gleba Celeste	224,8
Juara - MT	15/02/2010	Enxurradas	01157001 - Juara	190,4
Juara - MT	20/02/1998	Enxurradas	01157001 - Juara	186,4
Matupá - MT	11/03/2006	Enxurradas	01055000 - Estrada Cuiabá - Santarém	182,5
Itaberaí - GO	04/01/2011	Enxurradas	01649007 - Itaberaí	171
Porto Murinho - MS	07/04/2013	Alagamentos	02157004 - Porto Murinho	149,6
Miranda - MS	05/04/2013	Inundações	02056001 - Miranda	139,5
Padre Bernardo - GO	10/02/2004	Inundações	01548002 - Padre Bernardo	130,2
Bela Vista - MS	17/02/2010	Enxurradas	02256001 - Bela Vista	130,1
Nova Xavantina - MT	11/01/2011	Enxurradas	00083319 - Nova Xavantina (Xavantina)	129,3
Cromínia - GO	08/04/2006	Enxurradas	01749009 - Cromínia	127,2
Novo Gama - GO	02/02/2005	Enxurradas	00083373 - Roncador	100,4

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com a análise dos dados, na região Sudeste, observou-se que a categoria Chuva Forte (CF) registrou 1.193 dias, com 6% da série histórica para a região. Em relação à Chuva Muito Forte (CMF) foram registrados 239 dias dentro desta categoria, representando 1% da série de

dados. Na categoria de Chuva Extrema (CE) foram computados apenas 19 dias de chuvas, representando menos de 1% da série de dados. A Figura 47 apresenta a frequência média observada de precipitação de chuvas em relação à classificação DS, Cmf, Cf, CM, CF, CMF e CE, distribuídas nos meses de janeiro a dezembro, no período 1910 a 2016, em toda região Sudeste.

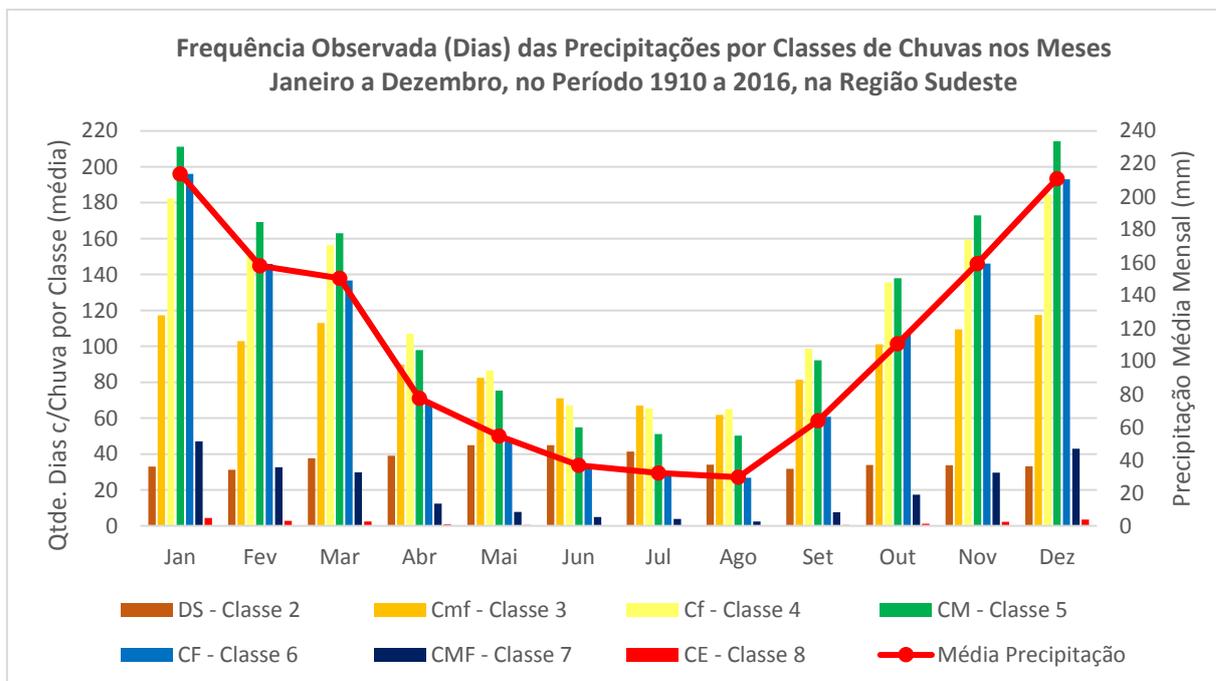


Figura 47 - Frequência média de dias para as classes de precipitação, por mês do ano para a região Sudeste.

Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 48 verifica-se que os desastres naturais estão distribuídos por todos os meses, com maior ocorrência nos meses de janeiro a abril e novembro a dezembro, destacando os meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro. Já os meses de julho e agosto apresentam menor número de ocorrência de desastres naturais, 16 e 25 casos registrados, respectivamente. Ao analisar a frequência dos desastres no banco de dados observou-se que, dos 13.345 registros, 1.063 (8%) desastres naturais ocorreram devido as Chuvas Extremas – CE, variando de 71,9 mm. a 400,4 mm, onde os menores valores de precipitação da classe foram registrados no município de Barra de São Francisco (ES) em 30/10/2009, estação pluviométrica nº 1840004, causando desastres de movimentos de massa; e no município de Praia Grande (SP) em 13/01/2001, estação nº 2346090, causando desastres de enxurradas. Na região Sudeste os desastres naturais registrados dentro da classe de CE foram: enxurradas (589 episódios), inundações (266), movimentos de

massas (110), alagamentos (83), chuvas intensas (14) e desastres de frentes frias/zonas de convergências, com apenas um registro.

Na Tabela 18 estão descritos 13 registros de desastres naturais ocorridos pelos maiores valores de eventos extremos de precipitação da classe de Chuvas Extremas – CE, na base de dados da região Sudeste.

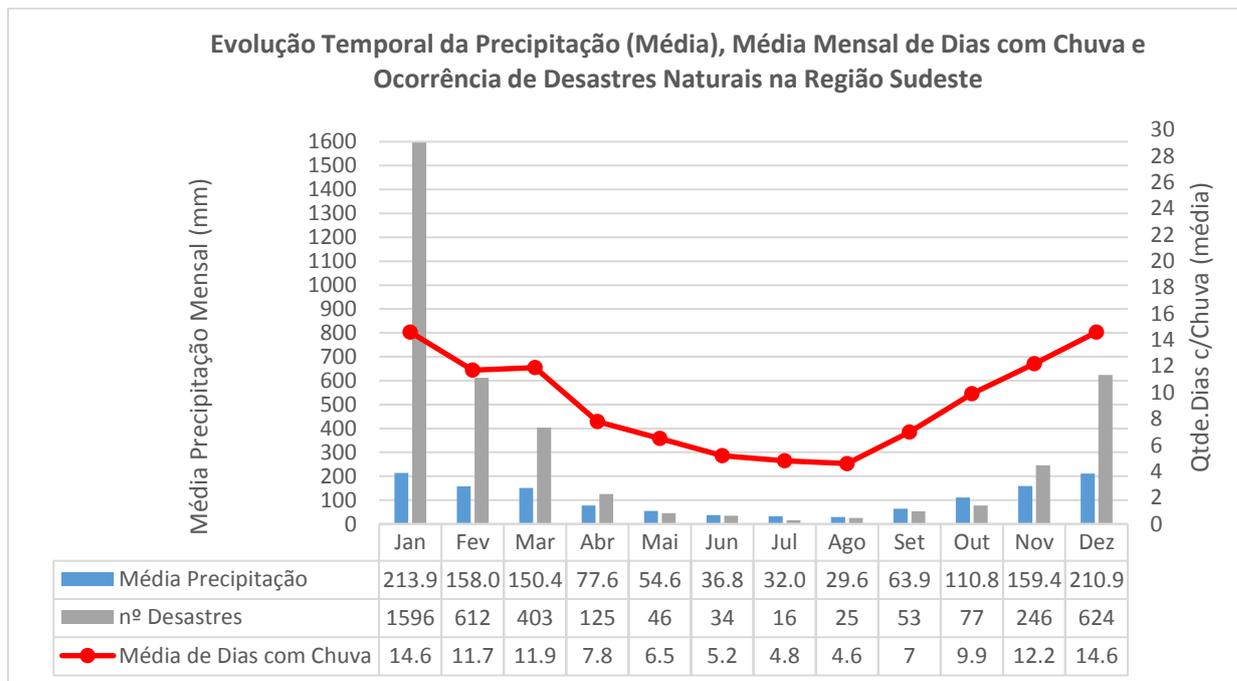


Figura 48 - Distribuição mensal das ocorrências de desastres naturais, média da precipitação e dias com chuva na região Sudeste.

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 18 - Descrição dos Eventos Extremos de Precipitação – Classe CE na região Sudeste e Tipos de Desastres Naturais Ocorridos.

Município	Data Evento	Tipo Evento	Estação	CE (mm)
Bertioga - SP	17/01/1992	Enxurradas	2346065 - Represa Itatinga	360
Cubatão - SP	17/01/1992	Enxurradas	2346082 - Cubatão	340,1
Guarujá - SP	17/01/1992	Enxurradas	2346082 - Cubatão	340,1
Santos - SP	17/01/1992	Enxurradas	2346082 - Cubatão	340,1
São Miguel Arcanjo - SP	26/01/2004	Enxurradas	2347050 - São Miguel Arcanjo	330,7
Quissamã - RJ	29/01/2008	Enxurradas	2241002 - Usina Quissamã	312,8
Cubatão - SP	17/01/1992	Enxurradas	2346084 - Rodovia Anchieta	291,6
Santos - SP	17/01/1992	Enxurradas	2346084 - Rodovia Anchieta	291,6
Juquiá - SP	15/02/2014	Inundações	2447044 - Miracatu	285
Cerqueira César - SP	08/12/2009	Mov.Massa	2349002 - Cerqueira Cesar	230
Petrópolis - RJ	24/12/2001	Mov.Massa	2243009 - Petrópolis	220,1
Vitória - ES	19/03/2013	Mov.Massa	0083648 - Vitória	171,2
São Luís do Paraitinga-SP	01/01/2010	Enxurradas/Mov.Massa	2345065 – São L. do Paraitinga	67,4

Fonte: Elaborado pela autora.

No interior de São Paulo destacam-se outros episódios, como foram os casos de enxurradas e movimentos de massas ocorridos no município de São Luís do Paraitinga (SP), em 31 de dezembro de 2009 a 01 de janeiro de 2010. As chuvas máximas diárias de janeiro foram classificadas como chuvas fracas, mas, quando se observa as chuvas acumuladas que antecederam o evento estas foram classificadas como chuvas moderadas, muito fortes e extremas. Nesse caso, somente o estudo das máximas diárias não seria suficiente para explicar a inundação brusca histórica ocorrida no município. O rio Paraitinga subiu cerca de 11 metros acima de seu nível normal, o rio do Chapéu subiu 6 metros e o centro histórico da cidade ficou completamente inundado e houve escorregamentos em áreas rurais e urbanas. Segundo o relatório de Avaliação de Danos – AVADAN, do dia 01/01/2010, 11.000 pessoas foram afetadas, 4.030 ficaram desalojadas e 93 desabrigadas em consequência das inundações. A vulnerabilidade do município é elevada, devido as ocupações nas áreas de várzeas dos rios e encostas de morros, sendo os desastres mais comuns aqueles associados a chuvas intensas ou longos períodos de precipitação, como já constatado anteriormente no trabalho de Medeiros (2013). Nestes casos há necessidade de se observar os volumes acumulados de chuvas nos dias anteriores, sendo que durante o mês de dezembro o volume precipitado na região foi extremamente elevado, atingindo de 400 a 600 mm na maioria das estações. Em São Luís de Paraitinga (SP) na estação nº 2345065 foi registrado 534,6 mm acumulados em 30 dias, como pode-se observar na Tabela 19

Tabela 19 - Dados pluviométricos e eventos de desastres naturais que marcaram o município de São Luís de Paraitinga (SP), em 31/12/2009 a 01/01/2010.

Localidade	Data/ Desastre	Estação	Parâmetro	Quantidade de Dias Acumulados				
				30 dias	10 dias	5 dias	2 dias	1 dia
São Luís do Paraitinga-SP	01/01/2010- Enxurradas Mov.Massas	2345065- São Luís do Paraitinga	Chuva Acum. (mm)	534,6	200,2	193,6	74,4	67,4
			Classe	8 - CE	8 - CE	8 - CE	8 - CE	8 - CE
			TR	100	4,1	28,3	1,5	2,7
São Luís do Paraitinga-SP	01/01/2010- Enxurradas Mov.Massas	2345017- São Luís do Paraitinga	Chuva Acum. (mm)	65,9	65,9	65,9	65,9	65,9
			Classe	6 - CF	6-CF	6-CF	7- CMF	8 - CE
				1	1	1	1,1	2,4

Fonte: Agência Nacional de Águas, 2017.

Na região Sul observa-se que a categoria Chuva Forte (CF) registrou 860 eventos, com 6% da série histórica para a região. Em relação à Chuva Muito Forte (CMF) foram registrados 172 dias dentro desta categoria, representando 1% da série de dados. Na categoria de Chuva Extrema (CE) foram computados apenas 16 dias de chuvas, o que inclui os eventos extremos de chuva, representando menos de 1% da série de dados. A Figura 49 apresenta a frequência média observada de precipitação de chuvas em relação à classificação DS, Cmf, Cf, CM, CF, CMF e CE, distribuídas nos meses de janeiro a dezembro, no período 1910 a 2016, em toda região Sul.

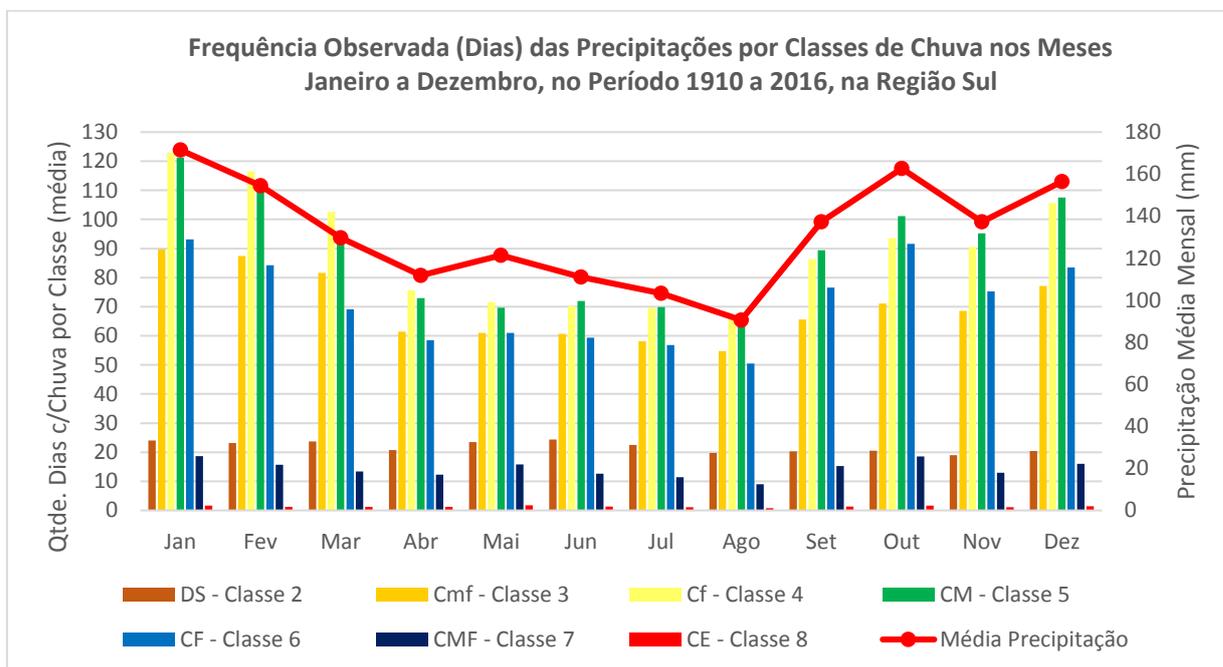


Figura 49 - Frequência média de dias para as classes de precipitação, por mês do ano para a região Sul.

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 50 mostra que, na região Sul, os desastres naturais estão distribuídos por todos os meses, com maior ocorrência nos meses de janeiro, maio, junho e julho. Já os meses de março, abril, agosto, outubro e novembro apresentam os menores números de ocorrências de desastres naturais. Ao analisar a frequência dos desastres no banco de dados observou-se que, do total de 16.056 registros ocorridos na região Sul, 1.511 (9,41%) desastres ocorreram devido Chuvas Extremas – CE, variando de 81,2 mm. a 599,2 mm, onde os menores valores de precipitação da classe foram registrados no município de Engenheiro Beltrão (PR) em 22/12/2014, estação pluviométrica nº 2352034, causando desastres de chuvas intensas; e no município de Ascurra (SC) em 26/04/2010, estação nº 2749000, causando desastres de enxurradas. Os desastres

naturais registrados para a classe CE foram: enxurradas (976 episódios), inundações (345), chuvas intensas (137), alagamentos (43) e movimentos de massas (10). Os episódios de desastres de Frentes Frias/Zonas de Convergências ocorreram dentro da classe de Chuvas Forte – CF. Na Tabela 20 estão descritos os dez registros de desastres naturais ocorridos pelos maiores valores de eventos extremos de precipitação da classe de Chuvas Extremas – CE, na base de dados da região Sul.

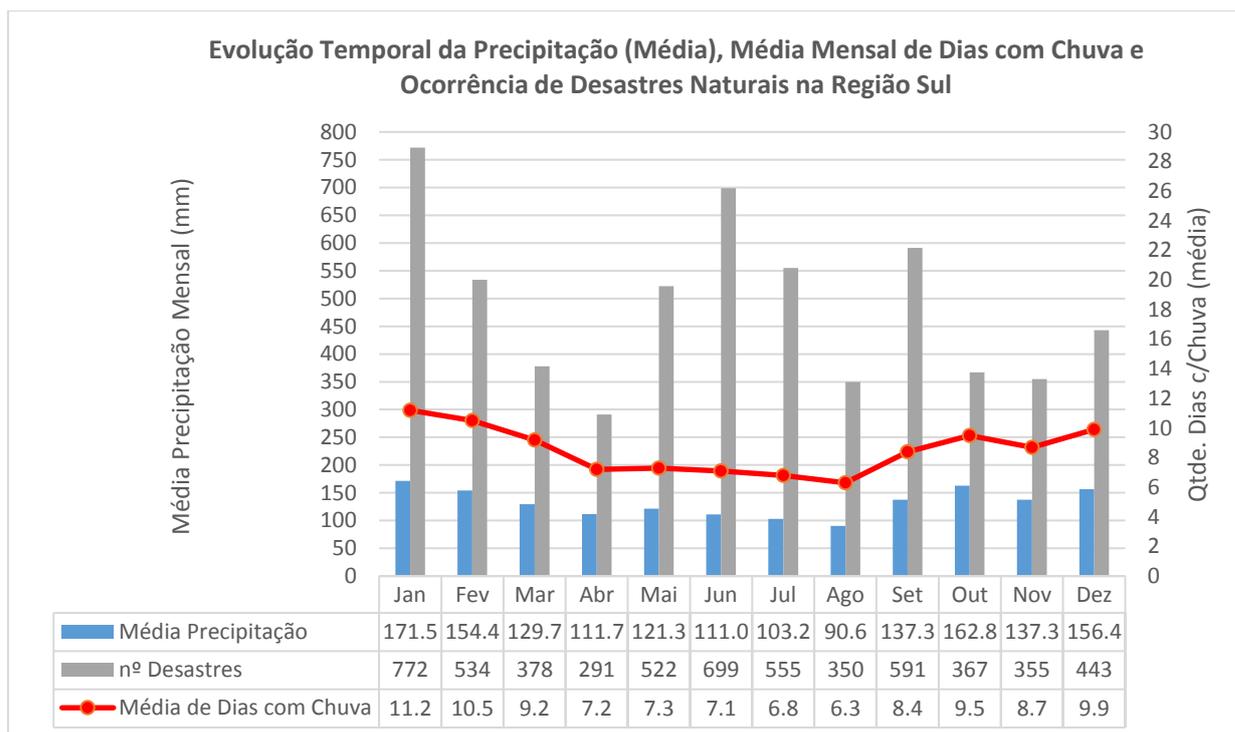


Figura 50 - Distribuição mensal das ocorrências de desastres naturais, média da precipitação e dias com chuva na região Sul.

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 20 - Descrição dos Eventos Extremos de Precipitação – Classe CE na região Sul e Tipos de Desastres Naturais Ocorridos.

Município	Data_Evento	Tipo_Evento	Estação	CE (mm)
Camaquã - RS	24/12/1995	Enxurradas	3051016 - Camaquã	283,4
São José - SC	19/05/2010	Enxurradas	0083897 - Florianópolis	253
Espigão Alto do Iguaçu - PR	08/06/2014	Chuvas Intensas	2552039 - São Roque	250,2
Virmond - PR	08/06/2014	Chuvas Intensas	2552040 - Virmond	245,4
Blumenau - SC	23/11/2008	Enxurradas	2649007 – Blumenau (PCD)	243,5
Matelândia - PR	08/06/2014	Chuvas Intensas	2554005 – Matelândia	240
Santa Lúcia - PR	08/06/2014	Mov.Massa	2553028 – Santa Lúcia	208,9
Ibiporã - PR	19/06/2012	Alagamentos	2350000 – Jataizinho	184,5
São Borja - RS	11/10/2002	Mov.Massa	2856006 – Passo São Borja	108,3
Quedas do Iguaçu - PR	29/05/1992	Inundações	2552038 – Espigão Alto do Iguaçu	227,9

Fonte: Elaborado pela autora.

Ao correlacionar precipitação mensal com os picos de ocorrências de desastres naturais verificou-se que: na região Norte os meses com maior incidência de desastres foram março, abril e maio, coincidindo com os meses mais chuvosos; na região Nordeste os picos de desastres ocorrem em fevereiro, abril e maio; na região Centro-Oeste os meses foram janeiro, fevereiro e março, também, coincidindo com o período de chuvas; na região Sudeste destaca-se o trimestre dezembro-janeiro-fevereiro, coincidindo com os meses mais chuvosos; e na região Sul os meses com picos de desastres foram janeiro, junho e setembro, porém verifica-se uma forte uniformidade na distribuição dos episódios ao decorrer do ano. Na região Norte apesar das precipitações classificadas na categoria de chuva extrema (CE) serem observados principalmente entre os meses de novembro a maio, tais eventos podem acontecer nas demais épocas do ano. Na região Nordeste, as precipitações de Chuva Extrema (CE) foram observadas nos meses de fevereiro a abril. No Centro-Oeste as chuvas extremas (CE) geralmente ocorreram nos meses de outubro a março, mas, tais eventos podem ocorrer nas demais épocas do ano. Na região Sudeste destaca-se a ocorrência de chuvas extremas (CE) no período de novembro a março. Já, na região Sul as precipitações de chuvas extremas (CE) ocorrem em todos os meses do ano.

Este tipo de análise pode contribuir para um melhor gerenciamento de risco de desastres naturais junto aos gestores públicos, privados, instituições competentes e a sociedade em geral, bem como contribuir para a construção de modelos conceituais para emissão de alertas relativos à previsão de eventos extremos de precipitação de chuva capazes de gerar impactos e desastres naturais, tais como deslizamentos, corridas de massa, inundações bruscas, enxurradas e alagamentos.

A Figura 51 apresenta a distribuição dos eventos de precipitação, de acordo com sua classificação de intensidade (fraco, muito fraco, moderado forte, muito forte e extremo), relacionados com os episódios de desastres naturais catalogados. Os valores de referência para cada categoria são mostrados na Tabela 13. Nos resultados pode-se notar que, como na , existe uma quantidade grande de casos onde as estações pluviométricas não captaram o acumulado de precipitação que disparou o episódio de desastre. Isto pode ocorrer por diversos motivos, contudo os mais relevantes estão relacionados com a localização das estações de precipitação (baixa densidade, e falta de precisão na localização geográfica e temporal dos desastres a partir do banco de dados S2iD. Contudo, verifica-se que quanto mais dias são acumulados maior é a correlação entre o episódio de desastre e o acumulado de chuva.

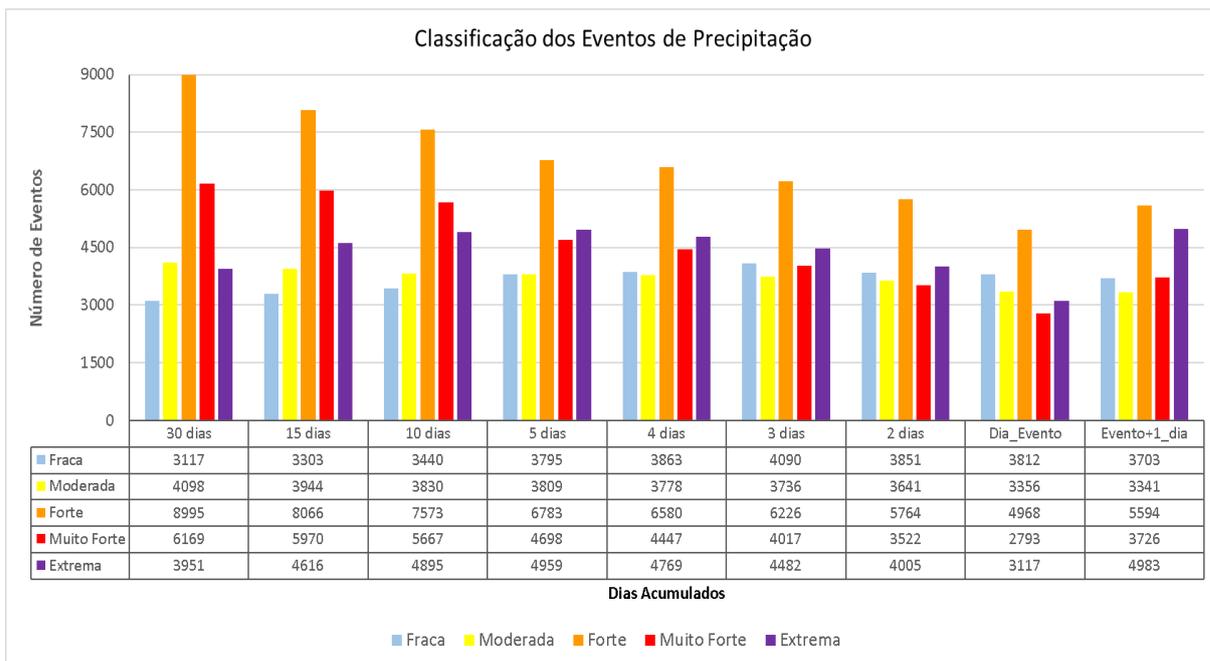


Figura 51 – Distribuição dos eventos de precipitação de acordo com sua classificação de intensidade (fraco, muito fraco, moderado forte, muito forte e extremo). Os valores de referência para cada categoria são mostrados na Tabela 13.

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 52 apresenta a distribuição do número de estações pluviométricas, dentro da região de influência do episódio de desastre natural. A região de influência é determinada pelo tipo de relevo na região (Tabela 4). A grande maioria dos eventos de desastres possuem apenas uma estação para comparação e, como foi visto na Figura 51, boa parte destas não mostraram correlação com o desastre. Contudo, algumas regiões possui uma densidade maior de estações, possibilitando que possa haver uma comparação entre a distribuição de chuva das diferentes estações.

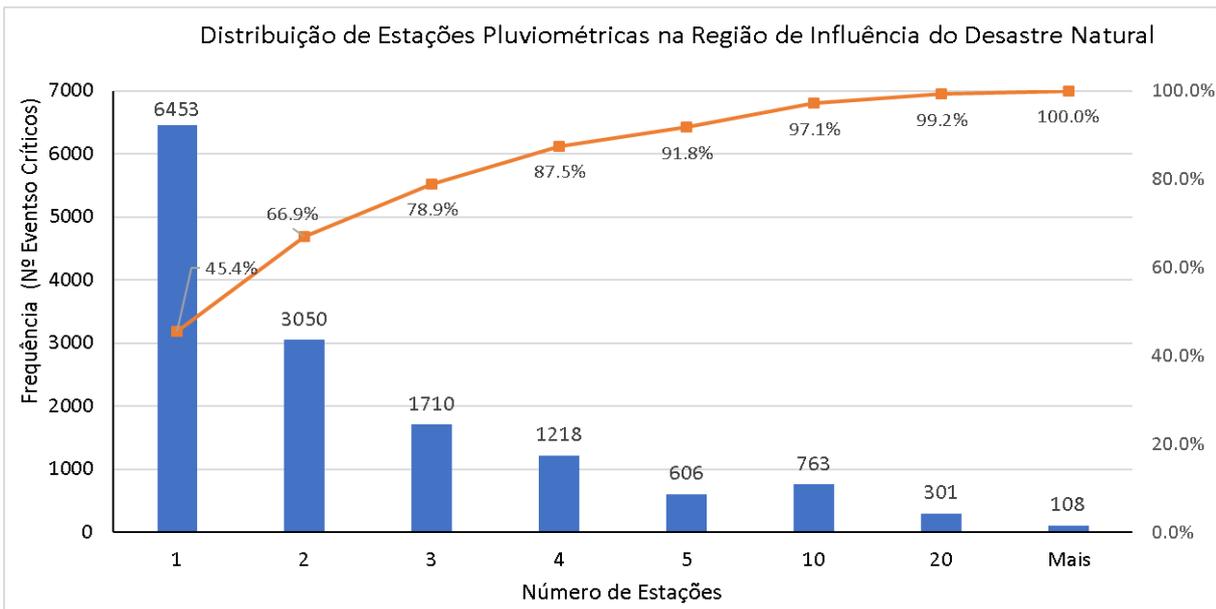


Figura 52 - Distribuição de estações pluviométricas na região de influência do evento crítico.

A Figura 53 apresenta a distribuição do número de desastres naturais, por município, que possuem estações pluviométricas associadas dentro da área de influência. Isto fornece a ideia de como é a recorrência dos eventos. Observa-se que mais da metade (55%) dos municípios possui até 3 registros catalogados.

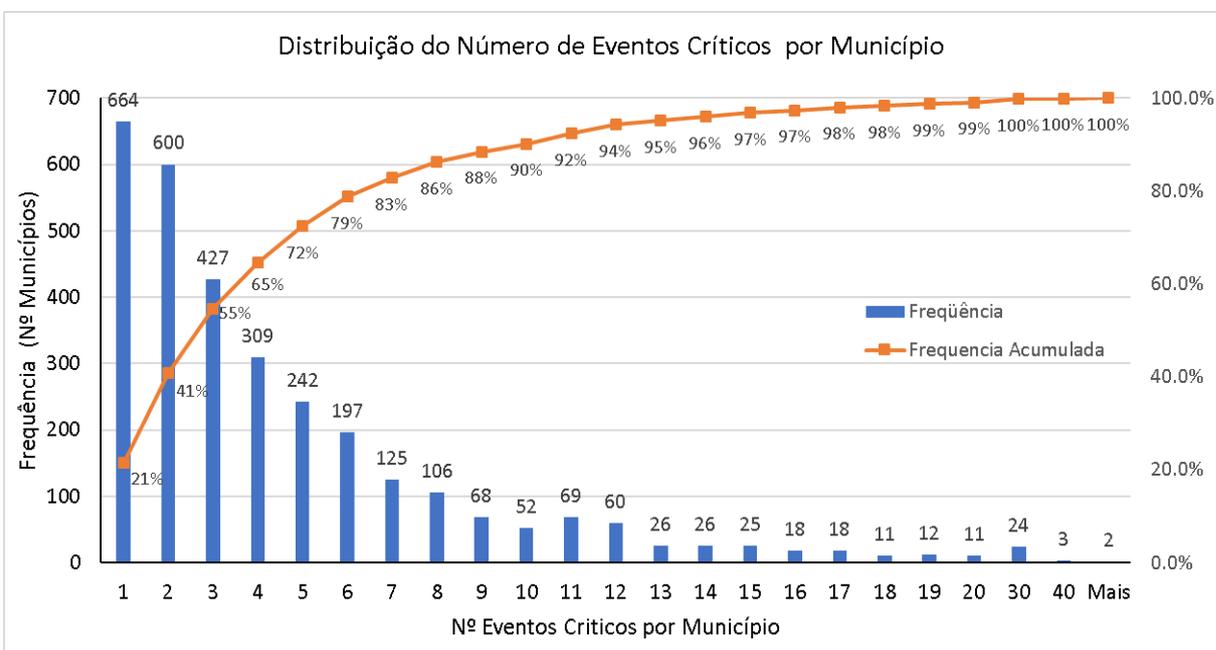


Figura 53 - Distribuição do número de desastres naturais, por município, que possuem estações pluviométricas associadas dentro da área de influência.

As Tabela 21, Tabela 22 e Tabela 23 apresentam o número de ocorrências dos eventos de desastres naturais associados a classificação de intensidade do evento de chuva acumulada para 1 dia, 2 dias e 5 dias respectivamente.

Tabela 21 - Número de ocorrências dos eventos de desastres naturais associados a classificação de intensidade do evento de chuva acumulada para 1 dia.

Classificação Precipitação	Classificação Desastre											
	Alagamentos		Chuvas Intensas		Enxurradas		Frentes Frias/Convergências		Inundações		Movimentos de Massa	
	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)
Extrema	164	(6%)	162	(15%)	1861	(9%)	1	(3%)	793	(7%)	136	(5%)
Muito Forte	143	(5%)	81	(8%)	1593	(8%)	1	(3%)	810	(7%)	165	(6%)
Forte	299	(11%)	116	(11%)	2707	(13%)	1	(3%)	1534	(13%)	311	(12%)
Moderada	196	(8%)	74	(7%)	1864	(9%)	1	(3%)	1012	(9%)	209	(8%)
Fraca	1803	(69%)	624	(59%)	12105	(60%)	30	(88%)	7644	(65%)	1828	(69%)
Total	2605	(100%)	1057	(100%)	20130	(100%)	34	(100%)	11793	(100%)	2649	(100%)

Tabela 22 - Número de ocorrências dos eventos de desastres naturais associados a classificação de intensidade do evento de chuva acumulada para 2 dias.

Classificação Precipitação	Classificação Desastre											
	Alagamentos		Chuvas Intensas		Enxurradas		Frentes Frias/Convergências		Inundações		Movimentos de Massa	
	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)
Extrema	180	(7%)	215	(20%)	2257	(11%)	1	(3%)	1170	(10%)	182	(7%)
Muito Forte	176	(7%)	80	(8%)	2015	(10%)	1	(3%)	1023	(9%)	227	(9%)
Forte	346	(13%)	128	(12%)	3278	(16%)	2	(6%)	1670	(14%)	340	(13%)
Moderada	219	(8%)	61	(6%)	1961	(10%)	3	(9%)	1190	(10%)	207	(8%)
Fraca	1684	(65%)	573	(54%)	10619	(53%)	27	(79%)	6740	(57%)	1693	(64%)
Total	2605	(100%)	1057	(100%)	20130	(100%)	34	(100%)	11793	(100%)	2649	(100%)

Tabela 23 - Número de ocorrências dos eventos de desastres naturais associados a classificação de intensidade do evento de chuva acumulada para 5 dias.

Classificação Precipitação	Classificação Desastre											
	Alagamentos		Chuvas Intensas		Enxurradas		Frentes Frias/Convergências		Inundações		Movimentos de Massa	
	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)
Extrema	159	(6%)	200	(19%)	2766	(14%)	1	(3%)	1573	(13%)	181	(7%)
Muito Forte	238	(9%)	136	(13%)	2691	(13%)	2	(6%)	1247	(11%)	275	(10%)
Forte	419	(16%)	149	(14%)	3779	(19%)	9	(26%)	1978	(17%)	383	(14%)
Moderada	245	(9%)	68	(6%)	1973	(10%)	3	(9%)	1283	(11%)	192	(7%)
Fraca	1544	(59%)	504	(48%)	8921	(44%)	19	(56%)	5712	(48%)	1618	(61%)
Total	2605	(100%)	1057	(100%)	20130	(100%)	34	(100%)	11793	(100%)	2649	(100%)

As Figura 54 e Figura 55 mostram mapas da classificação dos eventos de máxima precipitação acumulada, respectivamente para 1 e 5 dias, associados a ocorrência de desastres naturais.

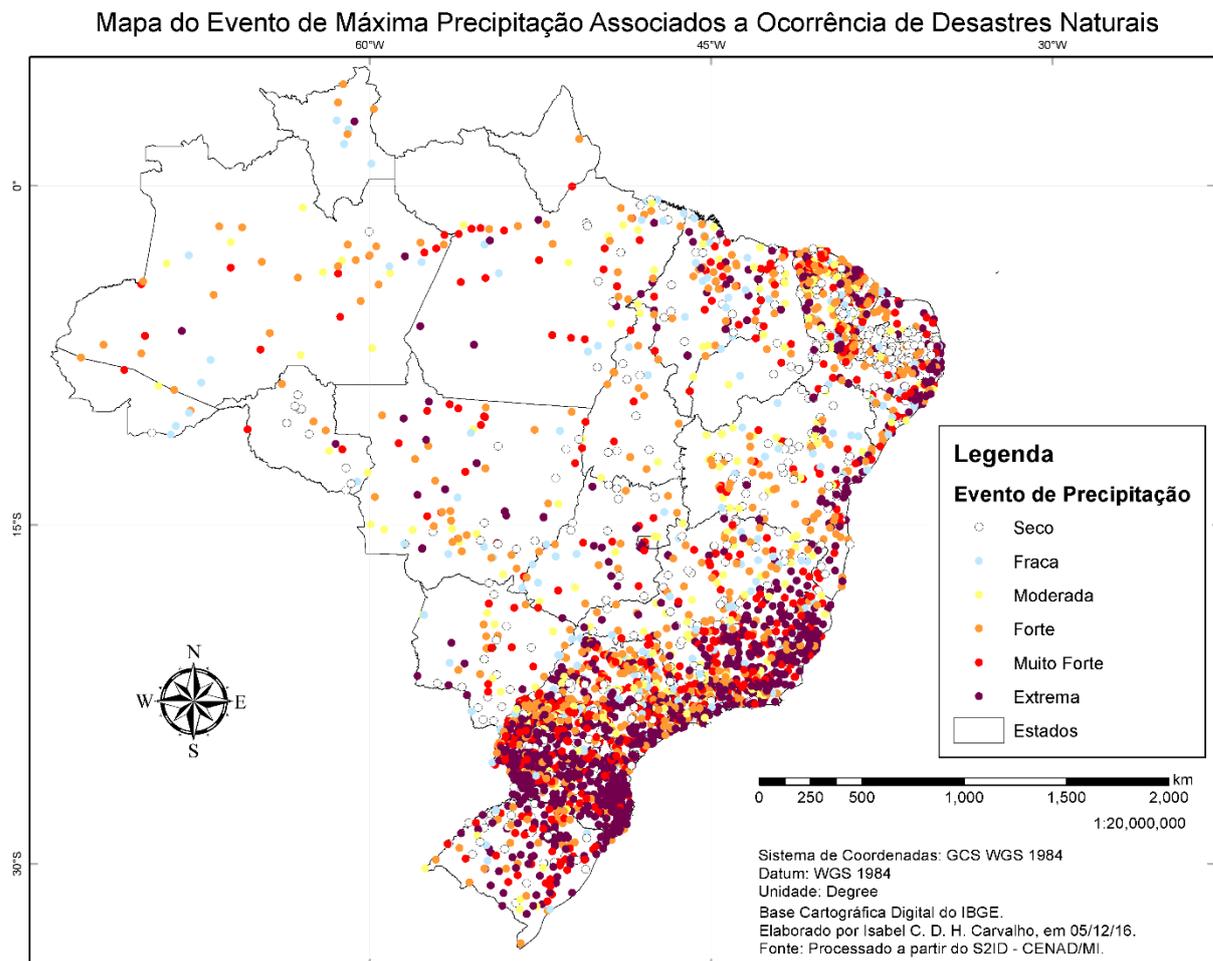


Figura 54 – Mapa do evento de máxima precipitação associados a ocorrência de desastres naturais.

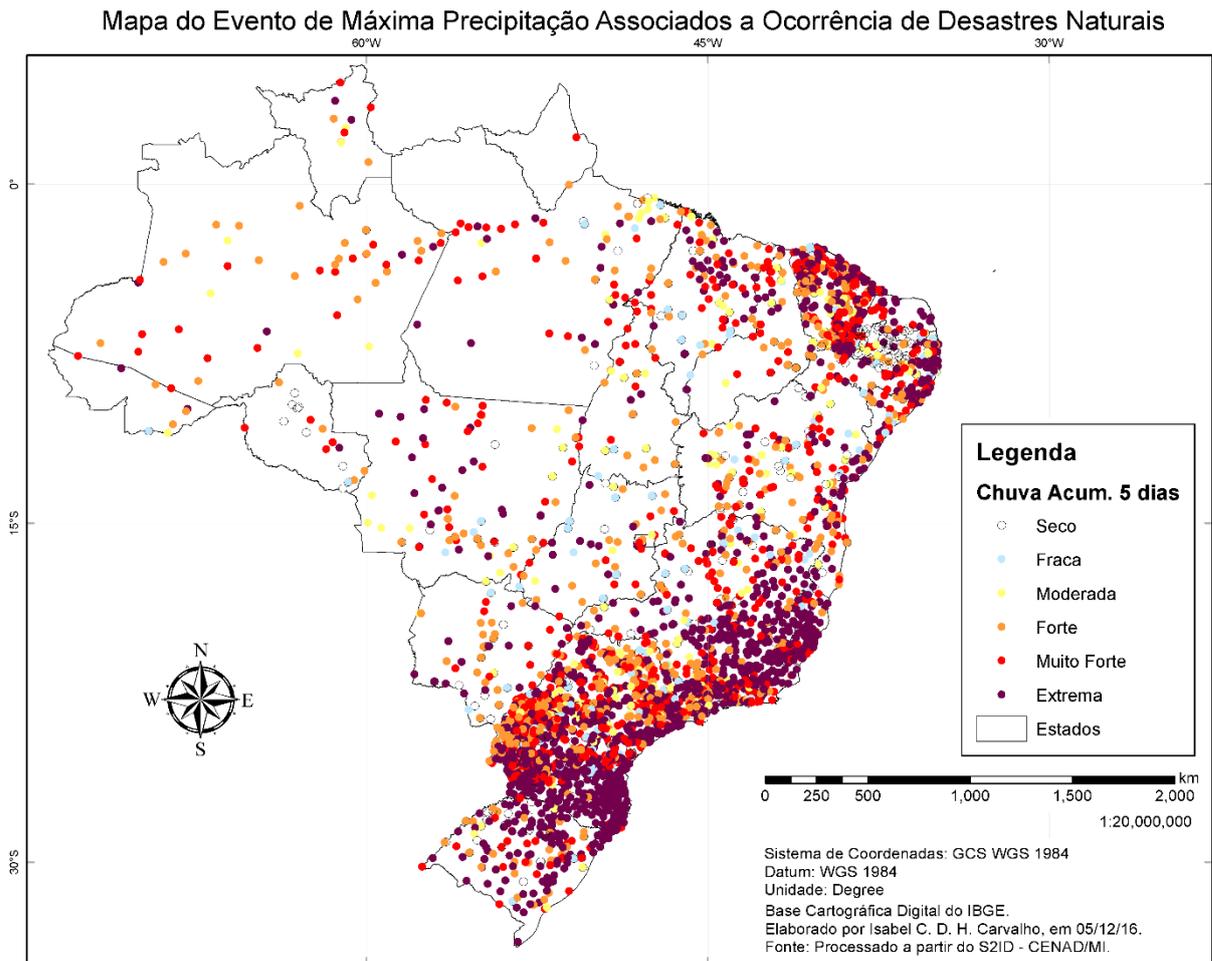


Figura 55 – Mapa do evento de máxima precipitação, acumulado em cinco dias, associados a ocorrência de desastres naturais.

5.6.2. Análise da distribuição de frequência dos extremos de precipitação

Uma das formas mais utilizadas de se estudar a ocorrência de eventos extremos de precipitação é a partir da análise de distribuição de frequência e do período de retorno (probabilidades de não excedência). Para calcular as probabilidades de não excedência há uma grande variedade de funções teóricas de distribuição aplicadas em análises de eventos extremos de precipitações. Para este trabalho foram utilizadas as distribuições de probabilidade Log-Pearson Tipo III, Gumbel e Generalizada de Valores Extremos (GEV). A estimação foi realizada usando o Método de Máxima Verossimilhança (MMV). Após a aplicação das distribuições de probabilidade, suas respectivas aderências foram testadas utilizando os testes Kolmogorov-Smirnov (KS), Anderson-Darling (AD), e Cramér-Von Mises (CVM) (ver Seção 5.5.2 para melhores detalhes).

Para o cálculo das distribuições de probabilidade foi utilizado a base de dados de 3.476 séries de precipitação resultante do cruzamento das estações pluviométricas com os eventos de desastres naturais (ver Seção 5.4) após a análise preliminar de consistência de dados. Além da série original, com os dados diários de precipitação, (1 dia) foram geradas as séries de precipitação acumulada de 2, 3, 4, 5, 10, 15 e 30 dias. Para gerar as séries acumuladas de precipitação foi aplicada a soma móvel, na série de dados diários, com uma janela de 2, 3, 4, 5, 10, 15 e 30 dias, resultando em 8 séries de precipitação para cada estação pluviométrica (incluindo a série original).

Para cada série (de cada estação) foi gerada uma nova série contendo a precipitação máxima anual. Um ano foi considerado completo, para efeito de cálculo, se o mesmo contém pelo menos 328 dias de dados (90% de disponibilidade). Para as estações com menos de 15 anos de dados considerados completos não foram calculadas as distribuições de probabilidade.

Conforme apresentado na Seção 4.5.2, o procedimento de ajuste das distribuições de probabilidade foi realizado com no software R[®] com auxílio dos pacotes estatísticos “FAdist” e “fitdistrplus”. Os dados foram ajustados com base no algoritmo de otimização da Máxima Verossimilhança. Ressalta-se que algumas funções não convergiram, mesmo após a utilização de diferentes valores iniciais.

Para a escolha da função de distribuição levou-se em consideração os seguintes critérios:

- Verificou-se a melhor distribuição selecionada para cada teste de aderência (CVM, AD e KS), e que esteja abaixo da tabela de valor crítico de 5% de significância.
- Seleciona-se a distribuição que foi aprovada pelo maior número de testes de aderência. No caso de empate a ordem de seleção é Gumbel, GEV e LPIII.
- Estações com menos de 15 anos de dados de máximos de precipitação não foram consideradas e o período de retorno foi estimado com base nos valores de percentis.

A Figura 17 (Seção 5.5.2) apresenta um organograma da metodologia utilizada no processo de análise de distribuição de frequência utilizada nesta etapa do trabalho.

A título de exemplificação do processo de ajuste de distribuições dos dados de precipitação máxima as Tabela 24 e Tabela 25 mostram, para cada estação pré-selecionada, o resultado do processo de ajuste das distribuições de probabilidade às series de dados de precipitação acumulada para 1 e 5 dias. Apenas uma pequena fração dos resultados (31/3.476 estações) e os acumulados de 1 e 5 dias (dos acumulados de 1, 2, 3,4, 5, 10, 15 e 30 dias) foram apresentadas

por questão de espaço. Nas tabelas são apresentadas a quantidade de anos considerados completos, a máxima precipitação diária (ou acumulada), os parâmetros do ajuste de distribuições de probabilidade (Gumbel, GEV e Log-Pearson III) estimados pelo método da Máxima Verossimilhança, os valores resultantes da aplicação dos testes de aderência (CVM, AD e KS) e seus respectivos valores críticos para uma significância de 5%, e a distribuição final selecionada.

Tabela 24 - Parâmetros do ajuste de distribuições de probabilidade às series de dados de precipitação diária (Gumbel, GEV e Log-Pearson III), resultado da aplicação dos testes de aderência (CVM, AD e KS), e seus respectivos valores críticos para uma significância de 5% e a distribuição selecionada.

N	Estação	#Anos	Max. Prec.	Parâm. Gumbel		Parâm. GEV			Parâm. LPIII			Teste CVM			Teste AD			Teste KS			Valores Críticos			Função Selecionada	
				α	β	k	α	β	β	α	γ	Gumbel	GEV	LPIII	Gumbel	GEV	LPIII	Gumbel	GEV	LPIII	CVM	AD	KS		
1	538069	43	128.4	18.470	61.815	-0.072	18.800	62.515	28.512	16.474	2.502	0.079	0.084	0.097	0.494	0.506	0.618	0.117	0.125	0.110	0.219	0.752	0.207	Gumbel	
2	639072	30	165.0	16.561	70.755	0.226	14.745	68.816	3.389	6.661	3.848	0.072	0.078	0.067	0.505	0.449	0.395	0.137	0.120	0.109	0.218	0.752	0.242	LPIII	
3	739060	36	146.5	22.465	59.070	0.156	20.885	57.264	19.875	11.022	2.403	0.059	0.031	0.028	0.419	0.236	0.217	0.112	0.079	0.076	0.218	0.752	0.221	LPIII	
4	638085	38	136.0	20.811	66.024	-0.185	21.910	68.135	30.580	16.333	2.429	0.049	0.036	0.077	0.340	0.222	0.518	0.085	0.084	0.105	0.218	0.752	0.215	GEV	
5	540108	17	149.0	31.677	69.644	-0.371	34.725	76.122	667.473	54.384	-7.906	0.050	0.022	0.080	0.352	0.170	0.541	0.122	0.098	0.154	0.217	0.752	0.318	GEV	
6	341039	11	146.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Erro	
7	638092	28	135.0	15.064	68.963	-0.040	15.228	69.297	27.671	22.269	3.080	0.046	0.041	0.049	0.272	0.252	0.284	0.085	0.080	0.088	0.218	0.752	0.250	GEV	
8	639078	26	154.0	13.605	68.252	0.030	13.532	68.026	29.598	24.953	3.119	0.081	0.085	0.084	0.545	0.552	0.560	0.130	0.136	0.136	0.218	0.752	0.259	Gumbel	
9	440078	44	137.0	24.842	67.846	-0.262	25.214	71.239	199.966	35.599	-1.289	0.053	0.037	0.113	0.498	0.253	0.908	0.094	0.081	0.117	0.219	0.752	0.205	GEV	
10	340107	33	122.0	23.345	58.404	-0.297	24.144	62.085	108.966	23.566	-0.441	0.048	0.015	0.118	0.388	0.123	0.848	0.090	0.065	0.119	0.218	0.752	0.231	GEV	
11	438100	43	141.3	21.864	72.898	-0.131	22.925	74.464	30.844	17.336	2.621	0.049	0.052	0.056	0.343	0.372	0.382	0.080	0.092	0.085	0.219	0.752	0.207	Gumbel	
12	668000	35	151.8	18.586	87.928	-0.113	18.883	89.055	89.355	43.672	2.515	0.079	0.072	0.066	0.494	0.446	0.437	0.110	0.112	0.101	0.218	0.752	0.224	LPIII	
13	2347037	29	220.7	26.010	66.775	0.183	23.775	64.254	10.656	7.800	2.962	0.023	0.030	0.034	0.244	0.251	0.279	0.072	0.081	0.083	0.218	0.752	0.246	Gumbel	
14	2346338	21	115.9	14.828	63.807	-0.034	15.021	64.081	12.132	13.658	3.362	0.026	0.024	0.036	0.187	0.181	0.225	0.090	0.091	0.097	0.217	0.752	0.287	GEV	
15	2453044	20	175.2	22.201	87.649	-0.040	22.448	88.127	66.252	30.263	2.383	0.037	0.039	0.037	0.226	0.231	0.230	0.116	0.124	0.115	0.217	0.752	0.294	Gumbel	
16	340048	15	137.0	17.669	61.790	0.296	15.096	59.188	1.854	3.764	3.743	0.031	0.017	0.028	0.273	0.152	0.207	0.100	0.101	0.115	0.215	0.752	0.338	GEV	
17	2549019	49	139.0	17.004	68.442	-0.102	17.467	69.394	31.837	21.224	2.823	0.109	0.081	0.124	0.562	0.425	0.634	0.138	0.119	0.147	0.219	0.752	0.194	GEV	
18	2147077	44	164.5	20.166	86.469	-0.095	20.544	87.505	60.053	31.543	2.648	0.038	0.035	0.036	0.281	0.243	0.273	0.075	0.075	0.070	0.219	0.752	0.205	GEV	
19	2150090	34	170.7	20.803	76.575	0.019	20.662	76.350	54.337	25.442	2.307	0.030	0.032	0.032	0.198	0.200	0.201	0.077	0.080	0.082	0.218	0.752	0.227	Gumbel	
20	2550034	17	183.7	19.443	73.841	0.291	16.581	70.981	1.708	3.832	3.962	0.034	0.032	0.045	0.292	0.206	0.288	0.109	0.153	0.159	0.217	0.752	0.318	GEV	
21	2346050	55	133.7	16.818	66.609	-0.055	17.065	67.112	27.636	19.288	2.864	0.050	0.044	0.063	0.289	0.262	0.363	0.082	0.089	0.076	0.220	0.752	0.183	GEV	
22	2047067	67	159.0	18.139	75.693	0.008	18.090	75.612	39.090	24.237	2.810	0.059	0.061	0.062	0.354	0.352	0.357	0.078	0.079	0.081	0.220	0.752	0.166	Gumbel	
23	2246022	72	143.5	17.800	71.334	-0.124	18.234	72.524	726.348	105.577	-2.517	0.040	0.019	0.027	0.272	0.135	0.179	0.072	0.048	0.063	0.220	0.752	0.160	GEV	
24	2146026	59	170.0	15.072	67.812	0.139	14.176	66.712	7.123	10.518	3.634	0.088	0.044	0.047	0.480	0.248	0.260	0.095	0.066	0.071	0.220	0.752	0.177	GEV	
25	2146081	28	128.8	13.665	68.103	-0.030	13.760	68.320	55.328	34.682	2.709	0.077	0.075	0.075	0.466	0.449	0.451	0.114	0.117	0.116	0.218	0.752	0.250	GEV	
26	539076	16	101.0	13.343	67.129	-0.335	13.916	69.537	71.201	41.661	2.578	0.085	0.054	0.083	0.554	0.359	0.531	0.175	0.141	0.174	0.216	0.752	0.327	GEV	
27	738060	44	137.6	22.107	69.885	-0.189	23.315	72.156	142.143	36.296	0.442	0.029	0.033	0.036	0.258	0.271	0.311	0.061	0.077	0.068	0.219	0.752	0.205	Gumbel	
28	2051037	38	176.2	20.972	72.491	0.075	20.401	71.637	24.624	15.879	2.841	0.060	0.068	0.072	0.495	0.491	0.513	0.116	0.115	0.116	0.218	0.752	0.215	GEV	
29	2447012	54	218.0	25.183	99.812	-0.035	25.445	100.304	105.796	38.620	1.961	0.043	0.046	0.045	0.285	0.280	0.287	0.072	0.077	0.073	0.220	0.752	0.185	Gumbel	
30	2447018	51	205.1	31.391	77.410	-0.141	31.496	79.761	152.782	26.344	-1.338	0.090	0.068	0.242	0.684	0.459	1.645	0.105	0.082	0.157	0.219	0.752	0.190	GEV	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
3476	82376	39	198.3	22.231	85.433	0.148	20.776	83.710	5.747	8.113	3.844	0.034	0.024	0.026	0.273	0.176	0.186	0.071	0.078	0.085	0.219	0.752	0.213	GEV	

Gumbel, GEV e LPIII (função de distribuição Gumbel, Generalizada de Valores Extremos e Log-Pearson do Tipo III, respectivamente). K, α , β e γ (parâmetros de ajuste de forma; escala; posição e posição da função da LPIII). CVM, AD e KS (teste de aderência de Cramér-von Mises, Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov).

Tabela 25 - Parâmetros do ajuste de distribuições de probabilidade às series acumuladas de 5 dias de precipitação (Gumbel, GEV e Log-Pearson III), resultado da aplicação dos testes de aderência (CVM, AD e KS), e seus respectivos valores críticos para uma significância de 5% e a distribuição selecionada.

N	Estação	#Anos	Max. Prec.	Parâm. Gumbel		Parâm. GEV			Parâm. LPIII			Teste CVM			Teste AD			Teste KS			Valores Críticos			Função Selecionada	
				α	β	k	α	β	β	α	γ	Gumbel	GEV	LPIII	Gumbel	GEV	LPIII	Gumbel	GEV	LPIII	CVM	AD	KS		
1	538069	43	207.0	33.583	107.981	-0.170	35.486	111.105	168.444	40.215	0.605	0.088	0.067	0.096	0.574	0.507	0.608	0.121	0.100	0.126	0.219	0.752	0.207	GEV	
2	639072	30	203.0	30.400	115.104	-0.200	32.164	118.372	68.326	29.816	2.555	0.028	0.035	0.031	0.240	0.264	0.255	0.072	0.087	0.076	0.218	0.752	0.242	Gumbel	
3	739060	36	208.0	32.507	93.861	0.118	30.775	91.856	11.433	9.056	3.401	0.043	0.039	0.040	0.396	0.336	0.336	0.079	0.082	0.087	0.218	0.752	0.221	GEV	
4	638085	38	212.1	38.178	110.481	-0.221	40.824	115.038	36.627	16.020	2.535	0.057	0.092	0.060	0.428	0.588	0.509	0.113	0.116	0.107	0.218	0.752	0.215	Gumbel	
5	540108	17	344.5	57.175	114.859	-0.006	57.296	115.083	75.254	15.963	0.157	0.025	0.025	0.050	0.178	0.178	0.351	0.104	0.103	0.154	0.217	0.752	0.318	GEV	
6	341039	11	203.3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Erro	
7	638092	28	215.0	34.921	110.954	-0.169	36.049	114.098	274.819	50.655	-0.608	0.059	0.070	0.063	0.429	0.421	0.474	0.108	0.127	0.115	0.218	0.752	0.250	Gumbel	
8	639078	26	363.0	32.317	102.911	0.641	20.963	93.915	NA	NA	NA	0.101	0.042	NA	0.748	0.273	NA	0.149	0.114	NA	0.218	0.752	0.259	GEV	
9	440078	44	251.0	48.782	122.185	-0.316	49.774	130.291	282.437	36.870	-2.743	0.080	0.047	0.187	0.662	0.299	1.381	0.110	0.085	0.140	0.219	0.752	0.205	GEV	
10	340107	33	215.0	40.077	106.554	-0.283	38.829	112.383	937.835	78.352	-7.196	0.145	0.066	0.204	1.027	0.451	1.399	0.159	0.115	0.184	0.218	0.752	0.231	GEV	
11	438100	43	271.7	26.195	139.470	0.036	25.845	138.943	11.448	16.077	4.308	0.028	0.027	0.025	0.175	0.164	0.156	0.074	0.071	0.066	0.219	0.752	0.207	LPIII	
12	668000	35	246.6	27.580	158.978	-0.080	28.264	160.175	23.358	25.496	4.229	0.036	0.043	0.037	0.290	0.308	0.293	0.084	0.099	0.086	0.218	0.752	0.224	Gumbel	
13	2347037	29	319.4	44.322	145.448	0.037	43.599	144.543	16.823	12.549	3.752	0.064	0.069	0.082	0.469	0.484	0.539	0.129	0.133	0.148	0.218	0.752	0.246	Gumbel	
14	2346338	21	218.0	31.693	123.319	-0.212	34.144	127.050	72.585	31.640	2.621	0.062	0.041	0.065	0.403	0.298	0.416	0.109	0.102	0.111	0.217	0.752	0.287	GEV	
15	2453044	20	289.7	35.451	149.247	0.064	34.722	148.049	20.821	17.359	3.903	0.088	0.077	0.082	0.553	0.491	0.515	0.148	0.141	0.144	0.217	0.752	0.294	GEV	
16	340048	15	236.5	36.880	104.214	-0.033	37.345	104.892	35.919	15.984	2.520	0.047	0.044	0.057	0.285	0.280	0.331	0.142	0.136	0.159	0.215	0.752	0.338	GEV	
17	2549019	49	330.7	30.505	130.342	0.053	29.978	129.446	23.977	19.126	3.711	0.038	0.035	0.036	0.291	0.275	0.286	0.070	0.064	0.067	0.219	0.752	0.194	GEV	
18	2147077	44	336.5	45.116	176.290	-0.036	45.632	177.157	30.411	19.955	3.748	0.038	0.043	0.037	0.296	0.314	0.304	0.076	0.082	0.070	0.219	0.752	0.205	LPIII	
19	2150090	34	245.9	35.445	135.627	-0.205	37.187	139.600	132.110	42.679	1.913	0.057	0.044	0.059	0.344	0.245	0.343	0.109	0.104	0.109	0.218	0.752	0.227	GEV	
20	2550034	17	344.2	39.734	143.819	0.073	38.683	142.210	22.607	15.887	3.650	0.026	0.031	0.032	0.241	0.251	0.263	0.098	0.103	0.104	0.217	0.752	0.318	Gumbel	
21	2346050	55	234.8	33.379	123.719	-0.152	35.119	126.507	74.901	30.545	2.469	0.044	0.053	0.047	0.317	0.329	0.332	0.074	0.084	0.077	0.220	0.752	0.183	Gumbel	
22	2047067	67	322.8	39.107	151.140	-0.037	39.535	151.943	133.930	42.318	1.954	0.022	0.023	0.022	0.145	0.150	0.145	0.063	0.056	0.062	0.220	0.752	0.166	GEV	
23	2246022	72	289.6	31.199	135.984	0.130	29.376	133.858	4.921	8.395	4.423	0.072	0.053	0.045	0.491	0.357	0.297	0.074	0.076	0.072	0.220	0.752	0.160	LPIII	
24	2146026	59	310.2	30.874	135.461	0.092	29.817	133.936	11.791	13.448	4.127	0.048	0.038	0.045	0.354	0.245	0.282	0.080	0.072	0.077	0.220	0.752	0.177	GEV	
25	2146081	28	290.3	30.284	135.407	0.119	28.748	133.495	1.249	3.327	4.628	0.031	0.039	0.211	0.282	0.306	1.164	0.084	0.085	0.193	0.218	0.752	0.250	Gumbel	
26	539076	16	174.0	21.099	96.711	0.013	21.003	96.563	22.704	19.966	3.526	0.023	0.022	0.022	0.173	0.170	0.169	0.106	0.105	0.106	0.216	0.752	0.327	LPIII	
27	738060	44	308.8	36.754	124.952	-0.055	37.173	126.043	198.855	46.023	0.612	0.048	0.040	0.051	0.342	0.299	0.355	0.095	0.090	0.091	0.219	0.752	0.205	GEV	
28	2051037	38	360.8	39.454	138.335	0.047	38.835	137.343	53.508	23.938	2.802	0.015	0.014	0.015	0.126	0.113	0.121	0.057	0.051	0.054	0.218	0.752	0.215	GEV	
29	2447012	54	360.2	43.925	187.267	-0.056	44.717	188.590	68.670	33.302	3.265	0.034	0.030	0.033	0.222	0.201	0.213	0.058	0.063	0.058	0.220	0.752	0.185	GEV	
30	2447018	51	373.0	51.212	133.064	-0.101	51.834	135.832	167.848	31.387	-0.341	0.046	0.032	0.103	0.439	0.302	0.850	0.089	0.073	0.119	0.219	0.752	0.190	GEV	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
3476	82376	39	285.7	35.519	162.025	-0.069	36.352	163.366	74.951	36.970	3.151	0.039	0.032	0.034	0.243	0.223	0.222	0.100	0.086	0.093	0.219	0.752	0.213	GEV	

Gumbel, GEV e LPIII (função de distribuição Gumbel, Generalizada de Valores Extremos e Log-Pearson do Tipo III, respectivamente). K, α , β e γ (parâmetros de ajuste de forma; escala; posição e posição da função da LPIII). CVM, AD e KS (teste de aderência de Cramér-von Mises, Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov).

A Tabela 26 apresenta um resumo dos resultados do ajuste de distribuição de frequência para a série diária de precipitação e também os períodos de precipitação acumulada de 2, 3, 4, 5, 10, 15 e 30 dias (mostrados parcialmente na Tabela 24 e Tabela 25). Na tabela pode-se visualizar a quantidade de estações (das 34.76) cujos ajustes foram aprovados nos testes de aderência (CVM, AD e KS) por tipo de distribuição (Gumbel, GEV e LPIII). Também é mostrado a quantidade de estações cujos ajustes foram reprovados nos testes de aderência, e o número de estações cujos ajustes não foram calculados (por não satisfazer o requisito de no mínimo de 15 anos completos) ou não convergiram durante o processo de otimização via o método da Máxima Verossimilhança.

Tabela 26 - Resumo dos resultados do ajuste de distribuição de frequência apresentados nas Tabela 24 e Tabela 25 (completas).

Descrição	Gumbel			GEV			LPIII		
	CVM	AD	KS	CVM	AD	KS	CVM	AD	KS
Chuva Diária									
Aprovados Teste Aderência	3290	3345	3125	2914	3212	2871	3366	3376	3196
Reprovados Teste Aderência	93	36	111	469	169	365	17	5	40
Não Calculada ou Não Convergiram	93	95	240	93	95	240	93	95	240
Chuva Acumulada 2 dias									
Aprovados Teste Aderência	3315	3364	3151	3005	3269	2933	3375	3380	3210
Reprovados Teste Aderência	68	17	101	378	112	319	8	1	42
Não Calculada ou Não Convergiram	93	95	224	93	95	224	93	95	224
Chuva Acumulada 3 dias									
Aprovados Teste Aderência	3319	3367	3148	2996	3264	2882	3377	3377	3221
Reprovados Teste Aderência	64	12	123	387	115	389	6	2	50
Não Calculada ou Não Convergiram	93	97	205	93	97	205	93	97	205
Chuva Acumulada 4 dias									
Aprovados Teste Aderência	3324	3366	3132	3047	3287	2885	3378	3378	3202
Reprovados Teste Aderência	59	13	139	336	92	386	5	1	69
Não Calculada ou Não Convergiram	93	97	205	93	97	205	93	97	205
Chuva Acumulada 5 dias									
Aprovados Teste Aderência	3325	3356	3107	3045	3275	2876	3379	3372	3193
Reprovados Teste Aderência	58	20	143	338	101	374	4	4	57
Não Calculada ou Não Convergiram	93	100	226	93	100	226	93	100	226
Chuva Acumulada 10 dias									
Aprovados Teste Aderência	3310	3340	3097	3004	3254	2810	3373	3354	3205
Reprovados Teste Aderência	73	33	173	379	119	460	10	19	65
Não Calculada ou Não Convergiram	93	103	206	93	103	206	93	103	206
Chuva Acumulada 15 dias									
Aprovados Teste Aderência	3308	3325	3078	3001	3245	2796	3372	3337	3187
Reprovados Teste Aderência	75	42	188	382	122	470	11	30	79
Não Calculada ou Não Convergiram	93	109	210	93	109	210	93	109	210
Chuva Acumulada 30 dias									
Aprovados Teste Aderência	3267	3270	3102	2897	3158	2738	3366	3286	3211
Reprovados Teste Aderência	116	75	165	486	187	529	17	59	56
Não Calculada ou Não Convergiram	93	131	209	93	131	209	93	131	209

A Tabela 27 complementa as informações da Tabela 26 apresentando um resumo do resultado da seleção das funções de distribuição para cada período de acumulação. Na tabela pode-se

verificar o quantitativo de ajustes selecionados para cada tipo de distribuição de probabilidade, e o número de estações cujos ajustes não foram calculados (por não satisfazer o requisito de no mínimo de 15 anos completos) ou não convergiram durante o processo de otimização via o método da Máxima Verossimilhança. Analisando a Tabela 27 verifica-se que a maioria das distribuições para a chuva diária selecionadas foi GEV (60%), seguido pela LPIII (19%) e Gumbel (18%). Ressalta-se ainda que o número de estações que não foram ajustadas é menor que 3%.

Tabela 27 - Resumo das funções de distribuição selecionadas para cada estação e período de acumulação.

Período Precipitação	Função de Distribuição			Não Calculado(*)
	GEV	Gumbel	LGamma	
Diária	2064	603	711	98
Acumulado 02 dias	2074	635	673	94
Acumulado 03 dias	2065	635	682	94
Acumulado 04 dias	2058	663	662	93
Acumulado 05 dias	2065	645	673	93
Acumulado 10 dias	2142	670	570	94
Acumulado 15 dias	2150	615	617	94
Acumulado 30 dias	2163	633	583	97

(*) Não calculado (< 15 anos de dados), não convergiu ou não passou nos testes de aderência.

No que diz respeito à análise visual, as Figura 56 a Figura 59 mostram alguns exemplos do ajuste das distribuições de densidade acumulada aos dados de máximos anuais de precipitação diária. Nas Figura 56 e Figura 57 verifica-se que, para os dados da estação 82900 – Recife (Curado)-PE, a distribuição GEV foi a que melhor se ajustou aos dados de precipitação diária e acumulado de 5 dias segundo os testes de aderência. Para a estação 82900 – Caucaia-CE a distribuição que melhor ajustou para os dados diário foi a LPIII (Figura 58) e para o acumulado de 5 dias foi a GEV (Figura 59).

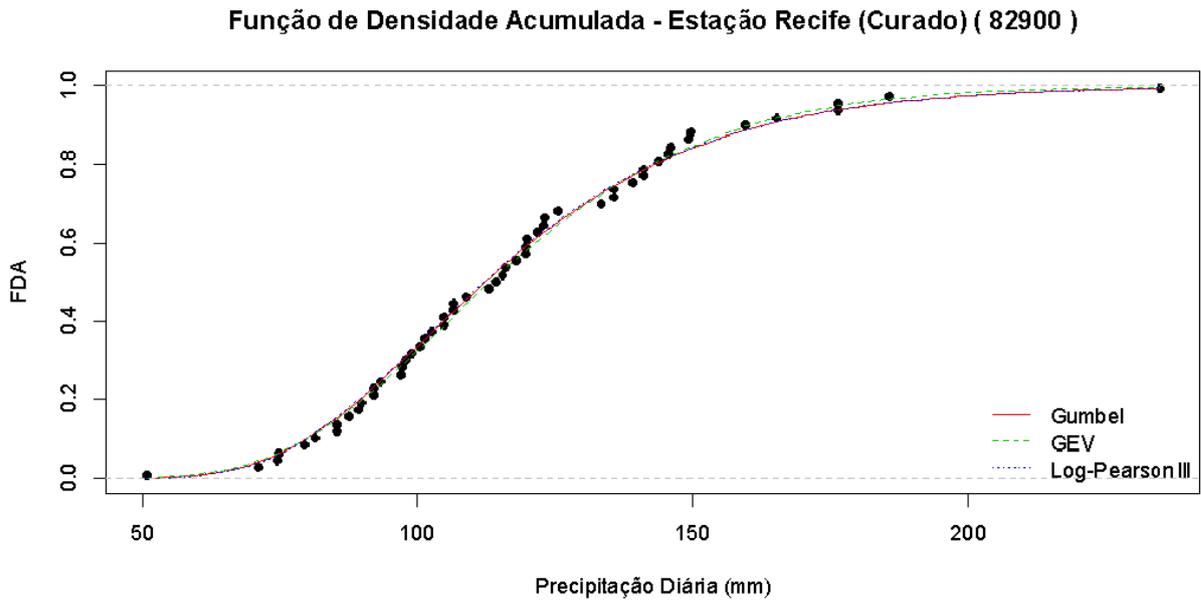


Figura 56 - Ajuste das distribuições de densidade acumulada à distribuição empírica, para os dados de precipitação da estação 82900 – Recife (Curado)-PE, do INMET. A distribuição GEV foi a que melhor se ajustou aos dados segundo os testes de aderência (parâmetros da GEV: $\kappa = -0.0592$, $\alpha = 27.3086$, $\beta = 103.3939$, $n = 55$ anos).

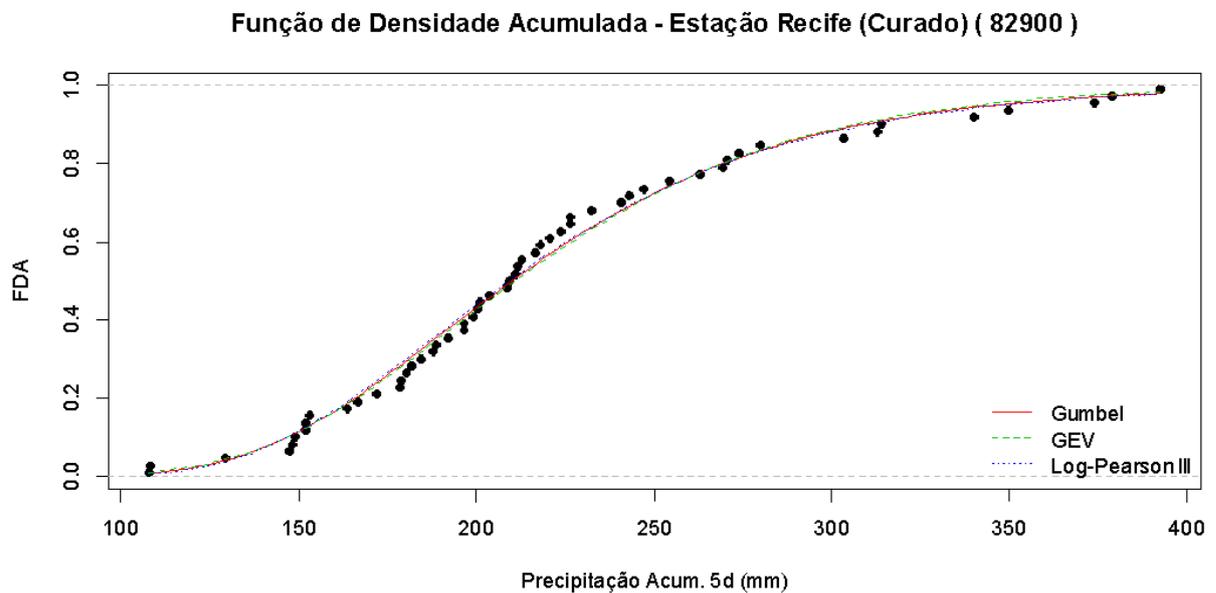


Figura 57 - Ajuste das distribuições de densidade acumulada à distribuição empírica, para os dados de precipitação da estação 82900 – Recife (Curado)-PE, do INMET. A distribuição GEV foi a que melhor se ajustou aos dados segundo os testes de aderência (parâmetros da GEV: $\kappa = -0.0343$, $\alpha = 53.0091$, $\beta = 191.7913$, $n = 55$ anos).

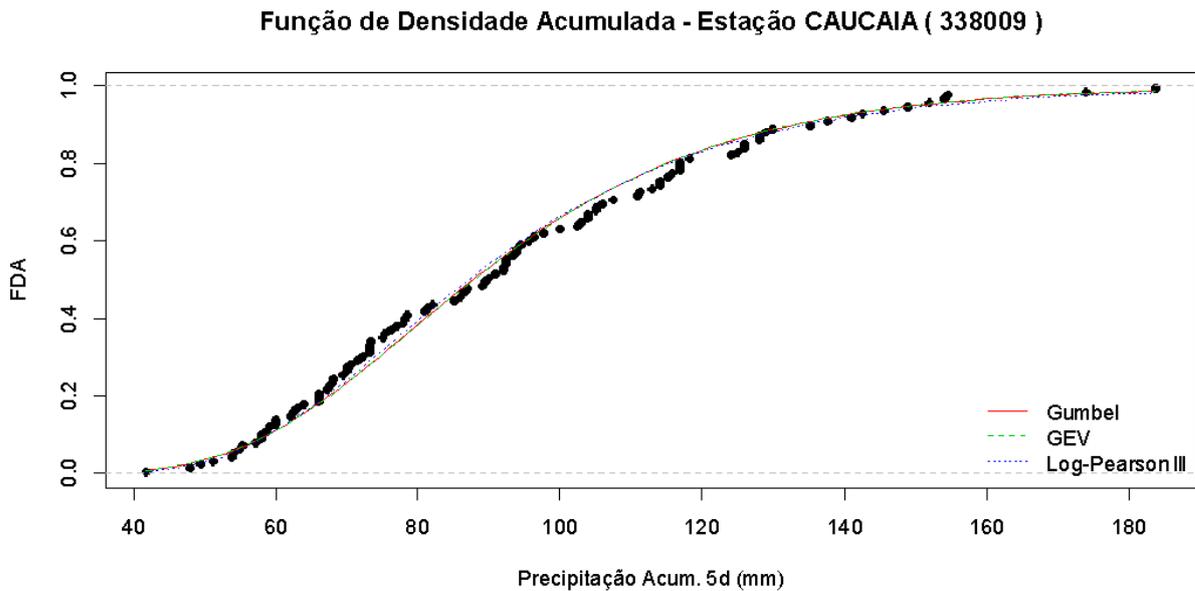


Figura 58 - Ajuste das distribuições de densidade acumulada à distribuição empírica, para os dados de precipitação da estação 82900 – Caucaia-CE, da ANA. A distribuição LPIII foi a que melhor se ajustou aos dados segundo os testes de aderência (parâmetros da LPIII: $\alpha=24.2940$, $\beta=61.3905$, $\gamma=1.9533$, $n = 104$ anos).

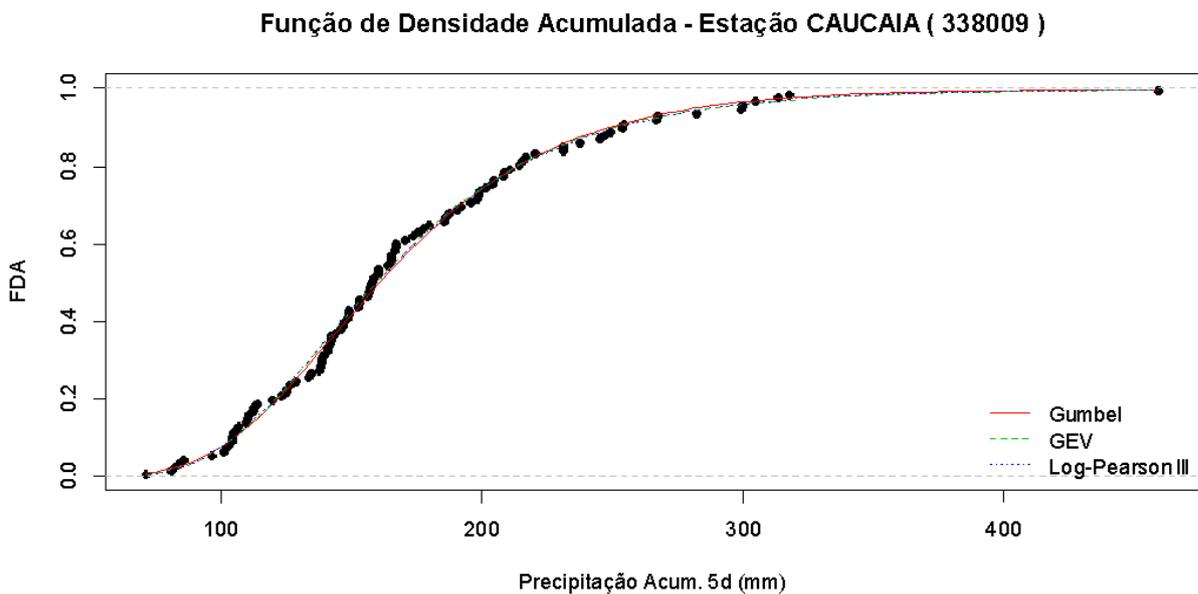


Figura 59 - Ajuste das distribuições de densidade acumulada à distribuição empírica, para os dados de precipitação da estação 82900 – Caucaia-CE, da ANA. A distribuição GEV foi a que melhor se ajustou aos dados segundo os testes de aderência (parâmetros da GEV: $\alpha=24.2940$, $\beta=61.3905$, $\gamma=1.9533$, $n = 104$ anos).

A partir dos ajustes das funções de distribuição, para as 3.476 estações, foram estimados os períodos de retorno para todos os eventos de precipitação associados à ocorrência de desastres

naturais. O gráfico da Figura 60 apresenta um resumo dos resultados oriundos destes cálculos. São apresentadas as distribuições de frequência relativa (em porcentagem) dos períodos de retorno (em anos) para os acumulados de 1, 2, 5, 10 e 30 dias. Foram excluídos da apresentação nos gráficos os resultados cujo período de retorno é igual a 1 ano, ou seja, todo anos o valor do evento de precipitação é repetido ou superado. Nota-se que quanto maior o período de dias acumulados maiores são os valores do período de retorno. Isso mostra que os eventos de desastres estão mais associados a valores acumulados de vários dias de precipitação, ao invés de um único evento extremo de chuva concentradas em um dia.

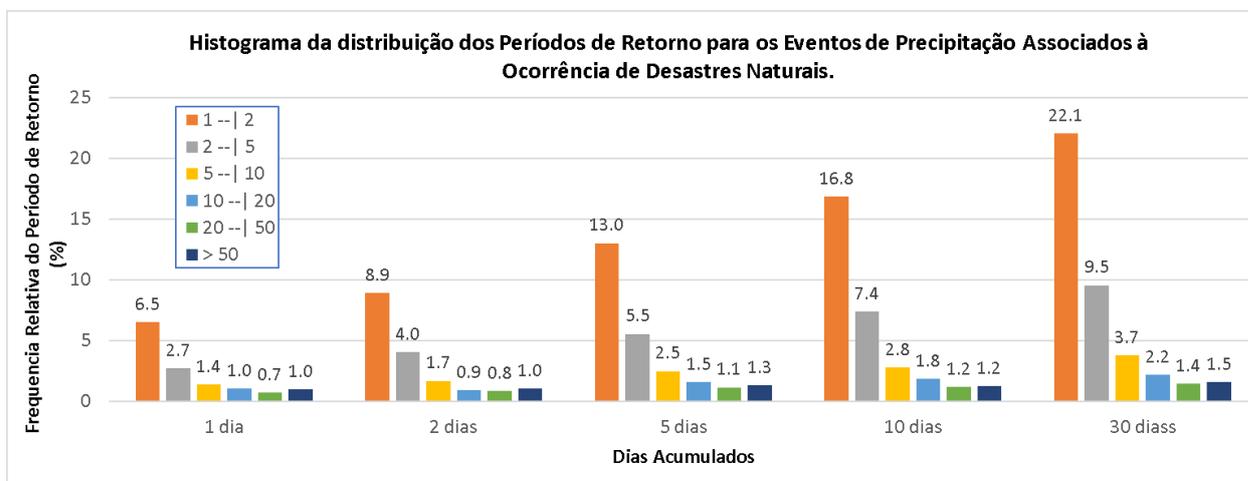


Figura 60 – Histograma da distribuição dos Períodos de Retorno (em anos) para os eventos de precipitação associados à ocorrência de desastres naturais para as 3476 estações e acumulados de precipitação para 1, 2, 5, 10 e 30 dias.

Na Figura 61 é mostrado um gráfico de dispersão entre o logaritmo dos períodos de retorno dos eventos de precipitação associados à ocorrência de desastres naturais versus as classes de precipitação calculadas a partir da técnica dos quantis. O eixo das abcissas é plotado em escala logarítmica para que os valores com períodos de retorno maiores possam ser melhor visualizados. A Tabela 28 apresenta uma análise da correlação entre os valores de período de retorno com as classes de precipitação. Para o cálculo do coeficiente de correlação foi utilizado a correlação de Spearman, onde foram atribuídos pesos de 1 a 6 às classes de precipitação (1 Seco; 2-Fraca; 3-Moderada; 4-Forte; 5-Muito Forte e 6-Extrema). Além dos coeficientes de correlação são apresentados o coeficiente de determinação (r^2) e *p-valor*. Verifica-se que a correlação é bastante forte, sobretudo para quando se exclui das análises as estações que não tiveram chuva (chuva maior que 0.2 mm).

Tabela 28 – Análise de correlação (de Spearman) entre os valores de período de retorno dos eventos de precipitação associados à ocorrência de desastres naturais com as classes de precipitação calculadas a partir da técnica dos quantis.

Dias Acumulados	Todas as Estações				Somente as estações com precipitação (chuva maior que 0.2mm).			
	r	r ²	p-valor	N pares	r	r ²	p-valor	N pares
1 dia	0.6	0.4	< 0.001	38268	0.8	0.6	< 0.001	18263
2 dias	0.7	0.5	< 0.001	38268	0.8	0.6	< 0.001	21028
3 dias	0.7	0.5	< 0.001	38268	0.8	0.7	< 0.001	22780
4 dias	0.7	0.6	< 0.001	38268	0.8	0.7	< 0.001	23687
5 dias	0.8	0.6	< 0.001	38268	0.9	0.7	< 0.001	24275
10 dias	0.8	0.7	< 0.001	38268	0.9	0.8	< 0.001	25652
15 dias	0.8	0.7	< 0.001	38268	0.9	0.8	< 0.001	26101
30 dias	0.9	0.7	< 0.001	38268	0.9	0.8	< 0.001	26556

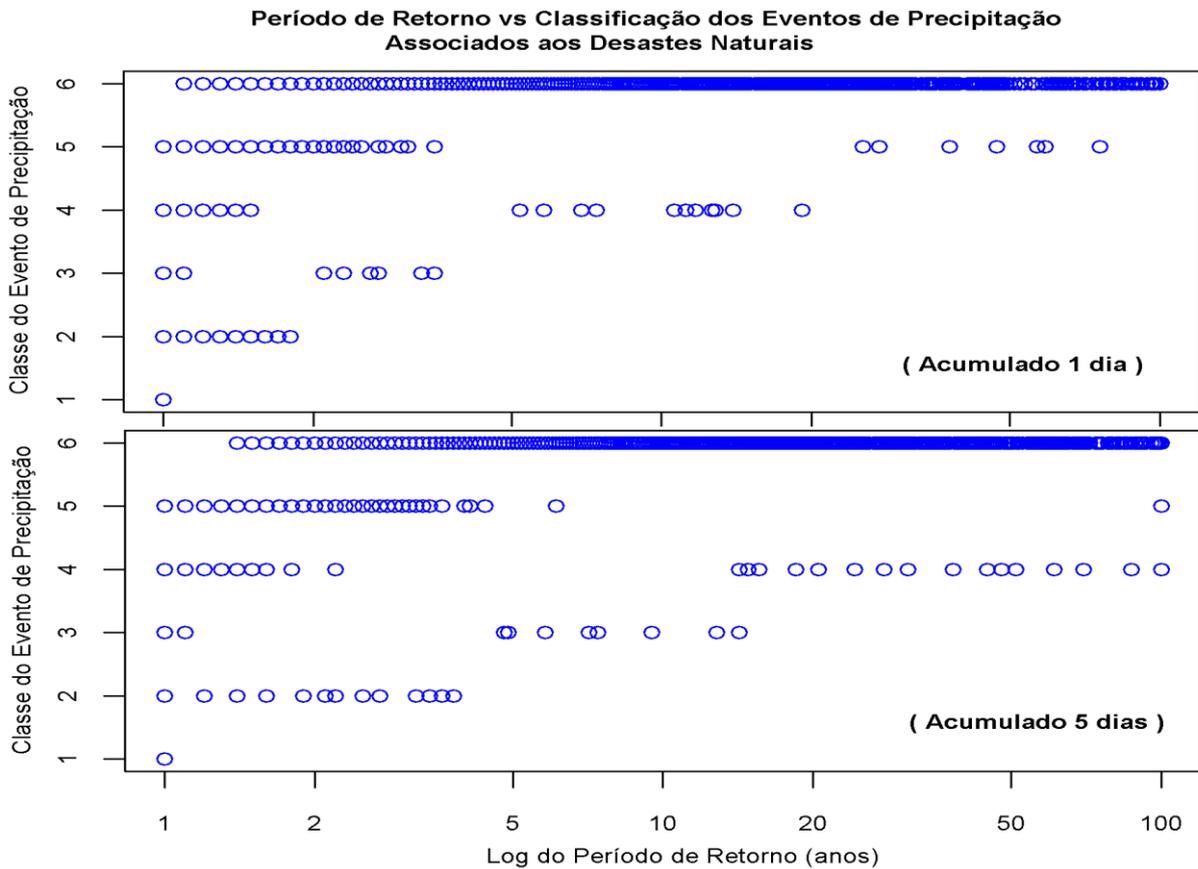


Figura 61 – Gráfico de dispersão entre o logaritmo dos períodos de retorno dos eventos de precipitação associados à ocorrência de desastres naturais versus as classes de precipitação calculadas a partir da técnica dos quantis.

5.7. Estudo de Casos de Eventos Extremos de Precipitação Associados à Ocorrência de Desastres Naturais

Nesta seção é apresentada uma análise mais detalhada de alguns exemplos de eventos de desastres naturais agrupados por região geográfica. Nas regiões norte e nordeste os casos estudados foram selecionados devido à forte intensidade do evento de chuva e, para as regiões sul, sudeste e centro-oeste, devido às grandes perdas econômicas, de vidas humanas e do patrimônio histórico, respectivamente.

5.7.1. Região Nordeste

Na segunda quinzena de janeiro e início de fevereiro de 2004 verificou-se a ocorrência de eventos extremos diários de precipitação em grande parte do Estado da Paraíba. Este período foi marcado pela ocorrência de chuvas extremas em comparação aos demais meses de 2004. De acordo com o Boletim Climanálise/CPTEC-INPE as chuvas registradas durante o período ocorreram devido ao deslocamento de frentes frias para o norte, a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a presença de Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN) no mês de janeiro. No mês de fevereiro houve consequências da combinação de um VCAN e da ZCIT. Na Figura 62 observa-se que no mês de janeiro, em 19 dias de chuva, foi registrado um acumulado médio de 398,71 mm, causando precipitações de 5 a 12 vezes superiores às médias climatológicas locais.

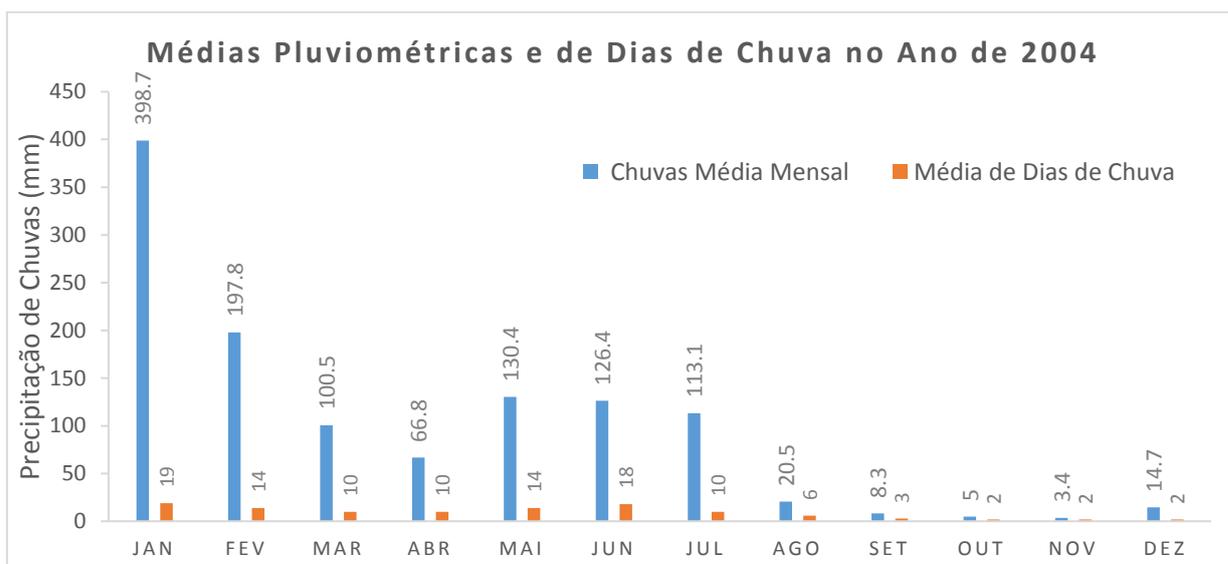


Figura 62 - Médias Pluviométricas em 2004, com base nos dados das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) e INMET, no Estado da Paraíba.

Fonte: ANA e INMET, 2017

Uma das melhores ferramentas para se estudar os tipos de sistemas meteorológicos que atuaram em determinado período é a partir do uso de imagens de satélites. As imagens permitem a realização de análises subjetivas dos mapas meteorológicos. Dentre os tipos de imagens disponíveis uma das mais utilizadas são as imagens realçadas no canal infravermelho de temperatura de topo de nuvem. Neste tipo de imagem quanto mais alto for o topo da nuvem mais baixa será a temperatura exibida na imagem, indicando maior desenvolvimento vertical do sistema em questão. Para este trabalho foram utilizadas imagens disponibilizadas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSA/CPTEC/INPE). No dia 20/01/2004 a imagem de temperatura do topo de nuvem, gerada a partir do satélite GOES-12, às 20:45 UTC (Figura 63 mostra alta atividade convectiva sobre a Paraíba).

A Figura 64 mostra a distribuição de alguns eventos extremos com chuva acumulada acima de 100 mm, no período de 15 de janeiro a 7 de fevereiro, destacando os meses de maior ocorrência de eventos extremos de chuvas nas localidades. Os meses de janeiro e fevereiro correspondem à estação chuvosa na Mesorregião do Sertão Paraibano, a qual apresentou os maiores índices desse evento adverso (eventos extremos positivos).

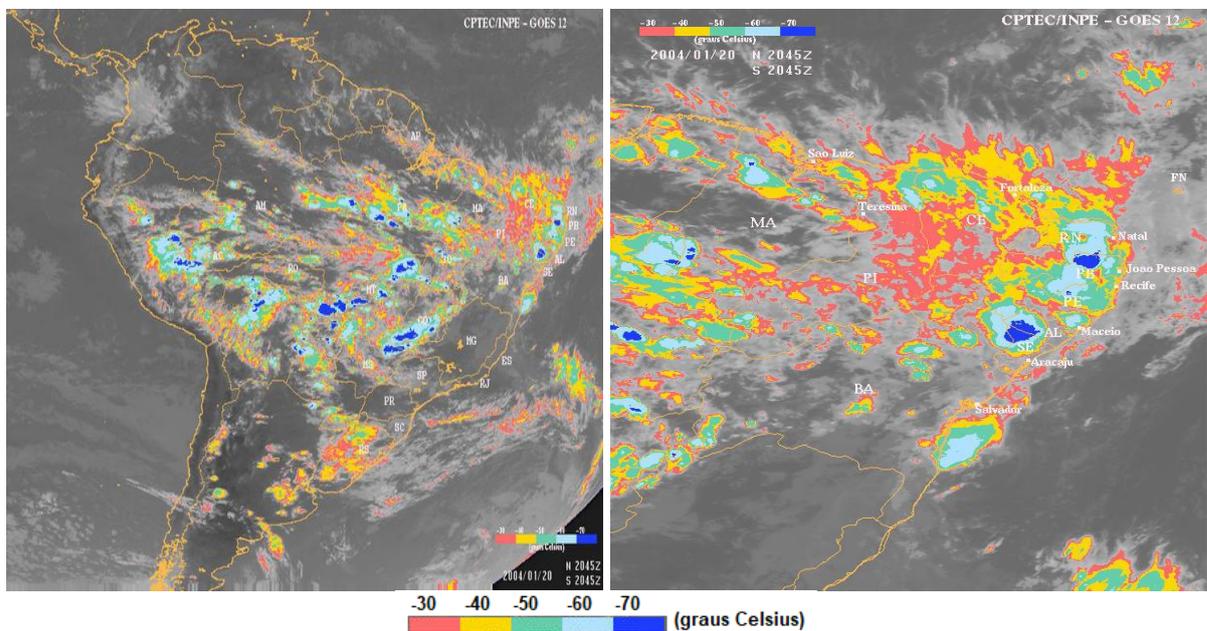


Figura 63 - Imagens do satélite GOES-12, Temp. Topo de Nuvens, às 20:45 UTC, de 20/01/2004.

Fonte: CPTEC/INPE., 2017.

O ano de 2009 também apresenta médias de precipitações elevadas, com maiores índices nos meses de abril e maio. Neste ano foram registrados, no estado da Paraíba, 80 casos de inundações bruscas. Na Figura 64 observa-se que nos meses de abril e maio, em 17 dias de chuva, foram registrados um acumulado médio de 268,5 mm e 228,4 mm, respectivamente. A maior chuva em 24 horas ocorreu no município de Patos (oeste da PB), onde no dia 14 de abril foi registrado 258,2 mm, sendo que em apenas 4 horas foram acumulados 230,4 mm. Este evento extremo positivo, ocorrido entre o dia 13 e 14, foi ocasionado pela circulação de grande escala e o processo termodinâmica da mesoescala, com as anomalias positivas de Temperatura da Superfície do Mar, a liberação de calor latente do oceano e transporte de umidade pelos ventos de leste para o interior do continente, nos baixos níveis atmosféricos (Boletim Agroclimatológico Mensal de Abril -2009, INMET, 2009).

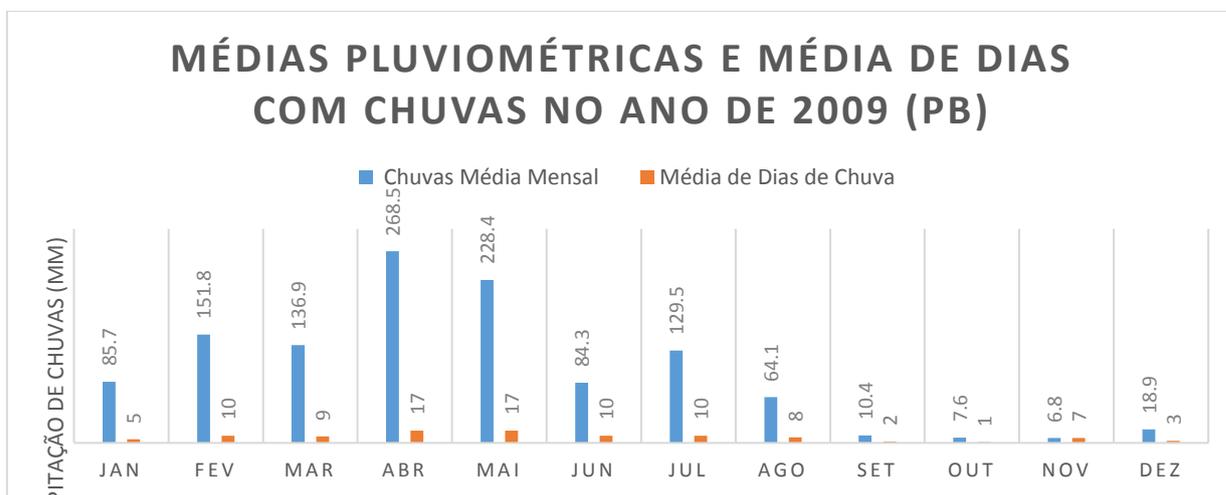


Figura 64 - Médias Pluviométricas em 2009, com base nos dados das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) e INMET, no Estado da Paraíba
Fonte: ANA, 2017.

Os elevados totais mensais de chuva registrados em abril são justificados pela presença da Zona de Convergência Intertropical, que esteve atuando sobre o litoral norte da região praticamente durante todo o mês. Isto favoreceu também a formação de áreas de instabilidade, que por sua vez provocaram chuvas localmente fortes, como foi o caso de Patos (PB) (Boletim Agroclimatológico Mensal de Abril -2009, INMET, 2009).

Na Figura 65 observa-se a evolução e a formação do sistema que ocasionou o evento extremo positivo de chuvas no dia 13/04/2009. As imagens do satélite GOES-10 mostram fracas formações de nuvens convectivas as 16:15 UTC. As 19:45 UTC algumas formações em desenvolvimento já estavam atuando no Sertão, Alto Sertão e Cariri, em São José dos Piranhas

(PB), Cajazeiras (PB), Conceição (PB), Ibiará (PB), entre outros. As 21:15 UTC o sistema já estava mais desenvolvido atuando fortemente em Patos (PB), São José do Bonfim (PB), Coremas (PB), entre outros. As 23:45 UTC o sistema estava bem intenso com atividades convectivas sobre a Paraíba, Pernambuco, sul e sudoeste do Rio Grande do Norte, entre outras localidades.

Em Patos-PB, no período das 17:00 horas do dia 13/04 às 01:10 do dia 14/04/2009, ocorreu um dos maiores eventos extremos de chuva da região semiárida, superando a média histórica de 154,5 mm de todo o mês de abril, e alcançando em apenas 14 dias o total de 462,3 mm, sendo decretado Situação de Emergência – SE. Destaca-se também o impacto destas chuvas nas reservas hídricas, onde observou-se o transbordamento do rio Espinharas e a sangria do Açude Jatobá, que tiveram seus níveis alterados em cerca de 3.5 metros. Tabela 29 apresenta a distribuição de alguns eventos extremos positivos com chuva diária, intensa e extrema, acima de 100 mm/dia, para o período de 13/04 a 14/04/2009, destacando os meses de maior ocorrência de eventos extremos de chuvas nas localidades.

Tabela 29 - Dados pluviométricos e eventos de desastres naturais que marcaram a estação da Paraíba em 2004 e 2009.

Localidade	Data/ Desastre	Estação	Parâmetro	Quantidade de Dias Acumulados				
				30 dias	10 dias	5 dias	2 dias	1 dia
Mulungu-PB	21/01/04- Enxurrada	735009- Mulungu	Chuva (mm)	243,8	228,7	191,2	188,7	124,0
			Classe	CMF	CE	CE	CE	CE
			TR	2,2	14,7	88,9	100	81,1
Mari-PB	02/02/04- Enxurrada	735009- Mulungu	Chuva (mm)	670,5	237,9	152,5	142,5	13,9
			Classe	CE	CE	CE	CE	CF
			TR	100	18,2	11	53,8	1
Piancó-PB	04/02/04- Enxurrada	737006- Piancó	Chuva (mm)	611,8	284,6	139,5	75,6	20,5
			Classe	CE	CE	CMF	CF	CM
			TR	18,9	6,5	1,9	1,1	1
Patos-PB	14/04/09- Enxurrada	82791 – Patos	Chuva (mm)	479,0	347,6	307,4	269,7	258,2
			Classe	CE	CE	CE	CE	CE
			TR	13,8	100	100	100	100
Bernardino Batista-PB	15/04/09- Enxurrada	638066- Icozinho	Chuva (mm)	238,0	175,6	161,6	138,5	112,2
			Classe	CF	CMF	CE	CE	CE
			TR	1,4	2,2	6,2	13,7	8,2

*Chuvas Moderadas, Chuvas Fortes, Chuvas Muito Fortes (CMF), Chuvas Extremas (CE).

Fonte: Agência Nacional de Águas, 2017.

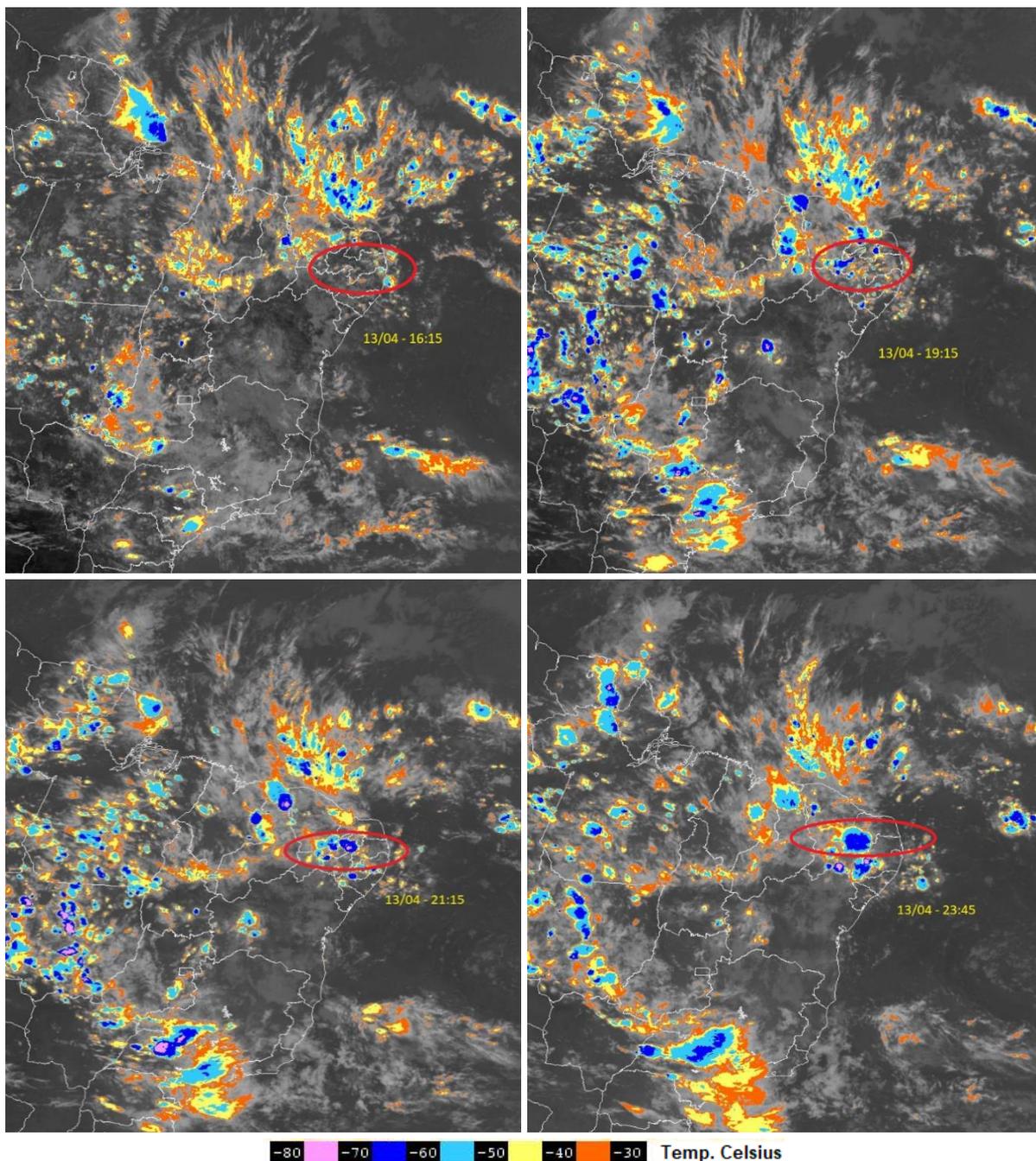


Figura 65 - Imagens do satélite GOES-10, topo de nuvens, às 16:15 UTC, 19:45 UTC, 21:15 UTC e 23:45 UTC, de 13/04/2009.

Fonte: CPTEC/INPE/DSA.

Tal episódio está associado ao Decreto de Situação de Emergência (SE) que gerou dois AVADANs no dia 14/04/2009 referente aos municípios de Patos e Catingueira (PB). Em Patos o decreto de emergência foi aplicado a 10 bairros: Morro, Jardim Guanabara, Novo Horizonte, Santo Antônio, Dom Bosco, São Sebastião, Juá Doce, Noé Trajano, Salgadinho e Nova Brasília. Na Figura 65 observa-se alguns impactos gerados pelo evento extremo positivo de 13/04/2009

tais como: inundação no bairro Morro (15/04) (a), sangria do Açude do Jatobá, setor Sul da cidade de Patos (b), alagamento da cidade de Patos (c), e perdas de animais na zona rural de Patos (d).



Figura 66 – a) impactos gerados pelo evento extremo de 13/04/2009, como: a inundação no bairro Morro (15/04); b) sangria do Açude do Jatobá, setor Sul da cidade de Patos; c) alagamento da cidade de Patos; d) perdas de animais na zona rural de Patos.

Fonte: <http://www.sertaoemdestaque.com/retrospectiva-o-dia-em-que-um-diluvio-atingiu-patos-pb-e-deixou-varias-familias-desabrigadas-pluviometros-marcaram-280-mm>

5.7.2. Região Norte

Segundo os Boletins Agroclimatológicos Mensais do INMET, o ano de 2014 foi marcado pela ocorrência de vários eventos extremos positivos de precipitação na região Norte, em particular no mês de março. Como exemplo cita-se o acumulado diário 111,0 mm de precipitação em Codajás-AM no dia 04/03/14, 116,0 mm em Palmas-TO no dia 09/03/14, e 111mm no em Manicoré-AM no dia 23/03/14. Contudo nenhum destes extremos de precipitação ocasionaram o registro de ocorrência de desastres naturais no sistema S2iD. Por outro lado, no dia 12/03/14

foi registrado no S2iD um evento de enxurrada e movimento de massa no período de 11 a 12/03/14 no município de Alenquer-PA. Na Figura 67 observa-se imagens de satélite com evolução do sistema que ocasionou o evento extremo de precipitação de chuvas intensas no período correspondente, acumulando 110,7 mm na estação 144003-Alenquer, que corresponde a 20% do total acumulado de 604,9 mm de chuvas para o mês de março na estação. No que diz respeito ao sistema meteorológico pode-se destacar a atuação de uma Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e de áreas de instabilidade, além da forte divergência do fluxo de ventos em altos níveis, ocasionados pela circulação da Alta da Bolívia. Conforme o Boletim do INMET o sistema estava bem intenso com atividades convectivas sobre Macapá (AP) com 32 mm/24hs, Labrea (AM) com 57 mm/24hs, Manaus (AM) com 42 mm/24hs, Altamira (PA) com 34 mm/24hs, Conceição do Araguaia 41 mm/24hs, entre outras localidades observadas na Tabela 30.

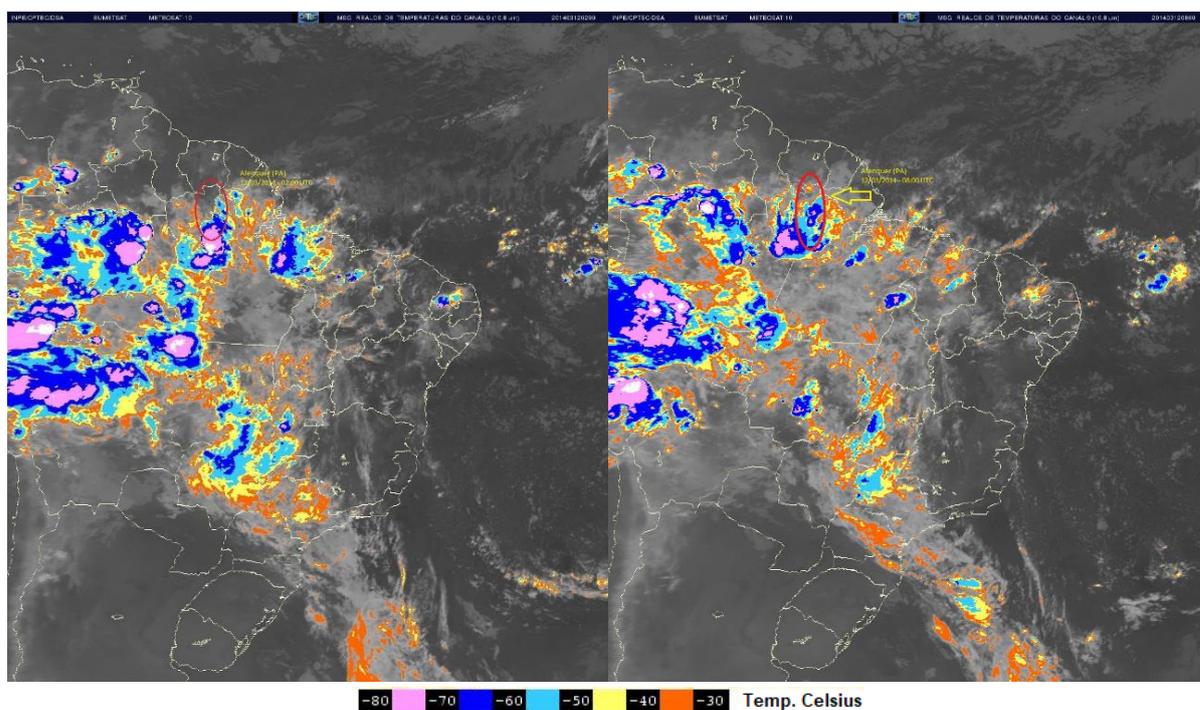


Figura 67 - Imagem realçada do canal infravermelho do satélite METEOSAT – 9, no dia 12/03/2014, mostrando a temperatura do topo de nuvens, às 02:00 UTC e 08:00 UTC, respectivamente.

Fonte: CPTEC/INPE/DSA.

Tabela 30 - Dados pluviométricos e eventos de desastres naturais que atingiram o estado do Pará em 2008 e 2014.

Localidade	Data/ Desastre	Estação	Parâmetro	Quantidade de Dias Acumulados				
				30 dias	10 dias	5 dias	2 dias	1 dia
Marabá – PA	14/04/08- Inundação	82562 - Marabá	Chuva (mm)	354,8	111,1	57,4	40,5	26,8
			Classe	CF	CF	CF	CF	CF
			TR	1	1	1	1	1
Alenquer – PA	13/04/08- Inundação	154003 – Alenquer	Chuva (mm)	571,1	203,1	132,4	96,9	13,2
			Classe	CE	CMF	CMF	CMF	CM
			TR	7,5	1,7	1,4	1,2	1
Alenquer – PA	12/03/14- Enxurrada/ Movimento Massa	154003 – Alenquer	Chuva (mm)	549,3	206,1	112,1	110,7	11,5
			Classe	CE	CMF	CMF	CE	CM
			TR	6,2	1,7	1,1	1,4	1
Senador José Porfírio – PA	12/03/14 Inundação	251001 – Senador José Porfírio	Chuva (mm)	477,7	159,8	48,6	27,2	3,7
			Classe	CMF	CF	CM	CM	CF
			TR	1,4	1	1	1	1
Tucuruí – PA	12/03/14 -Inundação	82361 – Tucuruí	Chuva Acum. (mm)	412,3	136,8	95,6	52	39,4
			Classe	6-CF	6-CF	6-CF	6-CF	6-CF
			TR	1	1	1	1	1
São Félix do Xingu – PA	12/03/14 Inundação	82668 – São Félix do Xingu	Chuva Acum. (mm)	406,2	212,6	121,6	121,6	46,8
			Classe	7-CMF	7-CMF	7-CMF	8-CE	7-CMF
			TR	1,3	1,7	1,2	1,7	1

*Chuvas Moderadas, Chuvas Fortes, Chuvas Muito Fortes (CMF), Chuvas Extremas (CE).

Fonte: Agência Nacional de Águas, 2017.

O município de Alenquer-PA está localizado as margens do rio Surubiú, na região oeste do estado, inserido nos domínios da bacia do Amazonas. De acordo com o IBGE sua população estimada, em 2015, era de 54.662 habitantes, distribuídos em 23.645 km². As inundações e enxurradas já fazem parte do cotidiano da população de Alenquer, onde todos os anos a orla da cidade e ruas próximas são afetadas por esse fenômeno. As maiores inundações ocorreram nos anos de 1953, 1976, 1989, 1996, 2000, 2006, 2008, 2009, 2011, 2012, 2014 e 2017. Mas nas análises, somente os eventos dos anos 1996, 2000, 2011 e 2014 foram identificados como inundações bruscas ou enxurradas (SILVA Jr, 2010).

Observa-se na Figura 68 que, em decorrência de intensas chuvas que ocorreram desde o início de janeiro até abril de 2014, tendo como agravante o elevado índice pluviométrico que assolou o Alenquer nos dias 11 e 12/03/2014, foram identificados desastres de enxurradas e inundações que atingiram cerca de 20 comunidades ribeirinhas e 07 bairros, incluindo os setores comercial e industrial, e serviços de água e energia elétrica da cidade. Diante desse cenário esse evento extremo de precipitação, ocorrido em Alenquer, resultou em significativos danos materiais, ambientais. A Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil do Município de Alenquer-PA solicitou o reconhecimento de Situação de Emergência (SE), segundo o Decreto Nº 1030/2014, de 28/04/2014, sendo reconhecida em 15/05/2014 pela Portaria Nº 142 e publicada no Diário Oficial da União de 20/05/2014.



Figura 68 - Imagens de estabelecimentos de serviços à população atingidos pelos eventos de inundação e enxurradas no município de Alenquer. a) Banco do Brasil; b) Hotel; c) Posto de Combustível; d) Usina Termoelétrica Guascor.

Fonte: Silva Jr, 2010.

5.7.3. Região Centro-Oeste

Quanto a análise da relação entre precipitações intensas e inundações bruscas decorrentes dos eventos extremos positivos na região Centro-Oeste, destaca-se os registros ocorridos na cidade de Goiás (Goiás Velho) nos anos de 1989, 2001 e 2011. Na Tabela 31 verifica-se a ocorrência de altos índices pluviométricos capazes de saturar os solos e intensificar o escoamento superficial nos dias que antecedem o episódio de enxurrada. A observação dos dados permite constatar que as enxurradas, geralmente, ocorrem após fortes precipitações de verão. Mas é importante observar a quantidade acumulada das chuvas ocorridas nos dias que antecederam os eventos. Entretanto, verifica-se que nem sempre grandes eventos extremos de chuvas ocorrem em anos muito chuvosos, pois muitas vezes são eventos extremamente concentrados, de forma que algumas enxurradas foram registradas em anos considerados secos (abaixo da média pluviométrica).

Tabela 31 - Dados Pluviométricos e enxurradas registradas na Cidade de Goiás – GO pela estação pluviométrica 83374 – Goiás (INMET).

Localidade	Data/ Desastre	Estação	Parâmetro	Quantidade de Dias Acumulados				
				30 dias	10 dias	5 dias	2 dias	1 dia
Cidade de Goiás – GO	21/12/1989- Inundação -	83374 – Goiás	Chuva Acum. (mm)	590,5	272,1	77,9	64,1	48,6
			Classe	CMF	CMF	CF	CF	CMF
			TR	3,6	2,8	1	1	1
Cidade de Goiás – GO	31/12/2001- Enxurrada	83374 – Goiás	Chuva Acum. (mm)	316,6	171,5	156	135,5	40,9
			Classe	CF	CF	CMF	CE	CF
			TR	1	1	1,4	1,9	1
Cidade de Goiás – GO	10/01/2011- Enxurrada	83374 – Goiás	Chuva Acum. (mm)	491,5	313,2	139,5	101,7	78,2
			Classe	CMF	CE	CMF	CMF	CMF
			TR	1,8	5,2	1,2	1,1	1,6

Fonte: Agência Nacional de Águas, 2017.

Segundo o Boletim Agroclimatológico do INMET, em janeiro de 2011 as chuvas ficaram acima da média climatológica no oeste de Goiás. No leste, sudeste e parte norte do estado de Goiás variaram de normal a abaixo do normal. O maior acumulado mensal de precipitação do estado ocorreu na cidade de Goiás (GO), que registrou em vinte e três dias 512,1 mm, 143% acima da média de janeiro para a cidade. No dia 10/01/2011, por exemplo, após as fortes chuvas que

começaram na noite do dia anterior (09/01), a precipitação registrada foi de 78,2 mm/dia. A Defesa Civil e o Corpo de Bombeiros foram acionados praticamente todos os dias para atender ocorrências de diversos tipos, tais como: alagamentos, enxurradas, queda de árvores, danificação de patrimônio público e particular, entre outras. De 01 a 07 de janeiro já havia precipitado 90% das chuvas previstas para todo o mês na região. Durante o mês as condições meteorológicas foram influenciadas pela atuação de áreas de instabilidade ocasionadas pela Alta da Bolívia (calor e alta umidade) e pela atuação de uma Zona de Convergência do Atlântico Sul, como pode-se observar nas imagens do satélite Meteosat 9, dos dias 09/01 e 10/01/2011 (Figura 69 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

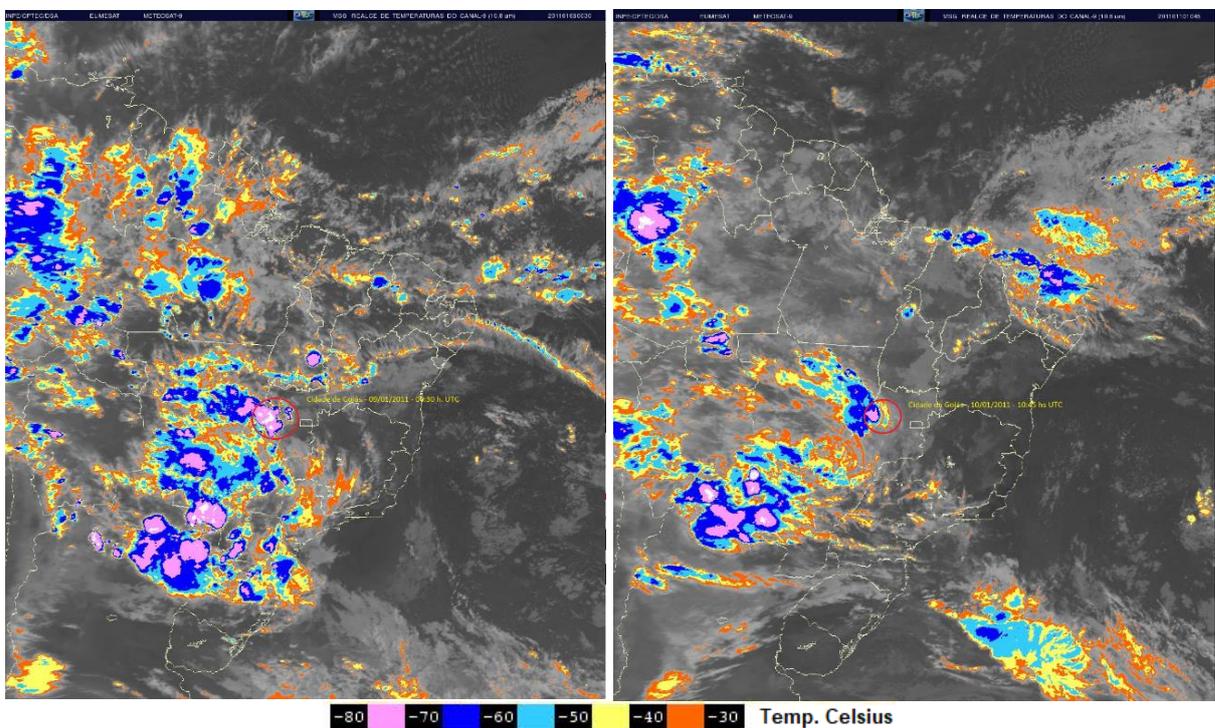


Figura 69 - Imagens realçadas do canal Infravermelho do Satélite METEOSAT – 9, nos dias 09/01 e 10/01/2011, temperatura de topo de nuvens, às 00:30 UTC e 10:45 UTC.

Fonte: CPTEC/INPE/DSA.

Os efeitos causados por essas inundações bruscas ocasionaram diversos impactos e danos materiais. O rio Vermelho, que corta da cidade, transbordou após as fortes chuvas. O trânsito foi interditado em várias localidades na cidade, incluindo a ponte da Casa de Cora Coralina, que corria risco de ficar submersa. Segundo o Corpo de Bombeiros a ponte do hospital de Caridade São Pedro D´Alcântara ficou totalmente submersa e foi interditada devido ao comprometimento de sua estrutura pela forte chuva. Pelo menos 31 residências foram atingidas pela inundação (Figura 70).



Figura 70 - Inundações bruscas e alagamentos na cidade de Goiás, em 10/01/2011. a) transbordamento do rio Vermelho na ponte vizinha ao Museu Casa da poetisa Cora Coralina. b) alagamento das ruas da cidade. c) e d) extravasamento do leito do rio Vermelho. e) destruição de casas às margens do rio Vermelho. f) e g) fortes chuvas destroem marcos históricos do município, como a Cruz do Anhanguera.

Fontes: (a) e (b) Jornal IG- São Paulo, 2011. (c) e (d) Site Cidade de Goiás, 10/01/2011. (e) Site http://www.infobibos.com/Artigos/2010_1/enchentes/index.htm. f e g) Jornal IG, 2011.

A Figura 70 apresenta as inundações na região central da cidade de Goiás, no dia 10/01/2011, como o transbordamento do rio Vermelho, ultrapassando o nível da ponte vizinha ao Museu Casa da poetisa Cora Coralina e extravasando do seu leito, alagando as ruas da cidade.

Outro episódio que foi identificado como evento extremo positivo de chuvas na cidade ocorreu em 31/12/2001, após uma precipitação pluviométrica de 40,9 mm antecedida por vários dias chuvosos, que resultou na grande inundação classificada como de alta intensidade por Cavalcanti et al. (2008). Antes de ocorrer o evento, em 10 dias de chuvas acumuladas já havia precipitado um total de 171,5 mm na cidade de Goiás. Cerca de 85 edificações da área tombada pela UNESCO tiveram danos significativos e aproximadamente 35 foram totalmente destruídas (Jornal O POPULAR, 04/01/2002). Nesta inundação não houve mortes, mas 195 pessoas ficaram desabrigadas. Segundo o IPHAN os prejuízos materiais atingiram cerca de 25 milhões de reais. A Defesa Civil calculou o prejuízo em cerca de 10 milhões de reais (Folha de São Paulo, 03/01/2002) e, de acordo com a Prefeitura Municipal de Goiás o prejuízo foi de R\$ 8.650.000,00. As inundações no Rio Vermelho geralmente são bruscas, e o rio nunca passa mais de 4 horas fora de sua calha. Contudo deixam um terrível rastro de destruição (CAVALCANTI, et al., 2008).

5.7.4. Região Sudeste

Os eventos extremos de precipitação sobre a região serrana do estado do Rio de Janeiro, no período de 11 a 12 de janeiro de 2011, provocaram a maior tragédia ambiental do país, atingindo mais de 10 municípios, e resultando em graves consequências tais como: pessoas desalojadas, desabrigadas, óbitos, impactos ambientais, danos e prejuízos públicos e privados, dentre outras. Os sete municípios mais afetados foram: Nova Friburgo, Teresópolis, Petrópolis, Sumidouro, São José do Vale do Rio Preto, Bom Jardim e Areal. Este pode ser considerado um dos maiores episódios de movimento de massa generalizados do país e teve como consequência mais de 2.500 mortes e mais de 50.000 desabrigados, afetando quase 1 milhão de pessoas (Banco Mundial, 2012; Dourado et al., 2012).

De acordo com informações do CPTEC/INPE os eventos extremos positivos de precipitação que se observaram em janeiro de 2011, na região Sudeste do Brasil, principalmente na região serrana do Rio de Janeiro, foram causados pela atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que costuma ocorrer nos meses de verão, e também foram modulados pelo sinal da Oscilação Intrassazonal Madden-Julian (OMJ). A orografia da Região Serrana do Rio de Janeiro e da Serra do Mar também parecem ter favorecido a intensificação da atividade convectiva. As imagens de satélite dos dias 11/01 e 12/01/2011 (Figura 71) mostram, de forma bastante clara, a presença de uma ZCAS na região.

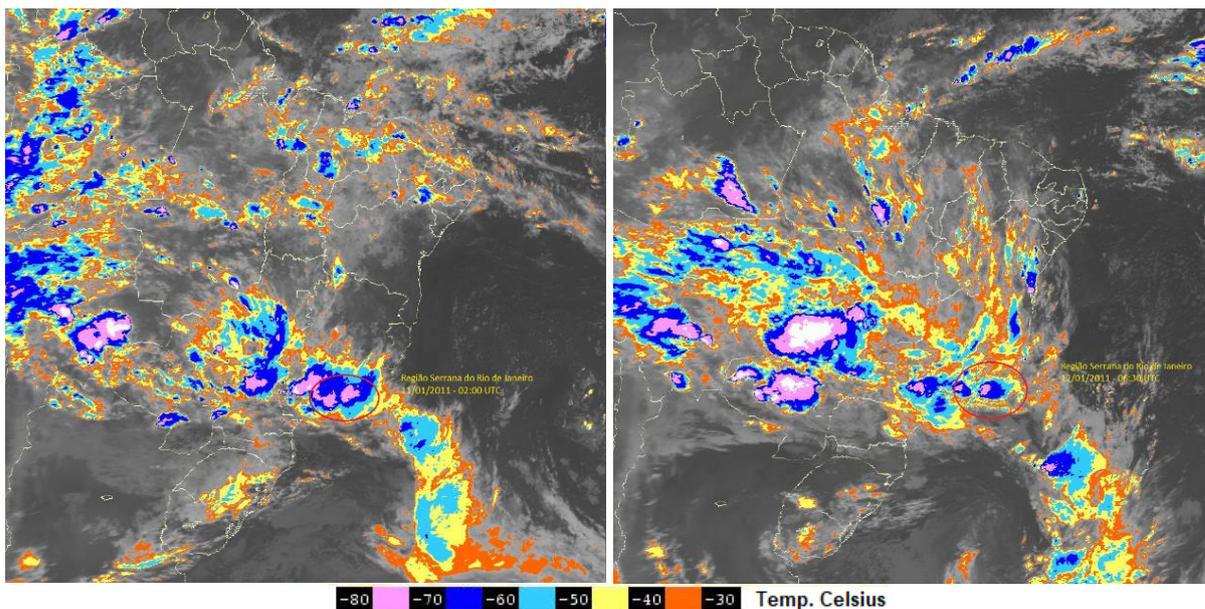


Figura 71 - Imagens realçadas do canal Infravermelho do Satélite METEOSAT – 9, nos dias 11/01/2011 e 12/01/2011, temperatura de topo de nuvens, às 02:00 UTC e 06:30 UTC.
 Fonte: CPTEC/INPE/DSA.

A região Serrana do Estado do Rio de Janeiro apresenta uma precipitação média anual de 1203 mm a 1532 mm, compatível com os valores obtidos nas análises das estações pluviométricas no presente estudo. A estação n° 2242024 – Teodoro de Oliveira, instalada no município de Nova Friburgo apresentou o maior valor de precipitação média anual para a região, com 3.235 mm acumulados. Em outras estações pluviométricas analisadas na região, a precipitação média anual variou de 1.455 a 1.627 mm no mês de janeiro de 2011. Em todas as estações foram registrados elevados valores de precipitação nos dias 11, 12 e 13 de janeiro de 2011. Destaca-se o volume precipitado em São José do Vale do Rio Preto que atingiu 249,8 mm em dois dias, Nova Friburgo com 195,2 mm em dois dias, seguido de 168 mm em dois dias em Teresópolis. Na estação Teodoro de Oliveira, em Nova Friburgo, o volume precipitado em dois dias foi um pouco menor, de 172,4 mm. Em Petrópolis as chuvas não foram de magnitude tão elevada, atingindo 79,5 mm em dois dias que está bem abaixo das médias das máximas diárias dessas estações, que ficam em torno de 89 mm (Tabela 32).

Tabela 32 - Dados pluviométricos e eventos de desastres naturais que marcaram a região serrana do RJ em 2011.

Localidade	Data/ Desastre	Estação	Parâmetro	Quantidade de Dias Acumulados				
				30 dias	10 dias	5 dias	2 dias	1 dia
São José do Vale do Rio Preto (RJ)	12/01/11- Enxurrada/ Deslizamento s	2242027- Fazenda Sobradinho	Chuva Acum. (mm)	697,5	304	249,8	249,8	145,5
			Classe	CE	CE	CE	CE	CE
			TR	100	12,5	29,4	100	96,7
Teresópolis (RJ)	12/01/11- Enxurrada/ Deslizamento s	83744 – Teresópolis	Chuva Acum. (mm)	548,8	237,5	168	168	124,6
			Classe	CE	CE	CE	CE	CE
			TR	5,4	2,1	2,2	53,4	7,8
Nova Friburgo (RJ)	13/01/11- Enxurrada/ Deslizamento s	2242024- Teodoro de Oliveira	Chuva Acum. (mm)	635,3	230,6	181	172,4	25,4
			Classe	CMF	CF	CMF	CMF	CM
			TR	1,7	1,1	1,1	1,4	1
Nova Friburgo (RJ)	13/01/11- Enxurrada/ Deslizamento s	2242020- Vargem Grande	Chuva Acum. (mm)	578,6	243,2	213,5	195,2	11,7
			Classe	CE	CMF	CE	CE	CM
			TR	4,8	2,1	3,5	20,6	1
Petrópolis (RJ)	12/01/11- Enxurrada/ Deslizamento s	2243011 – Rio da Cidade	Chuva Acum. (mm)	342,2	125,1	79,5	79,5	60,4
			Classe	CMF	CF	CF	CMF	CMF
			TR	1,3	1	1	1,1	1,2

Fonte: Agência Nacional de Águas, 2016.

Na Figura 72 observa-se o pluviograma da estação Vargem Alta (CPRM), localizada no município de Nova Friburgo, que possui o pluviógrafo que registrou a chuva das sete horas da manhã do dia 11 de janeiro às sete horas da manhã do dia 12 de janeiro de 2011. De acordo com a leitura do gráfico, a chuva acumulada desse período foi de 270,8 mm. Somente no período de 21h30 as 07h00 o volume de chuva precipitado foi de 219,2 mm.

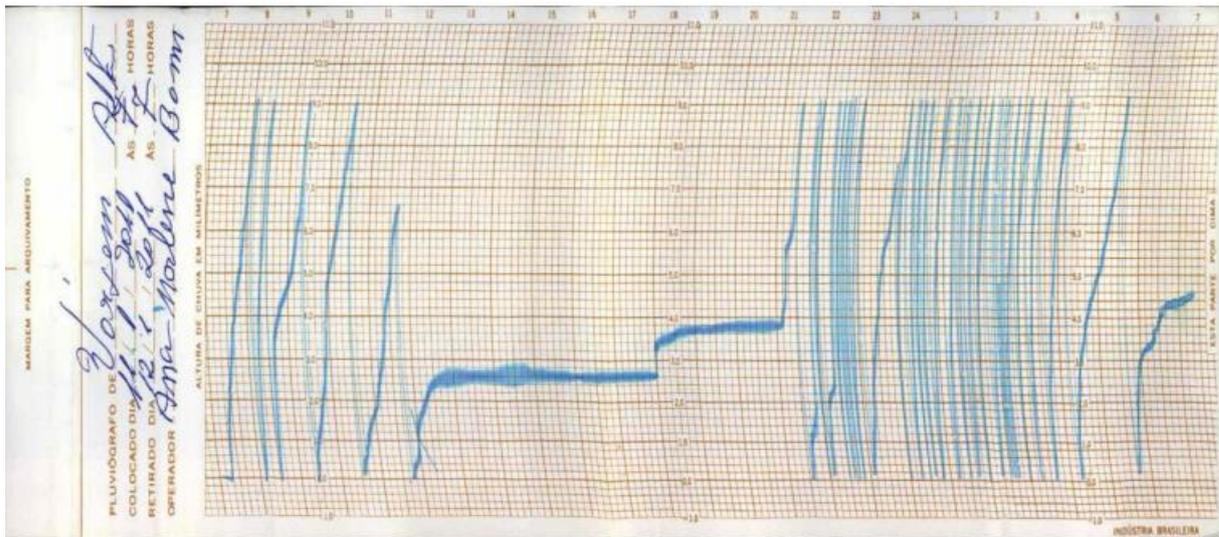


Figura 72 - Pluviograma da estação Vargem Alta das 07h00 do dia 11/01/2011 às 07h00 do dia 12/01/2011.

Fonte: CPRM, Medeiros, 2013.

Além da ocorrência de eventos extremos positivos de precipitação, com chuvas intensas consideradas “anormais e raras”, as características morfológicas compostas por montanhas com encostas íngremes e fundos de vales bem encaixados, e as características hidrológicas e geológicas da região, também contribuíram para o cenário de destruição na região, como os deslizamentos, movimentos de massas, enxurradas e enchentes.

Os escorregamentos e inundações bruscas ocorridos nas proximidades dos municípios de Nova Friburgo, Petrópolis, Teresópolis, entre outros foram impactantes, atingindo enormes áreas, soterrando bairros inteiros com rolamento de blocos de pedras, lamas e detritos, destruindo estradas, pontes, acessos e outras infraestruturas, arrasando com a maior parte da lavoura nessa região, deixando inúmeras vítimas e várias pessoas desabrigadas.

Em um estudo realizado pelo Laboratório de Geohidroecologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Geoheco/UFRJ (Coelho Netto et al., 2011), foram identificados 3.622 deslizamentos somente na área mais atingida do município de Nova Friburgo, em consequência desses eventos extremos positivos de precipitação ocorridos em 12/01/2011. Na Figura 73 é apresentada a imagem do satélite GeoEye, do dia 20 de janeiro de 2011, disponibilizada pelo Google Earth, onde observa-se as cicatrizes dos episódios de deslizamentos. A rodovia Tere-Fri (RJ-130) é uma referência e vetor da crescente ocupação desta região, sofrendo transformações na paisagem. Na comparação com imagens de satélites anteriores, verifica-se

que nesta área não existiam processos erosivos intensos ou cicatrizes com a dimensão e quantidade dos deslizamentos ocorridos em 12/01/2011.

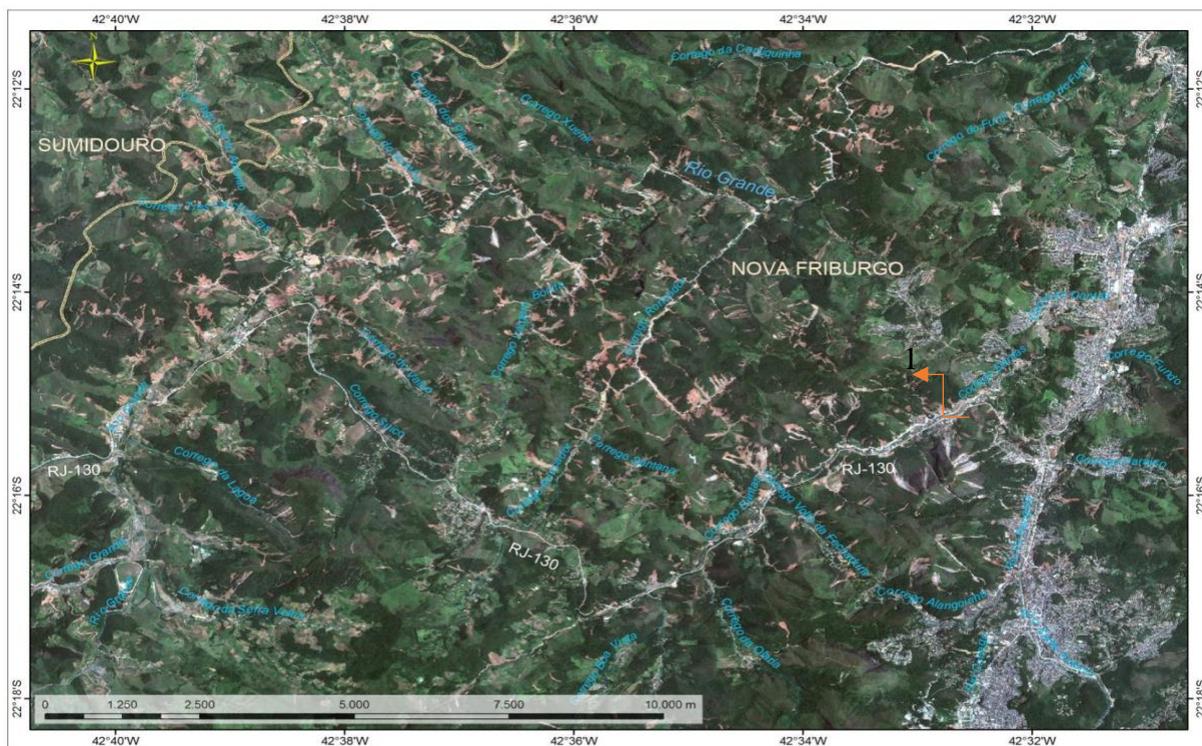


Figura 73 - Área mais atingida por deslizamentos em Nova Friburgo (imagem GeoEye, jan/2011). *1 - Cicatriz do Desabamento na Travessa Oriente, que soterrou casas e moradores, no Bairro do Córrego D'Antas, em 12/01/2011.

Fonte: Fundação COPPETEC/INEA, 2014.

Em geral, observa-se que as encostas com a presença de grandes e contínuas florestas naturais foram menos afetadas por deslizamentos do que outras áreas cobertas por pastagens ou mesmo por uma vegetação secundária. Contudo, o volume e a intensidade das chuvas foram grandes o suficiente para causar enxurradas bruscas com energia e velocidade arrasadoras, carregando solo, árvores, pedras e até grandes blocos de rocha, abrindo a calha de pequenos córregos e riachos ao longo das extensas e muito íngremes encostas com e sem floresta e ao longo dos rios principais nos fundos de vale (Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro, Volume 1 – Vulnerabilidade e Eventos Críticos, elaborado pela Fundação COPPETEC/INEA, 2014). Como exemplo, a Figura 74 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** (d), (e) e (f) mostra algumas das casas que foram atingidas pelas enxurradas e deslizamentos às margens do Córrego D'Antas, parte alta do bairro, em Nova Friburgo, durante a tragédia de 11 a 12/01/2011.



Figura 74 - A) Município de Bom Jardim na Região Serrana do Rio de Janeiro. B) Comunidade de Campo Grande, município de Teresópolis-RJ. C) Capela de Santo Antônio, na Praça do Suspiro, uma das áreas mais atingidas da cidade de Nova Friburgo-RJ. D) Construção atingida por barranco no Centro de Nova Friburgo-RJ. E) Casa desabitada e marcada em área de risco às margens do Córrego D'Antas, em Nova Friburgo, após tragédia de 2011. F) Soterramento de residências na margem esquerda do córrego D'Antas, Nova Friburgo-RJ, onde várias casas foram arrastadas pelos deslizamentos e atingidas pela inundação brusca.

Fontes: A) Revista Veja (Foto: Ana Amélia Erthal); B) Medeiros, 2013 (Foto: Flavio Morgado); C) G1-Globo. Rio de Janeiro, 14/01/2011 (Foto: Celso Pupo); D e E) Fotos da autora, 2014; F) Associação de Moradores do bairro Córrego D'Antas, Nova Friburgo-RJ, 2015.

5.7.5. Região Sul

As chuvas intensas que atingiram a região do Vale do Itajaí, em Santa Catarina, em novembro de 2008, causaram um dos maiores desastres naturais do estado. O evento configurou-se como um dos piores desastres da história do estado junto com as inundações de 1974, 1983, 1984, 1995, 2004 e 2005. Segundo os dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o maior registro histórico de chuvas para o estado compreende o período de 20 a 24 de novembro de 2008. Na cidade de Blumenau e Joinville os totais registrados de precipitação chegaram a ordem de 1.000 mm enquanto a média mensal histórica para o mês de novembro, nos referidos municípios, é de 150 mm. Espacialmente o evento não se limitou ao Vale do Itajaí e região litorânea do estado, mas, afetou as regiões Oeste, Norte, Grande Florianópolis e Sul do Estado, onde residem cerca de 34% da população de Santa Catarina.

De acordo com o Boletim Agroclimatológico Mensal de Novembro – 2008, INMET, na região Sul do Brasil, no mês de novembro, ocorreu precipitação acima da média no centro e leste do estado de Santa Catarina, e leste e norte do Paraná. Por outro lado, no oeste de Santa Catarina, sul, oeste e nordeste do Rio Grande do Sul e centro-leste do Paraná, a precipitação esteve abaixo da média. Destaca-se a ocorrência de mais de 500 mm mensal acumulados de chuva na região de Florianópolis e Vale do Itajaí em Santa Catarina. O maior total mensal de precipitação da região foi de 615,4 mm em Florianópolis-SC, o que superou o recorde mensal da cidade desde o início dos registros da estação pluviométrica. Em Indaial-SC, nordeste do estado, precipitou 598,1 mm, correspondendo mais que quatro vezes a normal climatológica.

Na Tabela 33 verifica-se alguns exemplos de eventos extremos positivos de precipitação, e sua evolução durante o período de 21 a 24 de novembro de 2008, registrados na base de dados de precipitações pluviométricas correlacionadas com as ocorrências de desastres, com chuvas acumuladas até 30 dias antes de ocorrer os eventos de desastres naturais que marcaram o estado de Santa Catarina.

Tabela 33 - Dados pluviométricos e eventos de desastres naturais que marcaram a região o Vale do Itajaí em 2008.

Localidade	Data/ Desastre	Estação	Parâmetro	Quantidade de Dias Acumulados				
				30 dias	10 dias	5 dias	2 dias	1 dia
Ilhota-SC	24/11/08 – Enxurrada	2648019- Piçarras	Chuva Acum. (mm)	640,6	442	422,4	349,3	27,6
			Classe	8-CE	8-CE	8-CE	8-CE	6-CF
			TR	100	100	100	100	1
Brusque-SC.	24/11/08 – Enxurrada	2748000– Brusque	Chuva Acum. (mm)	495,6	316,8	296,5	232,3	109,5
			Classe	8-CE	8-CE	8-CE	8-CE	8-CE
			TR	16,2	27,1	100	58	7,3
Blumenau- SC.	23/11/08- Enxurrada	2649007- Blumenau	Chuva Acum. (mm)	664,9	407,6	369,5	324,8	243,5
			Classe	8-CE	8-CE	8-CE	8-CE	8-CE
			TR	100	100	100	100	100
Itajaí; Barra Velha; Balneário Piçarras - SC	23/11/08- Enxurrada	2648019- Piçarras	Chuva Acum. (mm)	613,1	423	403,2	384,1	230
			Classe	8-CE	8-CE	8-CE	8-CE	8-CE
			TR	100	100	100	100	100
Blumenau-SC	23/11/08- Enxurrada	83872- Indaia,	Chuva Acum. (mm)	457,4	233,4	186,6	166,2	119,9
			Classe	8-CE	8-CE	8-CE	8-CE	8-CE
			TR	5,4	4,9	5,4	7,6	10,2
Biguaçu-SC	23/11/08 - Enxurrada	83897- Florianópolis	Chuva Acum. (mm)	546,3	313	276,6	240,9	93,2
			Classe	8-CE	8-CE	8-CE	8-CE	8-CE
			TR	9,3	9,2	27,8	17,4	2
Gaspar-SC	22/11/08 - Enxurrada	2649007- Blumenau	Chuva Acum. (mm)	450,7	204,3	126,2	95,2	43,3
			Classe	8-CE	8-CE	7- CMF	7- CMF	7- CMF
			TR	7,6	2,5	1,5	1,2	1
Novo Trento- SC	22/11/08 - Enxurrada	2748002- Novo Trento	Chuva Acum. (mm)	314,7	152,5	152,5	134,8	134,8
			Classe	7-CMF	7- CMF	8-CE	8-CE	8-CE
			TR	1,9	1,4	2,2	2,5	62,1
Jaraguá do Sul-SC	21/11/08 - Enxurrada	2649037- Jaraguá do Sul	Chuva Acum. (mm)	500,8	350,1	136,3	49,5	30,4
			Classe	8-CE	8-CE	7- CMF	6-CF	6-CF
			TR	7,2	24	1,3	1	1

Fonte: Agência Nacional de Águas e Defesa Civil de Santa Catarina.

As chuvas registradas no vale do Itajaí em novembro de 2008 foram extremamente elevadas. As máximas diárias foram as maiores observadas desde que se iniciaram as leituras na maioria das estações, atingindo valores acima de 200 mm. Além do elevado volume diário, destaca-se o volume precipitado nos dias 23 e 24, indicando que as inundações e escorregamentos ocorridos em 2008 tenham sido causados pelo elevado volume diário precipitado nos respectivos dias, aliado ao volume de chuva acumulado nos dias e meses antecedentes ao evento extremo positivo de precipitação.

Observa-se que áreas de instabilidades, vindas do norte da Argentina, causaram os eventos de chuvas intensas na região sul do Brasil durante o mês de novembro de 2008. No período de 20 a 24 de novembro, o transporte de umidade do oceano Atlântico para o continente, aliado às condições meteorológicas favoráveis em altos e médios níveis da troposfera, favoreceram a ocorrência de totais significativos de chuvas como pode-se observar nas imagens de satélite METEOSAT -9 (Figura 75). A temperatura da superfície do mar, próximo ao litoral de Santa Catarina, esteve acima da média favorecendo a persistência de condições favoráveis a chuvas intensas no leste de Santa Catarina.

Os elevados acumulados diários de precipitação, desde o mês de setembro/outubro, as condições de relevo, vegetação, e o processo de ocupação dessas localidades contribuíram para a catástrofe observada na região. Houve inundações e escorregamentos de encostas resultando em 63 municípios que decretaram situação de emergência, e 14 que decretaram estado de calamidade pública. Cerca de 1.5 milhão de pessoas foram atingidas, mais de 82.770 ficaram desalojadas e 38.261 desabrigadas e resultaram em 110 vítimas fatais, sendo 97% dos óbitos resultantes de soterramento pós-deslizamento de encostas.

Segundo o Banco Mundial, os custos totais das inundações de novembro de 2008 foram estimados em R\$ 4,75 bilhões – valor que equivale à cerca de 2,67% do PIB estadual, e 27% do valor total de perdas decorrentes de desastres naturais em Santa Catarina entre 1995 e 2015, que foi de R\$ 17,6 bilhões de reais. Os setores sociais (habitação, saúde, educação e cultura) foram os mais afetados, com perdas e danos estimados em R\$ 1,74 bilhões, sendo que apenas no setor habitacional os custos associados foram de R\$ 1,4 bilhões (CEPED/UFSC, 2016). Mais de 73 mil unidades habitacionais foram afetadas, com destruição total de mais de 6 mil unidades habitacionais, sendo que 40 mil unidades pertenciam a classes de baixa renda. No setor produtivo o custo total das perdas foi de aproximadamente de R\$ 1,39 bilhões, sendo R\$ 539

milhões relativos aos danos (impactos diretos) na agricultura, pecuária, pesca e produção florestal, enquanto que R\$ 741 milhões de perdas e danos foram provenientes da indústria e comércio.

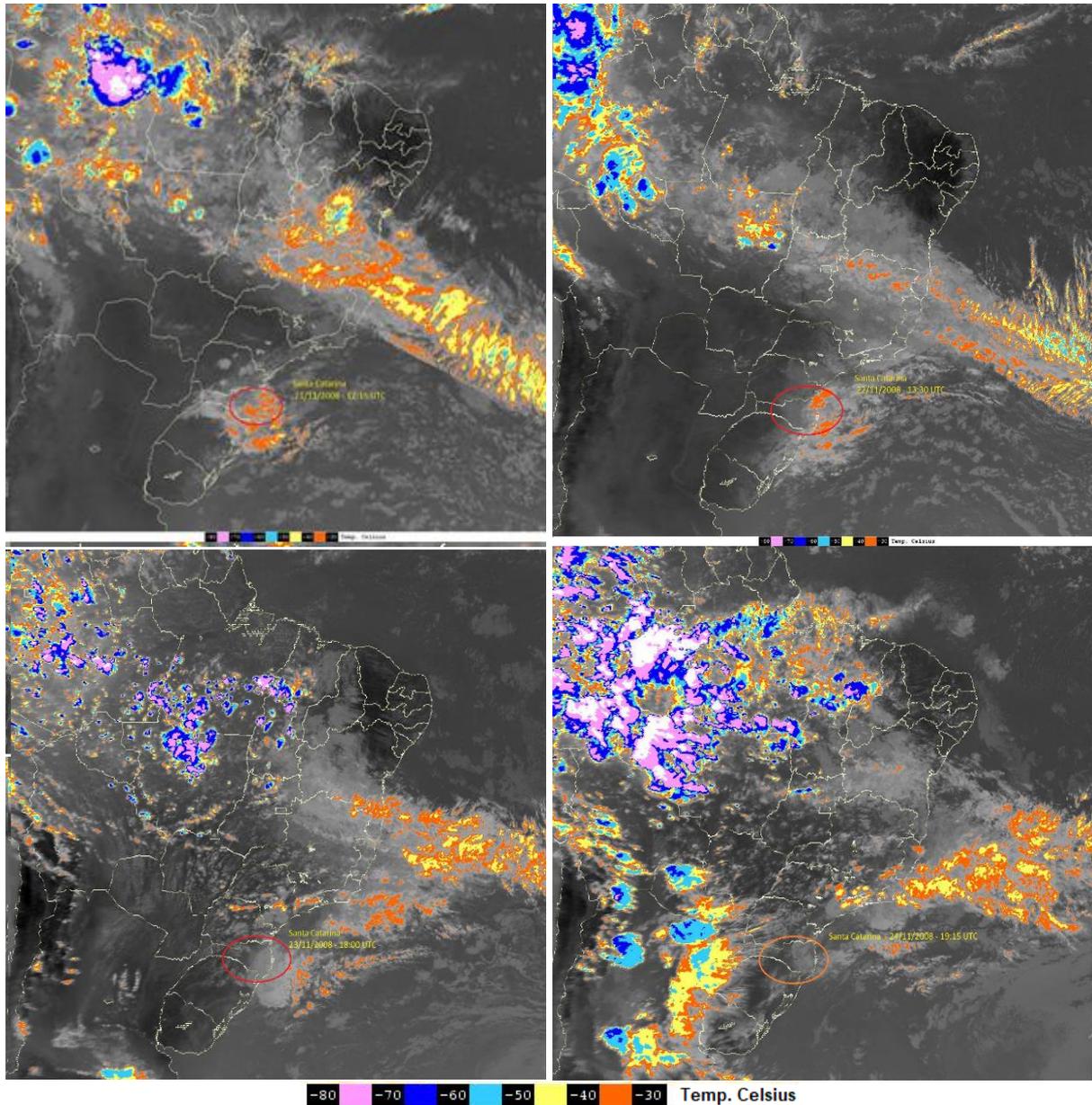


Figura 75 - Imagens realçadas do canal Infravermelho do Satélite METEOSAT – 9, nos dias 21/11/2008, 22/11/2008, 23/11/2008 e 24/11/2008, temperatura de topo de nuvens, às 12:15 UTC, 13:30 UTC, 18:00 UTC e 19:15 UTC, respectivamente.

Fonte: CPTEC/INPE/DSA.

No ano de 2011 a região foi constantemente atingida por desastres naturais, principalmente nos dias 08 e 09 de setembro. Os volumes de chuva não foram tão elevados quanto os de 2008, mas foram suficientes para desencadear inundações e escorregamentos no Vale do Itajaí, nos

municípios de Brusque (08/09/2011), Timbó (09/09/2011), Blumenau (10/09/2011), entre outros (Figura 76).



Figura 76 - Impactos causados pelos eventos de desastres no Vale do Itajaí - SC. a) Inundação na cidade de Itajaí-SC. b) Deslizamento em Blumenau-SC. c) Alto do Baú, Ilhota. d) Destruição de habitações em Gaspar-SC. e) Inundação em Timbó-SC. f) Desmoronamento da casa da Sra. Inelda Grah, em Blumenau, em novembro de 2008.

Fontes: (a) foto de Patrick Rodrigues; b) Diário Catarinense (2008), (foto de Carlos Jorge Hiebert); c e d) Jornal Cruzeiro do Vale (2016) (créditos à Fábio Venhorst) - <http://www.cruzeirodovale.com.br/geral/tragedia-que-destruiu-gaspar-e-ilhota-completa-oito-anos/>; e) Medeiros, 2013 (foto de André Schroeder); f) Revista Crescer (créditos à Carlos Jorge Hiebert) - <http://revistacrescer.globo.com/Revista/Crescer/0,,ERT18194-15565.00.html>

Outro fator que contribui para ocorrências de desastres naturais na região do Vale de Itajaí (SC), principalmente, desastres de inundações e enxurradas, é que por serem os municípios localizados próximos a região costeira, o relevo apresenta baixa declividade o que dificulta o escoamento da água dos rios da região para o mar, fazendo com que a água permaneça retida na bacia durante períodos mais longos do que em bacias com maior declividade, como já constatado na pesquisa de Medeiros (2013). Tudo indica que a região apresenta uma alta fragilidade ambiental à inundações, relativo a declividade do relevo; pois, regiões relativamente planas ou com baixas declividades, apresentam a drenagem natural dificultada. Assim, o estudo do acúmulo de água sobre a superfície, com base na declividade do relevo, associados a outras variáveis, também é de fundamental interesse para compreender a dinâmica do escoamento superficial e a drenagem do terreno, facilitando a identificação do nível de susceptibilidade do meio físico a inundações. Contudo, o processo de urbanização e o aumento da densidade demográfica nos municípios, principalmente, de médio e grande porte, tende a agravar a incidências de desastres naturais como inundações urbanas, alagamentos e deslizamentos, na medida em que promove alterações no uso e ocupação do solo, ao restringir o processo de infiltração, maximizando o escoamento superficial, favorecendo o desmatamento e resultando ocupações em áreas de riscos.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o uso de técnicas de análise e interpretação de grandes volumes de dados, também conhecido como *Big Data*, na área da geografia relacionada a gestão ambiental e territorial. O uso de ferramentas computacionais e estatísticas são instrumentos valiosos na ciência geográfica, em especial para se estudar susceptibilidades e riscos de desastres naturais, permitindo análises espaciais complexas a partir do tratamento de dados geográficos e seus atributos (situações ou fenômenos) inseridos em bases de dados.

A partir dos resultados, pôde-se observar que durante a etapa de consistência dos registros de desastres disponíveis no S2iD foram encontrados alguns problemas que comprometeram de forma significativa as etapas de caracterização e diagnóstico das áreas susceptíveis a desastres naturais. Grande parte dos problemas estão relacionados a existência de várias discrepâncias e incompletudes nos dados e informações registradas, entre os quais pode-se citar: a existência de duplicidades de registros para um mesmo evento de desastre; falhas na caracterização do tipo de desastre natural ocorrido; lançamento de apenas um tipo de desastre mesmo quando houve a identificação de ocorrência como desastres mistos; falta de precisão no lançamento das datas de ocorrência dos eventos; e, principalmente, a falta de identificação precisa das dimensões e abrangências espaciais das áreas atingidas pelos desastres.

A partir das análises das informações contidas no S2iD verificou-se que, no período de 1940 a 2014, após realização do cruzamento das bases de dados, cujo objetivo foi identificar as áreas de influências dos eventos extremos de precipitação associados à ocorrência dos desastres naturais registrados, restaram 14.209 registros de desastres distribuídos em 3.096 municípios que estavam diretamente associados aos eventos extremos ou acumulados de precipitação de 3.446 estações pluviométricas.

As análises estatísticas se mostraram adequadas para determinar a variabilidade pluviométrica de cada região estudada, possibilitando a identificação de várias regiões sujeitas a chuvas extremas com frequência relativamente alta. Entre os casos estudados pode-se citar o evento extremo de precipitação que ocasionou o desastre ocorrido em Bertiooga (SP), no dia 17 de janeiro de 1992, onde na estação nº 2346065 – Represa Itatinga registrou a precipitação diária de 360 mm. e um volume acumulado em 30 dias de 598,3 mm.

Embora as chuvas intensas sejam causadoras de muitos desastres naturais, sobretudo movimentos de massas e enxurradas, verificou-se o quanto é fundamental estudar as chuvas acumuladas e não somente as máximas diárias ou intra-diárias, ou seja, é preciso identificar a magnitude dos eventos acumulados. Nesta linha foi constatado que vários episódios de desastres naturais ocorridos na Paraíba (2004 e 2009), no Vale do Itajaí-SC (2008), no Vale do Mundaú-Pernambuco/Alagoas (2010 e 2011), São Luiz do Paraitinga-SP (2010) e Região Serrana-RJ (2011), estão associados a eventos extremos de precipitação combinados com os acumulados nos dias anteriores, que ocasionaram enxurradas, movimentos de massas e inundações nas regiões. Os resultados evidenciam que somente o estudo das máximas diárias de precipitação não seria suficiente para explicar os desastres históricos ocorridos nestas regiões, havendo necessidade de se observar os volumes acumulados de chuva nos dias anteriores, entre outras variáveis. Também, observa-se a necessidade de aprofundamento nos estudos de casos, procurando entender a variabilidade climática, onde sugere-se a aplicação da técnica da análise rítmica de Monteiro (1971).

Para classificação dos eventos de chuva associados aos episódios de desastres foram utilizadas a técnica dos quantis e a técnica de análise de distribuição de frequência. Os resultados mostraram que a classificação das chuvas através da técnica dos quantis, apesar de simples, se mostra bastante adequada a este tipo análise, permitindo o estabelecimento de classes qualitativa das precipitações (Sem chuva-SC, Dia seco-DS, Chuva muito fraca-Cmf, Chuva fraca -Cf, Chuva moderada-CM, Chuva forte-CF, Chuva muito forte-CMF e Chuva extrema-CE), que foram relacionadas à probabilidade de ocorrência de desastres.

A aplicação da técnica de análise de distribuição de frequência também se mostrou útil para caracterizar os eventos extremos de precipitação, pois permitiu a estimativa dos Períodos de Retorno (probabilidades de não excedência) dos eventos de precipitação associadas aos desastres. Contudo, sua execução é complexa e muito susceptível a presença de erros ou incongruências nos dados de precipitação. Isto ocorre pois, para o ajuste das distribuições de probabilidade, são utilizados somente os máximos de precipitação das séries históricas, que normalmente estão mais sujeitos a erros. Isto faz com que, mesmo após uma análise de consistência dos dados, faz-se necessário uma análise detalhada dos resultados. Isto dificulta o processo de automatização com conseqüente aumento no tempo dedicado a este tipo de análise. No geral observou-se que as duas técnicas possuem vantagens e desvantagem quando utilizada para este tipo de abordagem. Além disso, os resultados de correlação de Spearman mostrou

forte correlação entre a classe calculadas com base na técnica dos quantis e os períodos de retorno estimados com base na análise de distribuição de frequência.

Embora propor novas metodologias tenha sido inicialmente um dos objetivos específicos deste trabalho, não foi possível estabelecer com objetividade a elaboração de um índice de susceptibilidade do meio físico a desastres naturais, baseado em indicadores de níveis de fragilidades do meio físico associados a declividade, a intensidade de chuva, ao uso e ocupação do solo, que possa ser aplicado no âmbito nacional. A principal dificuldade está associada ao fato de não ser possível identificar e delimitar a real localização de ocorrência dos desastres no banco S2iD de forma automática. Contudo, quando se realizada a análise de forma individualizada, como em estudos de casos, verifica-se que é possível estabelecer índices para caracterização e diagnóstico das áreas susceptíveis a desastres naturais.

Além dos conhecimentos geográficos relacionados a fenomenologia de eventos extremos de precipitação e padrões de comportamento dos desastres naturais, devido a grande massa de dados disponível e utilizada, a execução deste trabalho exigiu o desenvolvimento de habilidades relacionadas a análise estatística e processamento de dados. Foi necessário a manipulação de banco de dados e elaboração de scripts de programação visando automatizar algumas etapas do trabalho, possibilitando que o mesmo pudesse ser concluído dentro de um prazo factível. Isto confirma que a ciência geográfica necessita de aprimoramento de técnicas e conhecimentos de outras áreas, que lhe garantam habilidades para explorar os fenômenos geográficos.

Com base nas análises dos resultados e no levantamento bibliográfico realizado, constatou-se que o estado de Santa Catarina se destaca no controle, monitoramento e diagnóstico de desastres naturais. Este modelo de gestão pode servir de exemplo para que outros estados ou municípios, ou mesmo a União, possam aprimorar os mecanismos de monitoramento, controle e mitigação dos desastres naturais.

Sugere-se que os resultados deste trabalho possam auxiliar gestores públicos nas tomadas de decisão, e que os resultados sejam levados em consideração no momento da instalação de novas estações pluviométricas e de novas redes de monitoramento das áreas susceptíveis a desastres naturais. Ressalta-se que o Cemaden vem desenvolvendo um importante trabalho para adensar o monitoramento nos locais de maior vulnerabilidade a desastres naturais pelo Brasil. Contudo, esta rede de monitoramento é muito recente e ressalta-se a necessidade que a mesma tenha a

atenção e recursos necessários para que possa ser mantida e operada de forma contínua e permanente, gerando históricos para futuros trabalhos.

Desta forma, é importante destacar que esta pesquisa condiz com a atual ação governamental de prevenção e redução dos riscos a desastres naturais, bem como a produção de sistemas de alertas. A metodologia proposta apresentou um prognóstico de eventos extremos de precipitação para o Brasil, com a identificação dos referidos períodos de recorrência desses eventos, tornando-se uma contribuição metodológica importante na predição da ocorrência de novos desastres.

Como sugestão de trabalhos futuros pode-se citar:

- criação de um “Índice de Susceptibilidade do Meio Físico a Desastres Naturais” baseados em parâmetros e indicadores como: indicador de fragilidade relativo à declividade do relevo; indicador de fragilidade relativo a intensidade de desastres ocorridos por municípios; indicador relativo a variabilidade pluviométrica anual e na intensidade das chuvas (classe de quantis), nas frequências e períodos de retorno dos eventos; e indicador de fragilidade relativo aos tipos de uso e ocupação do solo e densidade demográfica. O Índice terá como resultado a elaboração do Mapa de Susceptibilidade do Meio Físico a Desastres Naturais.
- Correlacionar eventos extremos de precipitação, identificados neste estudo, com os episódios de desastres naturais, fazendo um levantamento das possíveis causas e efeitos a partir da técnica da Análise Rítmica de Monteiro (1971), associada ao uso de técnicas estatísticas, geoestatísticas e índices climáticos.
- elaboração de aplicativos ou sistemas colaborativos (SIGs simplificados, Geoweb, Webmapping) de desastres naturais para que os usuários (comunidade) possam acessar informações em tempo real, como: mapas de previsões de chuvas, geolocalização das áreas de risco, acesso as informações de alertas emitidos pela Defesa Civil, além da possibilidade de enviar dados e informações diretamente para a base de dados assistida por administradores especializados. O objetivo é construir uma cultura comunitária de prevenção e de resiliência;
- desenvolver estudos dos padrões de urbanização (vetores de expansão/áreas de risco) nos municípios vulneráveis a desastres naturais, identificando as áreas propícias ou restritivas a políticas de ocupação ou adensamento territorial, propondo medidas estruturais ou não

estruturais que possam ser adotadas como mecanismos de otimizar o enfrentamento aos eventos extremos de precipitação positiva e seus impactos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDISON, K. (1987) Debris flow during intense rainfall in Snowdonia, North Wales: A preliminary survey, *Earth Surface Processes and Landforms Journal* v. 12, n. 5, pp. 561–566.
- ADRIANTO, L., MATSUDA, Y. (2002) Developing Economic Vulnerability Indices of Environmental Disasters in Small Island Regions. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 22, p. 393-414.
- AHAMMED, F, HEWA, G.A., ARGUE, J.R. (2014) Variability of annual daily maximum rainfall of Dhaka, Bangladesh. *Atmospheric Research*. v. 137, 176-182.
- ALCÂNTARA-AYALA, I. (2002) Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, v. 47, n. 2-4, p. 107-124.
- ALEOTTI, P. (2004) A warning system for rainfall-induced shallow failures”. *Eng. Geol.*, v. 73, pp. 247-265.
- ALERTARIO (2012) - Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro - GEO-RIO. Sistema Alerta Rio e Sistema de Alarme Sonoro. Relatório Sintético de Estatísticas para os Escorregamentos na Cidade do Rio de Janeiro no ano de 2012.
- ALERTARIO (2015) Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ. Disponível em: <http://alertario.rio.rj.gov.br/>. Acessado em 10//09/2015.
- ALMEIDA, M.C.J.; NAKAZAWA, V.A.; TATIZANA, C. (1993) Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos no município de Petrópolis, RJ. In: Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia, 7, Poços de Caldas, MG. Anais. São Paulo: ABGE, 1993. CD-ROM.
- ALMEIDA, S. (2015). Vulnerabilidade a sismos e incêndios no município de Vila Nova de Gaia. Livro Terremoto de Lisboa de 1755. O que aprendemos 260 anos depois? RISCOS – Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança. Outubro, 2015. Imprensa da Universidade de Coimbra, Portugal.
- ALVARES, C.A, STAPE, J.L, SENTELHAS, P.C, GONÇALVES, J.L.M., SPAROVEK, G. (2014) Köppen’s climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22(6): 711-728. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ALVES, A. V. P.; SANTOS, G. B. Da S.; MENEZES FILHO, F. C. M. De; ANCHES, L. (2013) Análise dos Métodos de Estimativa para os Parâmetros das Distribuições de Gumbel e GEV Em Eventos de Precipitações Máximas na Cidade de Cuiabá-MT. REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil. ISSN: 2179-0612. v. 1.
- ALVES, H.P.F. et al. (2010) Vulnerabilidade socioambiental nos municípios do litoral paulista no contexto das mudanças climáticas. Caxambu- MG. 2010. Disponível em: http://www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2010/docs_pdf/tema_3/abep2010_2503.pdf. Acesso em 13/01/2015.
- ALVES, L. M. (2009) Clima da região centro-oeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. D. A., et al. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, Cap. 15, p. 463, 2009.

- ANA (2012). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012. Ed. Especial. Brasília, ANA, 2012. 215p.
- ANA. (2013) Sistemas de Alerta Hidrológicos no Brasil. 2013. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/saladesituacao/default.aspx>.
- ANDRADE, J. P. M. (2006) Previsão hidrometeorológica visando sistema de alerta antecipado de cheias em bacias urbanas. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T. (2005) ENSO-related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold Pacific Decadal Oscillation regimes. *International Journal of Climatology*, v. 25, p. 2017-2030.
- ANNUNZIATI, A., FOCARDI, A. (2000) “Analysis of the rainfall thresholds that induced debris flows in the area of Apuan Alps – Tuscany, Italy (19 June 1996 storm)”. In: *Proceedings of EGS Plinius Conference on Mediterranean Storms*, pp. 485–493, Maratea, Italy, 2000.
- ANUNCIACÃO, Y.M.T. (2013) Regimes de Tempo e Precipitação Extrema de Verão Observados e Simulados na Região Central do Brasil. Tese de Doutorado em Geociências Aplicadas. Instituto de Geociências. Universidade de Brasília, Brasília.
- ARMOND, N.B.; SANT’ANNA NETO, J.L. (2017). Entre Eventos e Episódios: Ritmo Climático e Excepcionalidades para uma Abordagem Geográfica do Clima no Município do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Climatologia*. Ano 13, v. 20, Jan/Jul-2017.
- ARNONE, E.; NOTO, L.V.; LEPORE, C.; BRAS, R.L. (2011). Physically-based and distributed approach to analyze rainfall-triggered landslides at watershed scale. *Geomorphology*, v. 133, pp. 121-131, 2011.
- AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. (1998). Estabilidade de Taludes. In: BRITO, S.N.A., OLIVEIRA, A.M.S. Ed. *Geologia de Engenharia*. 1ª ed. São Paulo, ABGE. Cap. 15. p. 243-269.
- AYOADE, J.O. (2012) *Introdução a Climatologia para os Trópicos*. 16º ed. Rio de Janeiro: Bertrand, p. 350.
- AZEVEDO, G.F. (2011). Análise da Relação Chuva-Escorregamentos em Regiões Tropicais Montanhosas Urbanas, Caso de Estudo Rio de Janeiro, Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 120 p.
- AZEVEDO, G.F. (2015) Sistema de Análise Quantitativa de Risco por Escorregamentos Rasos Deflagrados por Chuvas em Regiões Tropicais. Tese de Doutorado em Geotecnia. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília – UnB. Brasília, DF., 2015.
- BAKER, V. R. (1994) Geomorphological understanding of floods. *Geomorphology*, v.10, 1994. p. 139-156 BBC Weather Centre, 2000. Disponível em: Acesso em: 05 abr. 2006.
- BANCO MUNDIAL (2012a) Avaliação de Perdas e Danos: Inundações Bruscas em Alagoas - Junho de 2010. Banco Mundial - Brasília, 2012.
- BANCO MUNDIAL (2012b) Avaliação de Perdas e Danos: Inundações Bruscas em Pernambuco - Junho de 2010. Banco Mundial - Brasília, 2012.

- BARRETO, R., STEINKE, E. T. (2008) Eventos pluviométricos extremos x espaço urbano: uma análise sobre o distrito federal. Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, Alto Caparaó, MG. 18p. 2008.
- BECK, U. (2010) Sociedade de risco: rumo a uma outra modernidade. São Paulo: Editora 34, 2010.
- BELMONTE, A.; LÓPEZ-GARCIA, M.; GARCIA, J. (2008) Cartografía de Vulnerabilidad frente a inundaciones em llanos mediterrâneos. Caso de estudio del Barranc de Carraixet e Rambla de Poyo, Serie Geográfica, v. 14, p. 75-91.
- BENISTON, M., STEPHENSON, D.B. (2004) Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions. Global Planet Change, v. 44, p. 1-9
- BEN-ZVI, A. Rainfall intensity–duration–frequency relationships derived from large partial duration series. Journal of Hydrology, Vol. 367, n. 1, 2009, p.104–114.
- BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. (2003) El Niño e La Niña: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul – Aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: ed. UFRGS, 2003, 110 p.
- BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. (2013) Precipitação. In.: Hidrologia: Ciência e Aplicação, Org. Carlos E. M. Tucci, 4ª ed., 5. Reimpressão, Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2013. 943 p.
- BIGARELLA, J. J.; PASSOS, E. (2003) Superfícies de Erosão. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Geomorfologia do Brasil. São Paulo: Bertrand Brasil, p. 107-141, 2003.
- BIRKMANN, J., WELLE, T., KRAUSE, D., WOLFERTZ, J., SUAREZ, D.C. and SETIADI, N. (2011) WorldRiskIndex: Concept and Results, WeltRisikoBericht (Ed.), pp.S.13–43, Bündnis Entwicklung Hilft, Berlin.
- BLASHKI, G; MCMICHAEL, T; KAROLY, DJ. (2007) Climate change and primary health care. Aust Fam Physician 2007; v. 36(12), p. 986-989.
- BORRAZ, O. (2008) La politique des risques. Paris: Presses de la Fondation Nationale des Sciences Politiques.
- BRAGA, T.M.; OLIVEIRA, E.L.; GIVISIEZ, G.H.N. (2006) Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social a desastres naturais associados à mudança climática. *São Paulo em Perspectiva*, São Paulo, Fundação Seade, v. 20, n. 1, p. 81-95, jan/mar. 2006. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br>>; <<http://www.scielo.br>>.
- BRANCO, M.S.L.C. Vulnerabilidade socioambiental de cidades sujeitas a desastres de origem hidrológica: a internalização do Quadro de Ação de Hyogo. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília, 2015.
- BRAND, E.W. (1989) Correlation between rainfall and landslides”. In: Proceedings of 12th International Conference on soil Mechanics and Foundation Engineering, v. 1, pp. 70-72, Rio de Janeiro.
- BRAND, E.W., PREMCHITT, J., PHILLIPSON H. B. (1984) Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong. In: Proceedings of 4th International Symposium on Landslides, v.1, pp. 377–384, Toronto, Canada, 1984.

BRASIL (2012) Lei nº 12.608 de 10 de abril de 2012. Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC). http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/Lei/L12608.htm Acessado: 07/julho/2014.

BRASIL (2012) Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Anuário Brasileiro de Desastres Naturais: 2011/ CENAD, Brasília, 2012.

BRASIL (2013). Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Anuário brasileiro de desastres naturais: 2012 / Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. - Brasília: CENAD, 2013. 84 p.

BRASIL, (2001). Estatuto da cidade: Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, que estabelece diretrizes gerais da política urbana. Brasília, Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 35p.

BRASIL, (2010) Decreto nº 7.257, de 04 de agosto de 2010. Regulamenta a Medida Provisória nº 494, de 02 de julho de 2010, para dispor sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil – SINDEC.

BRASIL.(2007) Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Mapeamento de Riscos em Encostas em Margens de Rios. CARVALHO, E. S. M.; OGURA, A. T. (Orgs.). Brasília. 2007, 176p.

BROOKS H.E.; LEE, J.W; CRAVE, J.P. (2003). The spatial distribution of severe thunderstorm and tornado environments from global reanalysis data. Atmospheric Research, v. 67, p. 73-94, 2003.

BRYANT, E.A. (1997) Climate process and change. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 1997. 288 p.

BUTZKE, I.C.; MATTEDI, M.A. (2001) A relação entre o social e o natural nas abordagens de hazards e de desastres. Revista Ambiente & Sociedade, ano IV, v. 9(2).

CAMARINHA, P.I.M. (2016) Vulnerabilidade aos desastres naturais decorrentes de deslizamentos de terra em cenários de mudanças climáticas na porção paulista da Serra do Mar. Tese Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016. 252 p.

CAMPBELL, R.H. (1975) Soil slips, debris flows, and rainstorms in the Santa Mônica Mountains and vicinity, southern California. In: US Geological Survey Professional, Paper # 851, pp. 51, U.S. Government Printing Office, Washington DC.

CARDOSO, A. et al. (2004) O Modelo CPTEC-COLA é capaz de reproduzir os principais modos de variabilidade de precipitação sobre as regiões sul e sudeste do Brasil. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza, Brasil.

CARSON, M. A.; KIRKBY, M. J. (1975) Hillslope form and process. London: Cambridge University Press, 1975. 475 p. 85.

CARVALHO, C. S.; GALVÃO, T. (2006) Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance.

- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. (2004) The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *Journal of Climate*, v. 17, n. 1, p. 88–108, 2004. ISSN 08948755.
- CARVALHO, L.M.V., JONES, C., LIEBMANN, B. (2002) Extreme Precipitation Events in Southeast South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone. *Journal of Climate*, 15, 2377-2394.
- CASTRO, A. L. C. (1999) Manual de planejamento em defesa civil. Vol.1. Brasília: Ministério da Integração Nacional/Departamento de Defesa Civil, 1999. 133 p.
- CASTRO, A. L. C. (2003) Manual de Desastres: desastres naturais. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. 174 p.
- CASTRO, A.L.C; CALHEIROS, L.G; MOURA, A.Z.B. (2004) Glossário de Defesa Civil, estudos de riscos e medicina de desastres. 5. ed. Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional.
- CASTRO, J.M.G. (2006) Pluviosidade e Movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto. Dissertação (mestrado em Engenharia civil) – Universidade Federal de Ouro Preto. 2006, 100p.
- CAVALCANTI, I.F.A.; KOUSKY, V.E. (2009) Frentes Frias sobre o Brasil. In: Iracema F. A. Cavalcanti; Nelson J. Ferreira, Maria Justa da Silva; Maria Assunção S Dias. (Org.). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de textos, 2009.
- CAVALCANTI, M.A.; LOPES, L.M.; PONTES, M.N.C. (2008). Contribuição ao entendimento do fenômeno das enchentes do Rio Vermelho na cidade de Goiás, GO. *Boletim Goiano de Geografia*. Goiânia, Goiás, Brasil. Volume 28, n.1, p. 167-186, jan/jun., 2008.
- CECÍLIO, R.A.; PRUSKI, F. F. (2003) Interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas com uso do inverso de potências da distância. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.7, n.3, p.501-504.
- CEPED/UFSC (2011) Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010. Volume Rio Grande do Sul. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis, 2011.
- CEPED/UFSC (2013) Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012. 2ª Ed. Florianópolis, 2013. 126p.
- CEPED/UFSC (2016). Relatório dos danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais em Santa Catarina: 1995 – 2014. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis, 2016.
- CHINO, M., NAKAYAMA, H., NAGAI, H., TERADA, H., KATATA, G., YAMAZAWA, H. (2011) Preliminary Estimation of Release Amounts of ¹³¹I and ¹³⁷Cs Accidentally Discharged from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant into the Atmosphere. *Journal of Nuclear Science and Technology*, v. 48, n. 7, p. 1129-1134.
- CHLEBORAD, A. F. (2003) Preliminary Evaluation of a Precipitation Threshold for Anticipating the Occurrence of Landslides in the Seattle, Washington, Area. In: US Geological Survey Open-File Report 03-463, 12p.
- CHRISTENSEN, O. B., CHRISTENSEN, J. H. (2004) Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate. *Global and Planetary Change* 44, 107-117.

CNM/Sedec/MI (2016) Observatório dos Desastres Naturais. Prejuízos causados por Desastres Naturais (2012 a 2015). Confederação Nacional dos Municípios, 2016. Disponível em: <http://www.desastres.cnm.org.br/principal/publicacoes>. Acesso: Janeiro/2016.

COELHO et al. (2012) Climate diagnostics of three major drought events in the Amazon and illustrations of their seasonal precipitation predictions. *Meteorological Applications*, n. 19, p. 237-255.

COELHO NETTO, A. L.; SATO, A. M.; AVELAR, A. S.; VIANNA, L. G. G.; ARAÚJO, I. S.; FERREIRA, D. L. C.; LIMA, P. H.; SILVA, A. P. A.; SILVA, R. P. 2011. January 2011: The extreme landslide disaster in Brazil. 2011.roc. of the 2nd World Landslide Forum, Roma, em CD.

COELHO-NETTO, A. L.; AVELAR, A.S.; LACERDA W. A. (2009) Landslides and Disasters in Southeastern and Southern Brazil. *Natural Hazards and Human-Exacerbated Disasters in Latin America. Developments in Earth Surface Processes*. Elsevier. V. 13, pp. 223-243.

COHEN, J. C. P. et al. (2009) Linhas de Instabilidade na Costa N-NE da América do Sul. in: CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J.; SILVA DIAS, M.A.F. *Tempo e clima do Brasil*. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, p. 75-93.

COSTA, M. S.; LIMA, K. C.; ANDRADE, M. M.; GONÇALVES, W. A. (2015) Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* V. 08 N. 05 (2015) 1321-1334.

CPRM (2013) Serviço Geológico do Brasil. Sistema de Alerta contra Enchentes da Bacia do Rio Doce. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/alerta/artigos/relatorioalerta2009v1.pdf>, 2013.

CPTEC/INPE (1998) La Niña. Relatório elaborado em 05 de agosto de 1998. São José dos Campos: CPTEC, 1998. Acesso em 12/08/2005.

CPTEC/INPE (2017). Climanálise: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. INPE/CPTEC. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/#>. Acesso em dezembro/2017.

CRICHTON, D. (1999) The risk triangle. *Natural Disaster Management*, p. 102-103.

CRUZ G. S.; RAO V. B.; GAN M. A. (2008) Manutenção da corrente de jato sobre a América do Sul: circulações transversais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 2008, São Paulo. Anais eletrônicos... São Paulo: CBMET, 2008. Disponível em: < <http://www.cbmet.com/cbm-files/13-1ee5acd6e1717f95c78c0e1c4db41b34.pdf> >. Acesso em: 30 jan. 2014.

CRUZ, J. (2003) *Ecología social de los desastres*. Montevideo. Coscoroba.

CURRAN, D. (2013) Risk society and the distribution of bads: theorizing class in the risk society, *The British Journal of Sociology*, v. 64(1), pp. 44-62.

CUTTER, S. (2010) The social sciences perspectives on hazards and vulnerability science. *Geophysical Hazards*, v. 1, 17-30.

D'ORSI, R. N. (2011) Correlação entre Pluviometria e Escorregamentos no Trecho da Serra dos Órgãos da Rodovia Federal BR-116 RJ (Estrada Rio-Teresópolis) / Ricardo Neiva d'Orsi – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE. XVI, 287p.

- DATAR, A, LIU, J, LINNEMAYR, A, STECHER, C. (2013) The impact of natural disasters on child health and investments in rural India. *Social Science & Medicine*, v. 76, p. 83-91.
- DATE, C. J. (2004) *INTRODUÇÃO A SISTEMAS DE BANCOS DE DADOS*. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier.
- DAVIS, C., KEILIS-BOROK, V., KOSSOBOKOV, V., SOLOVIEV, A. (2012) Advance prediction of March 11, 2011 Great East Japan Earthquake: a missed opportunity for disaster preparedness. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 1, n. 1, p. 17-32.
- DESCHAMPS, M. V. (2004) *Vulnerabilidade socioambiental na região metropolitana de Curitiba/PR*. Curitiba, 2004. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná.
- DI GREGORIO, L.T., SOARES, C.A.P., SAITO, S.M.; SORIANO, E., LONDE, L.R., COUTINHO, M.P. (2013) Proposta para a construção um sistema informatizado para gestão integral de riscos de desastres naturais (SIGRID) no cenário brasileiro. *Revista do Departamento de Geografia – USP*, v. 26, Ano 2013, p. 95-117.
- DIETRICH, W.E.; MONTGOMERY, D.R. (1998) SHALSTAB: A Digital Terrain Model for Mapping Shallow Landslide Potencial. National Council for Air and Stream Improvement, 26p.
- DOLIF, G.; ENGELBRECHT, A.; JATOBÁ, A.; SILVA, A.J.D.; GOMES, J.O.; BORGES, M.R.S.; NOBRE, C.A.; CARVALHO, P.V.R. (2013) Resilience and brittleness in the Alerta Rio system: a field study about the decision-making of forecasters. *Revista: Natural Hazards*. Editora: Springer Netherlands. V. 65, pp. 1831-1847..
- DOURADO, C.S. (2013) *Mineração de dados climáticos para análise de eventos extremos de precipitação*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP, Campinas-SP.
- DRABECK, T. E. (1986) *Human system responses to disaster: an inventory of sociological findings*. New York: Springer-Verlag.
- EarthExplorer (2016). USGS Science for a changing world. Disponível: <https://earthexplorer.usgs.gov>
- EBI, K.L; PAULSON, J.A. (2007) Climate change and children. *Pediatr Clin North Am* 2007; 54(2):213-226.
- EECKHAUT, M. V. D.; HERVÁS, J. (2012) State of the art of national landslide databases in Europe and their potential for assessing landslide susceptibility, hazard and risk. *Revista: Geomorphology*. Editora: Elsevier. v. 139-140, pp. 545-558.
- EIRD/ONU (2007) *Estratégia Internacional de Redução de Desastres das Nações Unidas*. Marco de Ação Hyogo 2005-2015: Aumento da resiliência das nações e das comunidades frente aos desastres.
- ELMASRI, R.; NAVATHE, S.B. (2011) *SISTEMAS DE BANCO DE DADOS*. 6. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2011
- ELSEBAIE, I. H. Developing rainfall intensity–duration–frequency relationship for two EM-DAT (2013) Emergency Events Database. The OFDA/CRED International Disaster Database. Disponível em: <<http://www.emdat.be/criteria-and-definition>>. Acesso em 26 de janeiro de 2013.

EM-DAT. (2015) The OFDA/CRED International Disaster Database. Disponível em: <<http://www.em-dat.net/>>. Acesso em 30 de novembro de 2015.

ENDO, T (1970) Probable distribution of the amount of rainfall causing landslides”. Annual report, Hokkaido Branch, Govern. Forest Experiment Station, pp. 123– 136, Sapporo, Japan.

ESTEVEZ, C. J. O. (2011) Vulnerabilidade socioambiental na área de ocupação contínua do litoral do Paraná. 2011. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Évora, Portugal 2011.

FARIAS, R. F. L.; ALVES, K. M. A. S.; NÓBREGA, R. S. (2012) Climatologia de recorrência de eventos extremos de precipitação na mesoregião do sertão pernambucano. *Geonorte*, v.1, n. 5, Ed. Especial 2, p. 930-941, 2012.

FEKETE, A. (2009) Validation of a social vulnerability index in context to river floods in Germany, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 393-303.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. (1996) Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. *Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. Cap. 3, p. 123-194. 86.

FERREIRA et al. (2015). Análises estatísticas de tendências das séries hidro-climáticas e de ações antrópicas ao longo das sub-bacias do rio Tietê. *Revista HOLOS*: DOI: 10.15628/holos.2015.1455.

FERREIRA, A.C.; MELO, N.G.S. (2005). Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de Climatologia*, v 1, pp. 15-28.

FERREIRA, A.G. (2002). Interpretação de imagens de satélites meteorológicos: uma visão prática e operacional do hemisfério Sul. Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, Brasília, DF, 2002.

FERREIRA, N. J.; RAMIREZ, M. V.; GAN, M. A. (2009) Vórtices ciclônicos de altos níveis que atuam na vizinhança do Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. DE A.; FERREIRA, N. J; SILVA, M. G. A. L. J; SILVA DIAS, M. A. F da (Org.). *Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Texto, p. 43-60.

FETTER, R. (2016) Proposição e avaliação de uma abordagem metodológica para o estudo da variabilidade espaço-temporal da precipitação no Brasil. 2016. 151 p. (GEA/IH/UnB, Doutorado, Geografia - Representação Espacial da Dinâmica Territorial e Ambiental.

FEW, R.; AHERN, M.; MATTHIES, F.; KOVATS, S. (2004) Floods, health and climate change: a strategic review. Tyndall Centre, 2004. 138p. (Working Paper 63).

FIORIO, P.R.; DUARTE, S.N.; RODRIGUES, G.O.; MIRANDA, J.H.; COOKE, R.A. (2012) Comparação De Equações De Chuvas Intensas Para Localidades Do Estado De São Paulo. Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Biosistemas - ESALQ/LEB. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v.32, n.6, p.1080-1088.

FOWLER, H.J.; C.G. KILSBY. (2003) A Regional Frequency Analysis of United Kingdom Extreme Rainfall From 1961 to 2000. *International Journal of Climatology*. *Int. J. Climatol.* 23: 1313–1334. Published online 6 August 2003 in Wiley InterScience.

- FREITAS, C.M., CARVALHO, M.L., XIMENES, E.F., ARRAES, E.F., GOMES, J.O. (2012) Vulnerabilidade Socioambiental, Redução de Riscos de Desastres e Construção da Resiliência – lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na Região Serrana, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 17, n. 6, p. 1577-1586.
- FREITAS, C.M; MIRANDA, E.S; OSORIO-DE-CASTRO, C.G.S. (2014) A redução dos riscos de desastres naturais como desafio para a saúde coletiva. Rio de Janeiro. *s/n.*, 2014, v. 19, pp. 1413-8123.
- FRERKS, G., WARNER, J., WEIJS, B. (2011) The Politics of Vulnerability and Resilience. *Ambiente & Sociedade*, v. 14, n. 2, p. 105-122.
- FU, G.B., YU, et al. (2013) Temporal variation of extreme rainfall events in China, 1961–2009. *Journal of Hydrology* 487, 48–59.
- GALLEGO, D.; RIBERA, P.; GARCÍA, R.; GIMENO, L.; HERNANDEZ, E. (2005) A new look for the Southern Hemisphere jet stream. *Climate Dynamics*, v. 24, p. 607–621.
- GALLO, N.F. Análise comparativa de incertezas em métodos para estimação de frequências de vazões máximas diárias com incorporação de variação climática em bacias do rio Uruguai. UFRGS, 2007.
- GANEM, R.S. (2012) Gestão de Desastres no Brasil. Consultoria Legislativa da Área XI – Meio Ambiente e Direito Ambiental, Organização Territorial, Desenvolvimento Urbano e Regional. Estudo. Outubro/2012. Câmara dos Deputados. Brasília – DF.
- GENOVEZ, A. M.; ZUFFO, A. C. (2000) Chuvas intensas no Estado de São Paulo: Estudos existentes e análise comparativa. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.5, p45-58.
- GEORGAKAKOS, K. P. (1986) On the design of natural, real-time warning systems with capability for site-specific, flash-flood forecast. *Bulletin American Meteorological Society*, v 67, n.10, pp. 1233-1239.
- GEORIO (2009) Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro. Sistema Alerta Rio, 2009. Disponível em <http://www.rio.rj.gov.br/alertario>. Acesso em 26 de janeiro de 2013.
- GERSHUNOV, A. (1998) ENSO influence on intraseasonal extreme rainfall and temperature frequencies in the contiguous United States: implications for long-range predictability. *Journal Climate*, v.11, p. 3192-3203.
- GHOSH, S., DAS, D., KAO, S. C., GANGULY, A. R. 2011. Lack of uniform trends but increasing spatial variability in observed Indian rainfall extremes. *Nature Climate Change*. V. 2, pp. 86-91.
- GIANNECCHINI, R. (2005) Rainfall triggering soil slips in the southern Apuane Alps (Tuscany, Italy). *Adv Geosci* v.2: pp. 21–24.
- GIBBS, M.T. (2009) Resilience: what is it and what does it mean for marine policymakers? *Marine Policy*, v. 33, p. 322-331, 2009.
- GOBATTO, T.A. (1997). Defesa Civil. Apostila. Depto. De Defesa Civil, Secretaria Especial de Políticas Regionais. SEMPRE/Ministério do Planejamento e Orçamento, MPO, Depto. Defesa Civil, Brasília.

- GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. (2013) Redução dos desastres naturais: desafio dos geógrafos/Natural disaster reduction: the challenge of geographers. *Ambiência*, 2013, p. 145-172. <<http://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/1935>>.
- GOERL, R.F.; KOBIYAMA, M. (2005) Considerações sobre as inundações no Brasil. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa, Anais.. 2005. http://www.labhidro.ufsc/Artigos/ABRH2005_inundações.pdf.
- GOETZ, J.N; GUTHRIE, R.H; BRENNING, A. (2011) Integrating physical and empirical landslide susceptibility models using generalized additive models. *Geomorphology*. v 129, Issues 3–4, 15, pp. 376–386.
- GOMES, R.A.T.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; FERNANDES, N.F.; VARGAS JÚNIOR, E.A.; MARTINS, E.S. (2008) Identification of the affected areas by mass movement through a physically based model of landslide hazard combined with an empirical model of debris flow. *Natural Hazards (Dordrecht)*, v. 45, p. 197-209.
- GOMES, R.A.T.; GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; FERNANDES, N.F.; AMARAL JÚNIOR, E.V. (2013) Combining Spatial Models for Shallow Landslides and Debris-Flows Prediction. *Remote Sens.*, v. 5, pp. 2219-2237.
- GONÇALVES, M; VIZINTIM, M.F.B. (2017) Características geográficas do Estado do Paraná frente aos desastres naturais. Dossiê Paraná. *Revista Franco-Brasileira de Geografia – Confis*, Número 33;2017.
- GREISCHAR, L.; HASTENRATH, S. The Rainy Seasons of the 1990s in Northeast Brazil: Real-Time Forecasts and Verification. *Journal of Climate*, v. 13, p. 3821-3826, 2000. IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 2010
- GRIMM, A. M.: TEDESCHI, R. G. ENSO and extreme rainfall events in South America. *Journal of Climate*, v. 22, p. 1589-1609, 2009. DOI: 10.1175/2008JCLI2429.1
- GRIMM, A.M. (2009) Clima da Região Sul do Brasil. In: CAVALCANTI, N.J.; et al..(Org.). *Tempo e Clima no Brasil*. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- GROISMAN, P., KNIGHT, R., EASTERLING, D., KARL, T., HEGERL, G., RAZUVAEV V. (2005) Trends in tense precipitation in the climate record. *Journal of Climate*, v. 18(9), pp. 1326-1350.
- GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. (2006) *Geomorfologia Ambiental*, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- GUHA-SAPIR, D., VOS, F., BELOW, R., PONSERRE, S. (2012) Annual Disaster Statistical Review 2011: the numbers and trends. CRED, Brussels.
- GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. (1984) *Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação*. São Paulo: 2ª ed. Edgard Blucher, 194p.
- GUIMARÃES, R. C. Probabilidade e estatística aplicada à hidrologia. Universidade de
GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO JUNIOR, O.A; GOMES, R.A.T; FERNANDES, N.F. (2007) Movimentos de Massa. In: FLORENZANO, T.G. (Org). *GEOMORFOLOGIA: Conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, v. 1, p. 159-184.
- GUZZETTI, F., PERUCCACCI, S., ROSSI, M. & STARK C.P. (2007) Rainfall thresholds for the initiation of Landslides in Central and Southern Europe. Acesso em: 06 Dez., 2007.

- HAKTANIR, T.; COBANER, M.; KISI, O. (2010) Frequency analyses of annual extreme rainfall series from 5 min to 24 h. *Hydrol. Process.* V.24, 2010, 3574-3588p.
- HASTENRATH, S. (2001) In search of zonal circulations in the Equatorial Atlantic sector from the NCEP-NCAR reanalysis. *International Journal of Climatology*, v. 21, p. 31-47, 2001.
- HAYLOCK, M.R., PETERSON, T., et al. (2006) Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, v. 19, pp. 1490-1512.
- HERNANDEZ, V. (2008) Regionalização dos parâmetros de escala em chuvas intensas. *Rev. Brasileira de Recursos Hídricos*. v. 13 n. 1, p. 91-98, 2008.
- HERRMANN, M. L. P. (2001) Levantamento dos desastres naturais ocorridos em Santa Catarina no período de 1980 a 2000. Florianópolis: IOESC, 2001. 89 p
- HEWITT, K. (1983) *Interpretations of Calamity*. Boston: Mass Allen & Unwin.
- INEA (2012) Sistema de alerta de cheias da Baixada Fluminense. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente (INEA) do Governo do Estado do Rio de Janeiro, Brasil.
- INEA (2015) Sistema de Alerta de Cheias. Governo do Rio de Janeiro. Disponível em <http://inea.rj.gov.br/Portal/Mega>. Acessado em 13 de janeiro de 2015.
- INGRAM, J., FRANCO, G., RIO, C.R., KHAZAI, B. (2006) Post-disaster recovery dilemmas: challenges in balancing short-term and long-term needs for vulnerability reduction. *Environmental Science & Policy*, v. 9, p. 607-613
- INMET. (2009) Boletim Agroclimatológico Mensal de Abril -2009. Disponível: http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO_MENSAL_200904.pdf Acesso em: setembro/2016.
- INMET. (2013) Normais Climatológicas do Brasil (1961-1990). Organizadores Ramos, A.M.; Santos, L.A.R.; Fortes, L.T.G. (orgs.). Brasília, DF. 465p., 2009.
- INMET. (2018) Normais Climatológicas do Brasil (1981-2010). Disponível em www.inmet.gov.br. Acesso em janeiro de 2018, Brasília, DF, 2018.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. SISTEMA DE ALERTA DE EVENTO METEOROLÓGICO SEVERO. 2013. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=noticia/visualizarNoticia&id=44>.
- IPT (1991) Ocupação de Encostas. Instituto de Pesquisas Tecnológica do Estado de São Paulo, IPT.
- JACOBI, P.R., MONTEIRO, F. (2006) Social Capital and Institutional Performance: methodological and theoretical discussion on the water basin committees in metropolitan Sao Paulo – Brazil. *Ambiente & Sociedade*, v. 9, n. 2, p. 25-45.
- JATOBÁ, S. U. S. (2011) Urbanização, meio ambiente e vulnerabilidade social. In. Boletim regional, urbano e ambiental / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais. n. 1 (dez. 2011). Brasília: Ipea, Dirur.
- JENA, P.P., CHATTERJEE, C., PRADHAN, G., MISHRA, A. (2014) Are recent frequent high floods in Mahanadi basin in eastern India due to increase in extreme rainfalls? *Journal of Hydrology*. v. 517, pp. 847–862.

KAYANO, M.T.; ANDREOLI, R.V. (2009) Clima da Região Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque; FERREIRA, Nelson Jesus; SILVA, Maria Gertrudes Alvarez Justi da; SILVA DIAS, Maria Assunção Faus da. Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, p. 213-233.

KAYANO, M.T.; KOUSKY, V.E. (1999) Intraseasonal (30-60 day) variability in the tropics: principal modes and their evolution. *Tellus*, V. 51^a, p. 373-386, 1999.

KHAN, S., KUHN, G., GANGULY, A.R., ERICKSON III, D. J., OSTROUCHOV, G. (2007) Spatio-temporal variability of daily and weekly precipitation extremes in South America. *Water Resources Research*. 43, p. <http://dx.doi.org/10.1029/2006WR005384>.

KIM, S.K., HONG, W.P. & KIM, Y.M. (1991) Prediction of rainfall-triggered landslides in Korea. 6th International Symposium on Landslides, ISSMGE, Christchurch, New Zealand, 2: 989-994.

KLEIN, R.J.T., NICHOLLS, R.J., THOMALLA, F. (2003) Resilience to Natural Hazards: how useful is this concept? *Global Environmental Change Parte B: Environmental Hazards*, v. 5, n. 1-2.

KOBIYAMA, M.; GOERL, R.F. (2011) Identificação dos riscos. *Emergência*, Novo Hamburgo, Ed.25, p.48-52.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O.; MARCELINO, E.V.; GONÇALVES, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOERL, R.F.; MOLLERI, G.; RUDORFF, F. (2006) Prevenção de desastres naturais: Conceitos básicos. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109 p. Disponível em: <http://www.labhidro.ufsc.br/publicacoes.html>

KORMMAN, T.C. (2014) Ocupação das Encostas no município de Blumenau- SC: Estudo da Formação das Áreas de Risco a Movimentos de massa. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, RS.

KRON, W. (2002) Keynote lecture: Flood risk = hazard x exposure x vulnerability. *Proceedings of Second International Symposium of Flood Defense*, Beijing, pp 82-97.

KRÜGER, J.E.B. (2012) Capacitação dos gestores de Defesa Civil para uso do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2iD. Centro Universitário de Pesquisa e Estudos sobre Desastres. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis: CAD UFSC.

KUREK, R. K. M. (2010) Avaliação do Tempo de Retorno nos níveis das inundações no vale do Taquari/RS. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental). Centro Universitário UNIVATES. Lajeado, 2012. 92 p.

LEWIS, L. (2010) The anatomy of a disaster, an overview of Hurricane Katrina and New Orleans. *Ocean Engineering*, v. 37, n.1., p.4-12.

LIMBERGER, L.; SILVA, M. E. S. Precipitação na bacia amazônica e sua associação à variabilidade da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico: uma revisão. *Geosp – Espaço e Tempo*, v. 20, n. 3, p. 657-675, 2016. LISTO, F.L.R.; VIEIRA, B.C. (2012) Mapping of risk and susceptibility of shallow-landslide in the city of São Paulo, Brazil. *Geomorphology*, v. 169–170, pp. 30-44.

LOAYZA, N., OLABERRÍA, E., RIGOLINI, J., CHRISTIAENSEN, J.R. (2012) Natural Disasters and Growth: going beyond the averages. *World Development*, v. 40, n. 7, p. 1317-1336.

LONDE, L. DE R. et al. Impactos de desastres socioambientais em saúde pública: estudos dos casos dos Estados de Santa Catarina em 2008 e Pernambuco em 2010. *Rev. bras. estud. popul.*, São Paulo, v. 32 n. 3, p. 537-562, dez. 2015.

LOUREIRO, R.S.; SARAIVA, J.M.; SARAIVA, I.; SENNA, R.S.; FREDÓ, A.S. (2014) Estudo Dos Eventos Extremos De Precipitação Ocorridos Em 2009 No Estado Do Pará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 29, n. esp., 83-94. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130054>.

LUCENA, J.A. (2012) Dinâmica Climática e Produção Agropecuária no Município de Caicó-RN. Dissertação de Mestrado em Geografia. Universidade Federal da Paraíba.

LUCENA, R. L.; CABRAL JR., J.B.; STEINKE, E.T. (2018). Comportamento Hidrometeorológico do Estado do Rio Grande do Norte e do Município de Caicó. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.33, n.3, 485-496, 2018.

LÚCIO, S.; SILVA, F. D. S.; FORTES, L. T. G.; SANTOS, L. A. R. FERREIRA, D. B. SALVADOR, M. A.; BALBINO, H. T.; SARMANHO, G. F.; SANTOS, L. S. F. C.; LUCAS, E. W. M.; BARBOSA, T. F.; DIAS, P. L. S. (2010). Um modelo estocástico combinado de previsão sazonal para a precipitação no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 1, p. 70-87.

LUMB, P. (1975) Slope failure in Hong Kong. *Quarterly Journal of Engineering Geology*. v. 8, pp. 31-65.

MAGNONI JÚNIOR, L.; LOPES, E.S.S.; STEVENS, D. (2016) Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030: Luz e Ciência para Reduzir o Risco de Desastres e Preservar Vida. In: Programa Educativo e Social JC na Escola: Luz, Ciência e Vida. Associação dos Geógrafos Brasileiros. Seção Bauru. SNCT. Disponível em: <http://www.agbbauru.org.br/publicacoes/revista/LivroSNCT2016-2ed/LivroSNCT2016-2ed-12.pdf> Acesso em: 08/04/2016.

MANFRÉ, L.A.; HIRATA, E.; SILVA, J.B.; SHINOHARA, E.J.; GIANNOTTI, M.A.; LARocca, A.P.C.; QUINTANILHA, J.A. (2012) An Analysis of Geospatial Technologies for Risk and Natural Disaster Management. *Revista: ISPRS International Journal of Geo-Information*. Editora: MDPI AG IJGI. Vol. 1, p. 166-185.

MARCELINO, E. V. (2008) Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos. Caderno Didático nº 1. INPE/CRS, Santa Maria.

MARCELINO, E. V.; GOERL, R. F.; RUDORFF, F. M. Distribuição espaçotemporal de inundações bruscas em Santa Catarina (Período 1980- 2003). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004. Florianópolis. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 554-564.

MARCELINO, E.V.; NUNES, L.H.; KOBİYAMA, M. (2006) Mapeamento de Risco de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina. *Revista Caminhos de Geografia - On line*. Instituto de Geografia. UFU. V. 8 (17), pag. 72 – 84.

MARCELINO, E.V.; NUNES, L.H.; KOBİYAMA, M. (2006b). Banco de Dados de Desastres Naturais: Análises de Dados Globais e Regionais. *Revista Caminhos de Geografia – On line*. Instituto de Geografia. UFU. Uberlândia. V.6 (19), pag. 130 149.

- MARCHIORO, E.; SILVA, G.M. (2016) A Zona De Convergência do Atlântico Sul e a Precipitação Pluvial do Município de Vila Velha (Es): Repercussões Sobre As Inundações. *Revista do Departamento de Geografia*, ISSN 2236-2878, v. 31, pp. 101–117.
- MARENGO, J.A (2004) Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology*. v. 78, pp. 79-96.
- MARENGO, J.A et al. (2004) Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from the NCEP–NCAR Re-analyses: Characteristics and Temporal Variability. *Journal of Climate*, v. 17, n. 12, p. 2261-2280.
- MARENGO, J.A. et al. (2001) Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. *Journal of Climate*, v. 14, p. 833-852.
- MARENGO, J.A. et al. (2007) Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 5, Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio). *Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*. Brasília.
- MARENGO, J.A., ALVES, L. CAMARGO, H. (2006) An overview of global climate predictability at seasonal to interannual time scales, *GEWEX Newsletter*.
- MARENGO, J.A., TOMASELLA, J.; ALVES, L.M.; SOARES, W.R.; RODRIGUEZ, D.A. (2011) The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters* 38, L12703. DOI:10.1029/2011GL047436.
- MARENGO, J.A.; NOBRE, C. (2009) Clima da Região Amazônica. In: CAVALCANTI, N.J.; et al.(Org.). *Tempo e clima no Brasil*. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos. pp. 198-212.
- MARENGO, J.A; HASTERNRATH, S. (1993) Cases studies climatic events in Amazon Basin. *Journal of Climate*, v. 6, p. 617-627.
- MARIANO, Z.F. (2010) Precipitações pluviais e a cultura da soja em Goiás. *Revista Mercator*, Fortaleza, CE, v.9, n. especial 1.
- MARTINEZ J.F.; MAGNI, N.L.G. (1999) Equações de chuvas intensas do Estado de São Paulo. São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 125 p.
- MARTINS, J. A.; DALLACORT, R.; INOUE, M. H.; GALVANIN, E. A. S.; MAGNANI, E. B. Z.; OLIVEIRA, K. C. Caracterização do regime pluviométrico no arco das nascentes do Rio Paraguai. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.26, n.4, p.639-647, 2011.
- MARTINS, L. A., SOUZA, L. B. (2003) Controle de inundações em áreas urbanas: Dinâmica Hidrológica e Paisagem no núcleo central de Juiz de Fora – MG. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA*, 10, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: UERJ.
- MASCARENHAS JR., TONGATÉ A. (2009) Fenômenos meteorológicos extremos em Manaus – AM: sazonalidade e impactos no ambiente urbano. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Amazonas, Manaus: UFAM, 2009. 199 p.
- MATA-LIMA, H., ALVINO-BORBA, A.; PINHEIRO, A.; MATA-LIMA, A.; ALMEIDA, J.A. (2013) Impacts of Natural Disasters on Environmental and Socioeconomic Systems: What Makes The Difference? *Ambiente & Sociedade*, São Paulo v. XVI, n. 3 pp. 45-64.

- MC – Ministério das Cidades (2009). Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social. Programa Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários. Secretaria Nacional de Habitação, Instrução Normativa nº 33, de 09/07/2009, DOU de 10/07/2009, seção 1, p.47.
- McENTIRE, D.A. (2001) Triggering Agents, Vulnerabilities and Disaster Reduction: towards a holistic paradigm. *Disaster Prevention and Management*, v. 10, n. 3, p. 189-196.
- MEDEIROS, R.M.; SOUSA, E.P.; GOMES FILHO, M.F. (2014) Ocorrência de eventos extremos de precipitação em Campina Grande – Paraíba, Brasil. Capítulo 3.2: Riscos Climáticos e Hidrológicos. http://dx.doi.org/10.14195/978-989-96253-3-4_7. p.437-440.
- MEDEIROS, V.S. (2013) Análise Estatística de Eventos Críticos de Precipitação relacionados a Desastres Naturais em Diferentes Regiões do Brasil. Dissertação de Mestrado Engenharia Hidráulica e Ambiental. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 207p.
- MELO, A.B.C.; CAVALCANTI, I.F.A.; SOUZA, P.P. (2009) Zona de convergência intertropical do Atlântico. In: CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J., SILVA, M.G.A.J.; DIAS, M.A.F.S. Tempo e clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, Cap. 2, p. 25-41.
- MELO, J.A.B.; LIMA, E.R.V.; PEREIRA, R.A. (2008) Abordagem teórico-conceitual sobre riscos e perigos e sua manifestação no semiárido brasileiro através da desertificação. *OKARA: Geografia em debate*, v.2, n.2, p. 164-176.
- MENARDI JR.A. (2000) Regime e ritmo das chuvas na bacia do rio Piracicaba: variações e impactos. (2000). Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MENDES, H.C.; MENDIONDO, E.M. (2007) Histórico da Expansão Urbana e Incidência de Inundações: O Caso da Bacia do Gregório, São Carlos – SP. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Volume 12, nº 1, p. 17-27.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. (2007) Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos.
- MENEZES, D.J. (2014) Zoneamento das áreas de risco de inundação na área urbana de Santa Cruz do Sul - RS. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia). Universidade Federal de Santa Maria. 137 p.
- MILLINGTON, NICK; DAS, SAMIRAN; SIMONOVIC, SLOBODAN P. (2011) The Comparison of GEV, Log-Pearson Type 3 and Gumbel Distributions in the Upper Thames River Watershed under Global Climate Models. Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Western Ontario – Canada, report n 77.
- MOLION, L.C.B. 1975. Climatologic study of the energy and moisture fluxes of Amazon Basin with consideration of deforestation effects. Tese de Doutorado, Department of Meteorology, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, USA, 140 p.
- MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S.O. (2002) Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.17, n.1, p. 1-10.
- MONTEIRO, C. A. F. (1971) Análise Rítmica em Climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. São Paulo: IGEOG/USP, 1971.

- MONTEIRO, J.B. (2016) Desastres naturais no Estado do Ceará: uma análise de episódios pluviométricos extremos. 2016. 256 p. Tese (Doutorado em geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.
- MONTEIRO, J.B.; ROCHA, A. B.; ZANELLA, M.E. (2012) Técnica dos Quantis para caracterização de anos secos e chuvosos (1980 – 2009): Baixo Curso do Apodi – Mossoró/RN. Revista do Departamento de Geografia – USP, Volume 23. p.232-249.
- MONTEIRO, M.A.; MENDONÇA, M. (2007) Dinâmica Atmosférica do Estado de Santa Catarina. In: HERRMANN, M.L.P (Org.). Atlas de desastres naturais do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: IOESC. pp. 5-10.
- MORETTIN, P.A.; TOLÓI, C.M.C. (2006) Análise de séries temporais. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher. 538 p.
- MUENCHOW, J.; BRENNING, A.; RICHTER, M. (2012) Geomorphic process rates of landslides along a humidity gradient in the tropical Andes. *Geomorphology*, v. 139–140, pp. 271–284.
- NADE/DRM-RJ (2016) Plano de Contingência NADE/DRM-RJ para o Verão 2015/2016. Núcleo de Análise e Diagnóstico de Escorregamentos (NADE). Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro. Departamento de Recursos Minerais – DRM-RJ.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. Hidrologia estatística. CPRM, Belo Horizonte, 2007.
- NERO, F.; MAGNI, N.L.G. (1982) Precipitações intensas no Estado de São Paulo: apresentação prática das relações precipitação x duração x tempo de retorno obtidas para 11 cidades. SÃO PAULO (ESTADO). DEPARTAMENTO de ÁGUAS e ENERGIA ELÉTRICA. CENTRO TECNOLÓGICO de HIDRÁULICA. São Paulo: DAEE/CTH, 1982. 187p.
- NIELSEN, T. H.; BRABB, E. E. (1977) Slope stability studies in the San Francisco Bay region, California. *Reviews in Engineering Geology-GSA*, v. 3, pp. 235-243.
- NIMER, E. (1989) Climatologia do Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 397 p. Natural Resources and Environment Series. Rio de Janeiro. RJ, 1989
- NOBRE, C. (1983) Amazon and climate. in *Proceedings of Climate Conference for latin America and the Caribbean*, World Meteorological Organization, Geneva.
- NOBRE, C. A.; OBREGÓN, G.O.; MARENGO, J.A. (2009) Characteristics of Amazonian Climate: Main Features. In: KELLER, M. et al. (Org.). *Amazonia and global change*. Washington: American Geophysical Union, p. 149-162.
- NOAA (2017). National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível em: www.noaa.gov Acesso: Out. 2017.
- NOY, I; NUALSRI, T.B. (2010) The Economics of Natural Disasters in a Developing Country: the case of Vietnam. *Journal of Asian Economics*, v. 21, p. 345-354.
- NUNES, A. J. C., BRANDÃO, C. A., DIAS, P. H. V., FERNANDES, C. E. D. M. (1983) Landslides due to intense tropical rainfall in Brazil .In: *Proceedings of 7th Panamerican Conference on soil Mechanics and Foundation Engineering*, v.1, pp. 291-304, Vancouver, Canada.

NUNES, L.H.; KOGA-VICENTE, A.; CANDIDO, D.H. (2009) Clima da região Sudeste do Brasil. In: CAVALCANTI, N.J.; et al. Tempo e clima no Brasil. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos.

O'BRIEN, G., O'KEEFE, P., ROSE, J., WISNER, B. (2006) Climate Change and Disaster Management. *Disaster*, v. 30, n. 1, pp. 64-80.

OCCHIPINTI, A.G.; SANTOS, P.M. (1965) Análise das máximas intensidades de chuvas na cidade de São Paulo. UNIVERSIDADE de SÃO PAULO. INSTITUTO ASTRONÔMICO e GEOFÍSICO. São Paulo: IAG. 40p.

OLIVEIRA, G. S. EL NIÑO. São José dos Campos: CPTEC, 2001a. Acesso em 12/06/2015.

OLIVEIRA, G. S. LA NIÑA. São José dos Campos: CPTEC, 2001b. Disponível em: http://www.cptec.inpe.br/enos/Oque_la-nina/>. Acesso em 12/06/2015.

OLIVEIRA, G.G.; SALDANHA, D. L.; GUASSELLI, L. A. (2010) Espacialização e Análise das Inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Caí/RS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 29, n. 3, p. 413-427.

OLIVEIRA, L.F.C.; ANTONINI, J.C.A.; GRIEBELER, N.P. (2008) Estimativa de chuvas intensas para o Estado de Goiás. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.28, n.1. p.22-33.

OLIVEIRA, L.F.C.; VIOLA, M.R.; PEREIRA, S., MORAIS, N.R. (2011) Modelos de predição de chuvas intensas para o estado do Mato Grosso, Brasil. *Amibi-Agua, Taubaté*, v. 6, n. 3, p. 274-290.

OLIVEIRA, M.R. (2005) ADMINISTRAÇÃO DE EMPRESAS COM ACCESS. São Paulo: Digerati Books.

OLIVEIRA, P. T.; SANTOS E SILVA, C. M.; LIMA, K. C. (2012) Trend of Rain in Northeast Brazil, in: Martín, O. E.; Roberts, T. M. *Rainfall: Behavior, Forecasting and Distribution*. New York, USA: ed. Nova Science Publishers.

OLIVEIRA, P. T.; SANTOS E SILVA, C. M.; LIMA, K. C. (2014) Linear trend of occurrence and intensity of heavy rainfall events on Northeast Brazil. *Atmospheric Science Letters* 15, 172-177.

OSCAR JÚNIOR, A.C.S. (2015) Extremos Atmosféricos e Desastres Hidrometeorológicos em Duque De Caxias (RJ). *Revista Brasileira de Climatologia*. ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica). v. 17. Ano 11.

p. 131-140, 2011.

PAQUET, E.; GARAVAGLIA F.; GARÇON R.; GAILHARD J. (2013) The SCHADEX method: A semi-continuous rainfall-runoff simulation for extreme flood estimation. *Journal of Hydrology*. Editora: Elsevier. v. 495, pp. 23-37.

PASCHOAL, W. (1981) As inundações no Cambuci: percepção e reação do habitante e usuário de uma área central da metrópole a um de seus problemas mais sérios. *Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo*.

- PATRA, J. P., MISHRA, A., SINGH, R., RAGHUWANSHI, N. S. (2012) Detecting rainfall trends in twentieth century (1871–2006) over Orissa State, India. *Climatic Change*, v. 111, pp. 801–817.
- PAULA, G. M. (2010) O fenômeno El Nino Oscilação Sul e a erosividade das chuvas em Santa Maria – RS. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Santa Maria- RS.
- PEDROSA, M. G. A. (1994) Análise de Correlações entre pluviometria e escorregamentos de taludes. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, pp. 343, Rio de Janeiro (RJ), Brasil.
- PEDUZZI, P.; DAO, H.; HEROLD, C. (2005) Mapping disastrous natural hazards using global datasets. *Natural Hazards*, v. 35, p. 265-289.
- PEDUZZI, P.; DAO, H.; HEROLD, C.; MOUTON, F. (2009) Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the disaster risk. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, v. 9, pp. 1149-1159.
- PEREIRA FILHO, A.J. (1999) Radar measurements of tropical summer convection: urban feedback on flash floods. In: 29th International Conference on Radar Meteorology, Montreal, Quebec. Boston, Massachusetts: American Meteorological Society. s. 1, pp. 939–940.
- PEREIRA, S. B.; et al. (2014) Method adjustment and equation set of maximum rainfall intensity, duration and frequency in the Mato Grosso do Sul State. *Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v. 34, n. 4, p.716-726.
- PEREIRA, E. R. R., (2014) Índices pluviométricos na análise da intensidade e variabilidade regional das chuvas no Nordeste do Brasil. Tese (Doutorado em Meteorologia), Campina Grande – PB, Universidade Federal de Campina Grande.
- PERROW, C. (2007) *The next catastrophe. Reducing our vulnerabilities to natural, industrial, and terrorist disasters*. Princeton, N.J.: Princeton University Press. 432 p.
- PESSÔA, J.A.; MAGALHAES, P.C. (2008) The JANUS structure: integrating data, models and preferences. *Water International*, v. 33, p. 425-435.
- PEZZI, L.P.; CAVALCANTI, I.F.A. (2001) The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. *Clim Dyn.*, v.17, p.205-212.
- PFAFSTETTER, O. (1982) Chuvas intensas no Brasil: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas, registradas com pluviógrafos, em 98 postos meteorológicos. 2a. ed. Rio de Janeiro: DNOS. 426 p.
- PHIEN-WEJ, N.; NUTALAYA, P.; ZIN,A.; TANG, Z. (1993) Catastrophic landslides and debris flows in Thailand. *Bulletin of the International Association of Engineering Geologists*, v. 48, pp. 93-100.
- PICARELLI, L.; VERSACE, P.; RISO, R.; PALMIERI, M. (2007) Landslide Disaster Management in Italy. *Quaderni del Camilab. Hong Kong. International Forum on Landslide Disaster Management*. Novembre, 2008. Università Della Calabria.

- PICHLER, E. (1957) Aspectos geológicos dos escorregamentos de Santos. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, v. 2, São Paulo, SBG.
- PINHEIRO, A.G.; ARRES, F.D.D.; NASCIMENTO, F.A.L.; MECEDO, K.G. LIMA JUNIOR, J.C. (2013) Aplicação da análise estatística para identificação de tendências climáticas no município de Crateús-Ceará, Brasil. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS NATURAIS DO SEMIÁRIDO – SBRNS, 2013. Fortaleza. Anais. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, 2013. p. 1-6.
- PINKAYAN, S. (1966) Conditional probabilities of occurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area. Colorado: State University, Boulder-Co, 1966.p. (Hydrology Papers,12).
- PINTO, R.C.; PASSOS, E.; CANEPARO, S.C. (2012) Classificação dos Movimentos de Massa Ocorridos em Março de 2011 na Serra da Prata-PR. Geoinf: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia Maringá, v. 4, n. 1, p. 3-27, 2012. ISSN 2175-862X (on-line).
- PNGRD (2012) PLANO NACIONAL_ DE GESTÃO DE RISCOS E RESPOSTA A DESASTRES, Diagnóstico, Outubro de 2012. FGV Projetos. Disponível em <http://fgvprojetos.fgv.br/sites/fgvprojetos.fgv.br/files/pub_pngrd_10out12_final_5_baixa.pdf>. Acesso em 26 de janeiro de 2013.
- POZZER, C.P.; COHEN, S.C.; COSTA, F.S. O (2014) Marco de Ação de Hyogo Aplicado à Gestão de Risco de Inundação no Brasil e em Portugal. Revista Territorium 21, 2014, pp. 49-70. http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/34128/1/T21_artg05.pdf. Acessado: 13/08/2015.
- PRADO, L.F.; PEREIRA, F.A.J.; HALLAK, R.; LOBO, G.A. (2006) Climatologia da precipitação no estado de São Paulo no período de 1947 a 1997. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006.
- PRINA, B. Z. (2015) Geotecnologias aplicadas no mapeamento das áreas de inundação do perímetro urbano de Jaguari/RS. Dissertação de Mestrado. Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Maria, 2015, 128 p.
- QIANG ZHANG, Q., SINGH, V.P., PENG, J., CHEN, Y.D., LI, J. (2012) Spatial-temporal changes of precipitation structure across the Pearl River basin, China. Journal of Hydrology 440–441 (2012). Pp. 113–122.
- QIN, N., CHEN, Xi F., GUOBIN, Z.J, XIANWU, X. (2010) Precipitation and temperature trends for the Southwest China: 1960–2007. Hydrolog Process. doi:10.1002/hyp.7792.
- QIN, N.; WANG, J.; YANG G.; CHEN, X; LIANG, H.; ZHANG, J. (2015) Spatial and temporal variations of extreme precipitation and temperature events for the Southwest China in 1960–2009. Geoenvironmental Disasters, 2015, DOI: 10.1186/s40677-015-0014-9. Licensee Springer OPEN, 2015.
- QUADRO, M.F.L. et al. (1996) Climatologia e precipitação e temperatura no período de 1986 a 1996. Revista Climanalise.
- QUADROS, L.E.; QUEIROZ, M.M.F. ; BOAS, M. A. V. (2011) Distribuição de frequência e temporal de chuvas intensas. Acta Sientiarum. Agronomy, Maringá, v.33 n.3, p401-410, 2011.

- QUEIROZ, A.T.; COSTA, R.A. (2012) Caracterização e variabilidade climática em Séries de Temperatura, Umidade Relativa do Ar e Precipitação em Ituiutaba – MG. 2012. Revista Caminhos de Geografia, Uberlândia, Volume 13, Nº 43. Outubro/2012. P-346-357.
- RAFAELI NETO, S.L. (2000) Um Modelo Conceitual de Sistema de Apoio à Decisão Espacial para Gestão de Desastres por Inundações; 2000. Tese de Doutorado em Engenharia de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.
- RAJEEVAN, M., BHATE, J., JASWAL, A. K. (2008) Analysis of variability and trends of extreme rainfall events over India using 104 years of gridded daily rainfall data. Geophysical Research Letters. 35, p. L18707 <http://dx.doi.org/10.1029/2008GL035143>.
- RAMOS, V.M. (2017) Mapeamento de Áreas Susceptíveis à Ocorrência de Escorregamentos no Brasil e suas Relações com Aspectos Socioeconômicos. Tese de Doutorado em Geografia. Instituto de Humanas, Depto. De Geografia, Universidade de Brasília, Brasília, DF., 2017.
- RAO, V.B., de LIMA, M.C.; FRANCHITO, S.H. (1993) Seasonal and Interannual Variations of Rainfall over Eastern Northeast Brazil. Journal of Climate, 6, 1754-1763. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1993\)006<1754:SAIVOR>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1993)006<1754:SAIVOR>2.0.CO;2)
- RAO, V.B.; CAVALCANTI, I.F.A.; HADA, K. (1996) Annual variation of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. Journal of Geophysical Research, v. 101, n. 21, p. 26539-26551, 1996.
- RAO, V.B.; HADA, K. (1990) Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the Southern Oscillation. Theoretical and Applied Climatology, v. 42, p. 81-91, 1990.
- REBELO, F. (2008) Um Novo Olhar Sobre os Riscos? O Exemplo das Cheias Rápidas (Flash Floods) em Domínio Mediterrâneo. Territorium, v. 15, p. 7-14, 2008.
- REBOITA, M.S., GAN, M.A., ROCHA, R.P., AMBRIZZI, T. (2010) Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. Revista Brasileira de Meteorologia 25, 185-204 regions in Saudi Arabia. Journal Of King Saud University – Engineering Sciences. Riyadh,
- REIS, F.A.G.V. UNESP, 2001. Curso de Geologia Ambiental Via Internet. <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/inicio/foto05.html>
- RIBEIRO, B.Z.; SELUCHI, M.E., CHOU, S.C. (2016). Synoptic climatology of warm fronts in Southeastern South America, International Journal of Climatology, v. 36, n. 2, p. 644-655, 2016.
- ROCHA, A.; GANDU, A.W. (1996) A Zona de Convergência do Atlântico Sul. Climanálise, São Jose dos Campos (SP), v. Esp, p. 140–142, 1996.
- RODRIGUES, M.L.G. (2015) Eventos De Chuva Orográfica Em Santa Catarina: Climatologia E Simulações Numéricas. Tese de Doutorado em Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- ROMERO, G.; MASKREY, A. (1993) Como entender los desastres naturales. In: MASKREY, A. (Org.). Los desastres no son naturales. Colômbia: Red de Estudios Sociales em Prevención de Desastres en América Latina (LA RED), Intermediate Technology Development Group (ITDG), p. 06-10.

- RONCHAIL, J. et al. (2002) Interannual rainfall variability in the Amazon Basin and sea-surface temperatures in the Equatorial Pacific and the Tropical Atlantic oceans. *International Journal of Climatology*, v. 22, p. 1663-1686, 2002.
- ROSEGUINI, W. F.F. (2007) Ocorrência de eventos climáticos extremos e sua repercussão sócioambiental no litoral norte paulista. 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Campus de Presidente Prudente, Presidente Prudente, São Paulo.
- ROTAVA, J. (2014) Índices de Resiliência hídrica e de Perigo para Gestão do Risco de Inundações Urbanas. Dissertação Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2014.
- ROUGIER, J.; SPARKS, S; HILL, L. (2013) Risk and uncertainty assessment for natural hazards. Cambridge: Cambridge University Press.
- R-Project/RStudio (2016) <https://www.rstudio.com/>, acessado em 20 de dezembro de 2016).
- RUBIANO, M.T.M.. (2009) Los geógrafos y la teoría de riesgos y desastres ambientales. *Perspectiva Geográfica*, Bogotá, v.14, p. 241-263, 2009.
- RUSTICUCCI, M., BARRUCAND, M. (2004) Observed trends and changes in temperature extremes over Argentina, *Journal of Climate* 17, 4099-4107.
- RUSTICUCCI, M.M., VENEGAS, S.A., VARGAS W.M. (2003) Warm and cold events in Argentina and their relationship with South Atlantic and South Pacific Sea surface temperatures. *Journal of Geophysical Research*, 108, 2130-22140.
- S2iD (2015) Sistema Integrado de Informações Sobre Desastres - S2iD. Ministério da Integração – MI. Disponível em: <http://S2iD.mi.gov.br/>. Acesso em 10/09/2015.
- SAISP (2015) Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica – FCTH. Disponível em: <http://www.saisp.br/estaticos/sitenovo/home.xmlt>. Acesso em 10/09/2015.
- SAITO, S.; SORIANO, E.; LONDE, L.R. (2015) Desastres Naturais (Chapter 1). *Sensoriamento Remoto e Desastres Naturais*. Sausen, T. Oficina de Texto. São Paulo, 2015.
- SALAIMAN, S.N. (2014). De que adianta? O papel da educação para a prevenção de desastres naturais. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Educação. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, 2014, 289p.
- SALAS, J. D.; J. OBEYSEKERA, “Revisiting the concepts of return period and risk for nonstationary hydrologic extreme events,” *Journal of Hydrologic Engineering*, 19: 554–568, 2014.
- SALGUEIRO, J.H.P.B.; PINTO, E.J.A.; MONTENEGRO, S.M.G.L. (2015) Tendência de Índices Pluviométricos na Bacia do Rio Capibaribe-PE e sua Influência na Gestão dos Recursos Hídricos. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Vol. 07, n.05. Número Especial-VIWMCRHPE, 2014, 1002-1014.
- SALVADOR. M.A. (2004) Anomalia de chuvas no mês de janeiro de 2002 em Alagoas. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. 2004. Fortaleza: CE. 2004.

- SALVAR (2015) Sistema de Alerta e Visualização de Áreas de Risco – SALVAR. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN/MCTI. Disponível em: <http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/>. Acesso em 10/09/2015.
- SANO, E.E.; FERREIRA, L.G.; ASNER, G.P.; STEINKE, E.T. (2007). Spatial and temporal probabilities of obtaining cloud-free Landsat images over the Brazilian tropical savana. *International Journal of Remote Sensing*, 28:12, pp 2739-2752, 2007.
- SANSIGOLO, C.A. (2008) Distribuição de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 23, n. 3, p. 341-346, 2008.
- SANTOS, C.A.C.; MANZI, A.O. (2011) Eventos Extremos de Precipitação no Estado do Ceará e Suas Relações com a Temperatura dos Oceanos Tropicais. *Rev. bras. meteorol.* v. 26 no.1 São Paulo.
- SANTOS, E.B.; LUCIO, P.S.; SANTOS E SILVA, C.M. (2014) Precipitation regionalization of the Brazilian Amazon. *Atmospheric Science Letters*. Disponível: DOI: 10.1002/asl2.535.
- SANTOS, R. (2011) O colapso da gestão de risco nas cidades brasileiras. Disponível: http://www.ces.uc.pt/aigaion/attachments/O%20colapso_RubiaSantos.pdf. Acessado: 13/08/2013.
- SASSA, K. (1989) Geotechnical classification of landslides. *Landslides News*, V.3, p. 21-24, 1989.
- SATYAMURTHY, P., NOBRE, C.A., SILVA DIAS, P.L., (1998) Meteorology of the tropics: South America. In KAROLY, D. J., VINCENT, D. G. (eds), *Meteorology of Southern Hemisphere*. Meteorological Monographs, v. 27, n. 49, chapter 3A.
- SATYAMURTY, P.; FERREIRA, C.D.A.C.; GAN, M.A. (1990) Cyclonic vortices over South America. *Tellus A*, Wiley Online Library, v. 42, n. 1, p. 194–201, 1990.
- SAUNDERS, P. (1980) *An Introduction to Catastrophe Theory*. Londres: Cambridge University Press. 142 p.
- SAURESIG, S.R. (2012) Zoneamento das áreas de risco à inundação da área urbana de Itaqui-RS. Dissertação de Mestrado. Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Maria, 2012, 101 p.
- SAUSEN, T.M.; LACRUZ, M.S.P. (2015) *Sensoriamento Remoto para Desastres*. São Paulo: Oficina de Textos. 288p.
- SCOFIELD, G. (2013) Pesquisa de Desenvolvimento - "Previsão de Risco de deslizamento através do uso do diagrama de índice de umidade do solo e precipitação acumulada". CEMADEN. 2013. Disponível em: <http://www.cemaden.gov.br/projetosdepesquisa.php>. Acesso em 24 de janeiro de 2013.
- SEDEC/MI (2007) Conferência geral sobre desastres: para prefeitos, dirigentes de instituições públicas e privadas e líderes comunitários, Brasília: MI, SEDEC.
- SELUCHI, M.; BEU, C.; ANDRADE, K. M. (2017). Características das Frentes Frias Causadoras de Chuvas Intensas no Leste de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.32, nº 1, 25-37, 2017.

- SEN ROY, S., BALLING, R.C. (2004) Trends in extreme daily precipitation indices in India. *International Journal of Climatology* v. 24, pp. 457-466.
- SHARPE, C.F.S. (1938) *Landslides and related phenomena*. New York: Columbia University Press, 1938.
- SHUKLA, R.K.,M. (2010) Trivedi and M. Kumar, On the proficient use of GEV distribution: a case study off subtropical monsoon region in India, *Annals Computer Science Series*, 8 (1), 81-92, 2010.
- SILVA DIAS, M.A.F. (1987) Sistemas de mesoescala e previsão de tempo a curto prazo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 2, p. 133-150, 1987.
- SILVA JUNIOR, O.M. (2010) *Análise de risco a inundação na cidade de Alenquer – Estado do Pará*. Dissertação Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.
- SILVA, C.A. (2018) *Precipitações no Cerrado: Análise da Variabilidade Pluviométrica e Influência do Fenômeno El Niño Oscilação Sul*. Tese de Doutorado em Geografia. Universidade de Brasília-UnB, Brasília, DF., 2018.
- SILVA, E.L. (2011) *Aplicação de modelo de predição de escorregamentos para gestão de riscos de desastres como subsídio às políticas públicas locais no município de Vitória/ES*. 119p. UnB-IH-GEA, Dissertação de Mestrado, Depto.Geografia - Universidade de Brasília, 2011.
- SILVA, I.H.C.; BEISL, C.H.; MIRANDA, F.P.; LANDAU, L. (2013) *Uso de imagens orbitais de radar como ferramenta para sistemas de alerta a inundações*. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, SBSR, 16., 13 a 18 de abril de 2013, Foz do Iguaçu*. Anais. INPE, 2013. p. 6665-6672.
- SILVA, V. P. R. (2004) On climate variability in Northeast of Brazil. *Journal of Arid Environments*. v. 58, pp. 574-596.
- SILVEIRA, R.D. (2014) *Risco climático, vulnerabilidade sócioespacial e eventos climáticos extremos relacionados ao calor e ao frio no estado do Rio Grande do Sul-Brasil*. Tese Doutorado em Geografia. Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 379f. 2014.
- SISMADEN (2015) *Sistema de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/terrama2/doku.php>. Acesso em 10//09/2015.
- SMITH K.; PETLEY, D. N. (2009) *Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster*. 5º ed. London; New York: Routledge, 2009.
- SNDC (2012) SECRETARIA NACIONAL DE DEFESA CIVIL. *Histórico/Defesa Civil no Brasil*. 2012. <http://www.defesacivil.gov.br>. Acesso em 13 de agosto de 2012.
- SONG et al. (2015) Recent changes in extreme precipitation and drought over the Songhua River Basin, China, during 1960– 2013. *Elsevier Atmospheric Research* 157, 137–152.
- SORIANO, E. (2009) *Os desastres naturais, a cultura de segurança e a gestão de desastres no Brasil*. V Seminário Internacional de Defesa Civil. São Paulo. Disponível: <http://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2009/01/Artigo-191.pdf>. Acessado em 13/08/2013.

- SOUZA, E.B.; AMBRIZZI, T.; COELHO, C.A.S. (2004) Two ENSO episodes with reversed impacts on the regional precipitation of northeastern South America. *Meteorológica*, v. 29, n. 1/2, p. 5-16, 2004.
- SOUZA, W.M. (2011) Impactos socioeconômicos e ambientais dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, UFCG. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.
- SOUZA, W.M.; AZEVEDO, P.V. (2012) Índices de Detecção de Mudanças Climáticas Derivados da Precipitação Pluviométrica e das Temperaturas em Recife – PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, n. 1, p. 143-159.
- STEINKE, E.T. (2004) Considerações sobre variabilidade e mudança climática no Distrito Federal, suas repercussões nos recursos hídricos e informação ao grande público. Brasília, 2004. 196 p. Tese (Doutorado em Ecologia). Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília.
- STEINKE, E.T. (2017). Ensino da Dinâmica das Massas de Ar. Rio de Janeiro: Minicurso Teoria e Prática da Climatologia no Ensino Básico. 15 Slides. Color. Acompanha Texto, 2017.
- STEINKE, E.T.; REZENDE, M.S.; CAVALCANTI, L. (2006) Sistemas Atmosféricos Geradores De Eventos Extremos de Precipitação Em outubro de 2006. No Distrito Federal: Uma Análise Geográfica Dos Desastres. *Revista Brasileira de Climatologia*, Vol. 2, 2006, p. 23-34. ISSN: 1980-055X.
- SULAIMAN, S.N. (2014) De Que Adianta? O papel da educação para a prevenção de desastres naturais. Tese de Doutorado em Educação. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo/Instituto Universitario del Agua y Ciencias Ambientales da Universidade de Alicante, São Paulo/Espanha, 2014. 289p.
- TAKAHASHI, T., GOTO, M., YOSHIDA, H., SUMINO, H., MATSUI, H. (2012) Infectious Diseases After the 2011 Great East Japan Earthquake. *Journal of Experimental & Clinical Medicine*, v. 4, n. 1, p. 20-23, 2012.
- TAMMETS, T.; JAAGUS, J. (2013) Climatology of precipitation extremes in Estonia using the method of moving precipitation totals. *Theoretical and Applied Climatology*.v.111, n.3-4 p.623-639. 2013.
- TAPSELL,S.; MACCARTHY, S.; FAULKNER, H.; ALEXANDER, M. (2010) Social vulnerability and natural hazards. CapHaz-Net WP4 report.
- TATIZANA, C.; OGURA, A.T.; CERRI, L.E.S.; ROCHA, M.C.M. (1987) Análise de Correlação entre Chuvas e Deslizamentos – Serra do Mar – Município de Cubatão. In: Anais do 5º Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia. Vol. 2, p. 225-236, São Paulo, 1987.
- TAVAREZ, C.; SANT’ANNA NETO, J.L.; TOMMASELLI, J.T.G.; PRESSINOTTI, M.M.N.; SANTORO, J. (2004) Análise de variabilidade temporal e espacial das chuvas associada aos movimentos de massa no litoral norte paulista. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1, Florianópolis, SC. Anais. GEDN/UFSC, 2004, p. 680-696.
- TEBALDI, C., HAYHOE, K., ARBLASTER, J., MEEHL, G. (2006) Going to the extremes An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. In Press, *Climatic Change*.

- TEDESCHI, R. G. (2013). As influências de tipos diferentes de ENOS na precipitação e nos seus eventos extremos sobre a América do Sul – observações, simulações e projeções. Tese de Doutorado em Meteorologia – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-SP, 2013.
- TEIXEIRA, M.S. (2004) Atividade de ondas sinópticas relacionadas a episódios de chuvas intensas na região Sul do Brasil. Dissertação de Mestrado-Meteorologia. INPE, São Jose dos Campos. 94 pp.
- TEIXEIRA, M.S.; SATYAMURTY, P. (2007) Dynamical and synoptic characteristics of heavy rainfall episodes in southern Brazil. *Monthly weather review*, v. 135, n. 2, p. 598617, 2007.
- TELES, V.M.B.A. (2011) (In)consciência dos riscos naturais em meio urbano – estudo de caso: o risco de inundação no concelho de Braga. Tese de doutoramento em Geografia. Universidade do Minho, Braga, 312pp.
- TOBIN, G.A.; MONTZ, B.E. (1997) *Natural Hazards: explanation and integration*. New York: The Guilford Press, 1997. 388p.
- TOMINAGA, L.K. (2007) Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP. 2007. 220p. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Acesso em: 2015/10/18.
- TOMINAGA, L.K. (2009) Desastres naturais: por que ocorrem? IN.: *Desastres Naturais Conhecer para prevenir*. São Paulo, 2009.
- TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (2009) *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo, 2009.
- TRAJBER, R.; OLIVATO, D.; MARCHEZINE, V. (2016) *Conceitos e Termos para a Gestão de Riscos de Desastres na Educação*. Cemaden - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais.
- TROEH, F.R. (1965) Landform equations fitted to contour maps. *American Journal of Sciences*. v. 263, pp. 616-627.
- TUCCI, C.E.M. (1999) Aspectos Institucionais no Controle de Inundações. I Seminário de Recursos Hídricos do Centro-Oeste. Brasília.
- UN (1999) Progress in the Implementation of the Programme of Action for Sustainable Development of Small Island Developing States: climate change and sea level rise. UN Economic and Social Council, Report for the Secretary General, 19–30.
- UN-DP (2004) *Reducing disaster risk: a challenge for development*. United Nations Development Programme - UNDP. New York, USA. 129 p.
- UN-ISDR (2004) *International Strategy for Disaster Reduction. Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*. ISBN 92-1-101050-0, Sales No.GV.E.03.0.2, Geneva 10, Switzerland. Vol. 1: 454 p., Vol. 2 (Annexes): 130 p.
- UN-ISDR (2005) *The United Nations International Strategy Disaster Reduction.*, 2005. Hyogo Framework for Action 2005-2015. Building World Conference on Disaster Reduction, 18-22 January 2005, Kobe, Hyogo, Japan. United Nations, Geneva.

UN-ISDR (2009) The United Nations International Strategy Disaster Reduction. 2009. Disponível em: <http://www.unisdr.org/>. Acesso em: 16/Agosto/2013.

UN-ISDR (2012). Como construir cidades mais resilientes. Um guia para gestores públicos locais. Genebra, Novembro de 2012.

UN-ISDR (2015) The United Nations International Strategy Disaster Reduction. Sendai framework for disaster risk reduction. 2015–2030. Disponível em: Acessado em dezembro de 2015.

UN-ISDR (2015) The United Nations International Strategy Disaster Reduction. Hyogo framework for action 2005–2015: building the resilience of nations and communities to disasters. 2005, 22p. Disponível em: Acessado em dezembro de 2015.

USGS (2017) Disponível em <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc>, em 23 de fevereiro de 2017.

VALENCIO, Norma. et al. (2009) Sociologia dos desastres: construção, interfaces e perspectivas no Brasil. São Carlos: Rima Editora, v.1, 280p.

VERA, C., HIGGINS, A.W., AMADOR, B.J., AMBRIZZI, C.T., GARREAUD, D.R., GOCHIS, E.D., GUTZLER, F.D., LETTENMAIER, G.D., MARENGO, H.J., MECHOSO, I.C.R., NOGUES-PAEGLE, J.J., SILVA DIAS, K.P.L., ZHANG, C. (2006) Toward a unified view of the American Monsoon Systems. American Meteorological Society - Journal Of Climate - Special Section, v. 19, pp. 4977-5000

VICENTE, A. K. (2005) Eventos extremos de precipitação na região metropolitana de Campinas. 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia).- Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo.

WAGNER, A.P.L. (2013) Dinâmica Temporal de Índices de Vegetação no Pampa no Rio Grande do Sul e Uruguai e suas Relações com os Elementos Meteorológicos Regionais. Tese de Doutorado em Sensoriamento Remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

WAN ZIN, W. Z., JAMALUDIN, S., DENI, S.M., JEMAIN, A. A. (2010) Recent changes in extreme rainfall events in Peninsular Malaysia: 1971–2005. Theoretical and Applied Climatology v. 99, pp. 303–314.

WANG, Y.; ZHOU L. (2005) Observed trends in extreme precipitation events in China during 1961–2001 and the associated changes in largescale circulation, Geophys. Res. Lett., 32, L09707, doi:10.1029/2005GL022574.

WARNER, J.; WAALEWIJN, P.; HILHORST, D. (2002) Public participation in Disaster- Prone Watersheds: Time for Multi-Stakeholder Platforms? Disaster site 6, Wageningen University. Irrigation and water management group. Disaster studies.

WHITE, G. F. (1945) Human Adjustment to Floods. Department of Geography Research Paper No. 29. Chicago: The University of Chicago.

WHITTAKER, K.A.; MCSHANE, Dan. (2012) Comparison of slope instability screening tools following a large storm event and application to forest management and policy. Geomorphology, 145–146, 2012, 115–122.

WILSON, R.C. (1989) Rainstorms pore pressure, and debris flows: a theoretical framework. In: Landslides in a semi-arid environment, Morton DM, Sadler PM, Eds., California: Publications of the Inland Geological Society, 2: pp. 101-117.

- XAVIER, T. M. B. S. , XAVIER, A. F. S., SILVA DIAS, M. A. F. (1994) Evolução da Precipitação Diária num Ambiente urbano: O Caso da Cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 9, 44- 53.
- XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S. (1987) Classificação e Monitoração de Períodos Secos ou Chuvosos e Cálculo de Índices Pluviométricos para a Região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia*. Vol.5, 2:7-30, 1987.
- XAVIER, T. M. B. S; XAVIER, A. F. S. (1999) Caracterização de Períodos Secos ou Excessivamente Chuvosos no Estado do Ceará Através da Técnica dos Quantis: 1964- 1998. *Revista Brasileira de Meteorologia*, V.14, nº 2, 63-78.
- XAVIER, T.M.B.S.; SILVA, J.F.; REBELLO, E.R.G.A (2001). Técnica dos Quantis e suas aplicações em Meteorologia, Climatologia e Hidrologia, com ênfase para as regiões brasileiras. Thesaurus Editora de Brasília Ltda. Brasília, 141 p.
- XU, ZX; GONG, TL; LI, JY. (2008) Decadal trend of climate in the Tibetan Plateau—regional temperature and precipitation. *Hydrolog Processes* 22:3056–3065.
- YODMANI, S. (2001) Disaster Risk Management and Vulnerability Reduction: protecting the poor”. Paper presented at the Asian and Pacific Forum on Poverty, 5 – 9 February 2001, Manila, Philippines.
- ZAHED FILHO, K.; MARTINS, J.R.S.; PORTO, M.F.A. (2012) Coleção Águas Urbanas. Fascículo 3: Inundações Urbanas. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – PHA.
- ZAIDAN, R.T.; FERNANDES, N.F. (2009) Zoneamento de Susceptibilidade a Escorregamentos em Encostas Aplicado à Bacia de Drenagem Urbana do Córrego do Independência - Juiz de Fora (MG). *Revista Brasileira de Geomorfologia*. v. 10, nº 2, p.57-76.
- ZANELLA, M.E. (2006) Eventos pluviométricos intensos e impactos gerados na cidade de Curitiba / PR – bairro Cajuru: um destaque para as inundações urbanas. *Revista Mercator*. Ano 5, nº 9: 61-74.
- ZEVENBERGER, C; VEERBEEK, W., GERSONIUS, B., VAN HERK, S. (2008) Challenges in urban flood management: travelling across spatial and temporal scales. *Journal of flood risk management*. Blackwell Publishings. pp 81-88.
- ZEZERE, J.L., RODRIGUES, M.L. (2002) Rainfall thresholds for landsliding in Lisbon Area (Portugal). In: Rybar J, Stemberk J, Wagner P, (eds.), *Landslides*, Lisse: A.A. Balkema, pp. 333–338.
- ZHANG, C. (2005) Madden-Julian Oscillation. *Reviews of Geophysics*. v. 43, nº 2, p. 1-36, doi.org/10.1029/2004RG000158.
- ZOLINA, O.; SIMMER, C.; GULEV, S.K., KOLLET, S. (2010) Changing structure of European precipitation: longer wet periods leading to more abundant rainfalls. *Geophysical Resources Letters* 37: L06704, doi: 10.1029/2010GL042468.

ANEXO I – Script em R para Processamento dos Dados

```
#####
# Programa Calcula_Estatistica *
# Processamento dos dados de precipitação e desastres naturais e *
# cálculo dos parâmetros estatísticos. *
# *
#####

rm(list = ls())

# Compile loops and functions:
library(compiler); library(foreach); library(doSNOW); library(iterator)
enableJIT(3)
# Define number of available CPU cores to use:
ncores <- parallel::detectCores(all.tests = TRUE, logical = TRUE)
if(is.na(ncores))
{
  ncores <- 1
  warning("Not possible to detect the number of CPU cores. Using: 1.")
}

n_estacao=10970
n_desastre=4431
n_evento=18725
temp0<-read.csv2("Desastres_Eventos2.csv", header=TRUE, sep = ";", dec = ".")
temp1<-read.csv2("desastre_relevo.csv", header=TRUE, dec = ".")
temp2<-read.csv2("distancias.csv", header=TRUE, dec = ".")
temp3<-read.csv2("raio_infl_Prec.csv", header=TRUE, dec = ".")
temp4<-read.csv2("chuva.csv", header=TRUE, dec = ".")
chuva<-matrix(NA,nrow=n_estacao,ncol=9)
chuva<-as.matrix(temp4[,]) # Estacoes de Chuva
temp5<-read.csv2("lista_estacoes_15anos.csv", header=TRUE, sep = ",", dec = ".")
#lista_estadistica<-read.csv2("lista_estadistica_teste.csv", header=TRUE, sep = ";", dec =
".")

estacoes<-matrix(NA,nrow=nrow(temp5),ncol=10)
estacoes<-as.matrix(temp5[,1:10]) # Estacoes de Chuva
valorcritico<-read.csv2("ValoresCriticos_5percent.csv", header=TRUE, sep = ";", dec = ".")
desastre_relevo<-matrix(NA,nrow=n_desastre,ncol=3)
distancias<-matrix(NA,nrow=n_estacao,ncol=n_desastre)
raio_inf<-matrix(NA,nrow=nrow(temp3),ncol=2)

desastre_evento<-as.matrix(temp0)
raio_inf<-as.matrix(temp3[,c(1,3)]) # Relevo do Desastre
desastre_relevo<-as.matrix(temp1[,c(1,7,8)]) # Desastres Relevo
raio<-matrix(NA,nrow=n_desastre,ncol=1)
for(i in 1:n_desastre) {
  raio[i,1] = raio_inf[as.integer(desastre_relevo[i,2]),2]
}
desastre_relevo<-cbind(desastre_relevo,raio)
distancias<-as.matrix(temp2[,,-1]) # Distancias entre estação e desastre
rm(temp0,temp1,temp2,temp3,temp4,temp5)

#-----
# seleciona estações proximas aos eventos de desastres
#-----
est_selec<-matrix(NA,nrow=n_estacao,ncol=n_desastre)
m=0
for(i in 1:n_desastre) {
  k=0
  for(j in 1:n_estacao) {
    if (distancias[j,i]<=as.numeric(desastre_relevo[i,4])) {
      k=k+1
      est_selec[k,i]<-j
      print (c(i,k))
    }
  }
  if (k>m) {m=k}
}
est_selec <- est_selec[1:m,]
est.length2 <- matrix(NA,nrow=n_desastre,ncol=2)
```

```

for (q in 1:n_desastre) {
  est.length2[q,1]<-q
  est.length2[q,2]<-length(na.omit(est_selec[,q]))
}

#-----
source ("funcoes.est9.R")
#library(RODBC) #abre conexão com o MSACCESS
library(lubridate)
library(plyr)
library(dplyr)
library(fitdistrplus)
library(FAdist)
library(abind)
#library(evd)

Sys.setenv(TZ='GMT')
#conexao1 <- odbcDriverConnect('driver={SQL
Server};server=sqlprd15;database=HIDRO;trusted_connection=true')
#conexao2 <- odbcConnectAccess("C:/RSTUDIO/Desastres_4.mdb") # Create a connection to the
database called "conexao2"
#print('Conexoes abertas')
load("BD_chuva.RData")
tempo_ini<-Sys.time()

limitechuva=350
limite_anual=5000
qte_min_dias=328 # Quantidade mínima de dias por ano (aceita-se até 10% de falha)
#quantils <- data.frame(NULL,NULL)
#lista_estatistica <- data.frame(NULL,NULL)
nper=8
periodo<-matrix(NA,nrow=nper,ncol=2)
periodo[,1]<-c(0,0,0,0,0,0,0,0)
periodo[,2]<-c(0,1,2,3,4,9,14,29)
colnames(periodo)<-c('ini','fim')
lista_estatistica2 <- array(NA,dim=c(3476,40,nper))
quantils2 <- array(NA,dim=c(3476,15,nper))
normais_clim <- data.frame(NULL,NULL)
n=0
alfa=0.05
for (i in 1:nrow(estacoes)) {
  n=n+1
  estacao <- estacoes[i,3]
  estacao_responsavel <- estacoes[i,2]
  df<-data.frame(BD_chuva[i])
  names(df) <- c('date','x')
  df<-df[df$x<=limitechuva,]
  med_grubb<-mean(df$x[df$x>0])
  sd_grubb<-sd(df$x[df$x>0])
  n_dados<-length(df$x[df$x>0])
  tcrit<-qt(1-alfa/n_dados, n_dados-2)
  grub_crit<-(n_dados-1)/(n_dados**0.5) * (( tcrit**2/(n_dados-2+tcrit**2) )**0.5)
  df$grubb<-(df$x-med_grubb)/sd_grubb
  df<-df[df$grubb<=grub_crit,]
  df<-df[, -3]
  df$my <- floor_date(df$date, "year")
  df$Month <- months(df$date)
  df$Year <- format(df$date,format="%Y")

  df_temp<-matrix(NA,nrow=nrow(df),ncol=nper)
  for (j in 1:nrow(df)) {
    d0<-as.Date(df$date[j])
    for (k in 1:nper) {
      df_temp[j,k]<- sum(df[df$date >= d0-periodo[k,1] & df$date <= d0+periodo[k,2],2)
    }
  }

  for (k in 1:nper) {
    df$x<-df_temp[,k]
    quantils2[i,,k]<-calcula.quantil(df$x)
  }
}

```

```

# Chama função para cálculo dos quantis (##### library(lubridate #####)
quantils <- rbind(quantils,calcula.quantil(df$x))

# Chama função para calculo das normais climatológicas
normais_clim <- rbind(normais_clim,calcula.normais(df))

# # Chama função para calcular da dsitribuição
for (k in 1:nper) {
  df$x<-df_temp[,k]
  lista_estatistica2[i,,k]<-calcula.distrib(df,limitechuva,qte_min_dias)
}

print(c(i,"de",nrow(estacoes))); print(Sys.time()-tempo_ini)
}

lista_estatistica3<-
abind(lista_estatistica2[,8],lista_estatistica2[,7],lista_estatistica2[,6],
lista_estatistica2[,5],lista_estatistica2[,4],lista_estatistica2[,3],
lista_estatistica2[,2],lista_estatistica2[,1],lista_estatistica2[,2],
lista_estatistica2[,3],lista_estatistica2[,4],lista_estatistica2[,5],
      lista_estatistica2[,6],along=3)
#save(lista_estatistica2,lista_estatistica3, file = "estatistica_400mm_grubb.RData")

# #-----
# # Gera a matrix de disponibilidade de dados
# #-----
matrix_disponibilidade<-matrix(NA,nrow=131,ncol=nrow(estacoes))
max_disponibilidade<-matrix(NA,nrow=3,ncol=nrow(estacoes))
xtot<-cbind(1888:2018)
xtot<-as.data.frame(xtot)
names(xtot) <- 'Year'
for (i in 1:nrow(estacoes)) {
  print (c(i,"de",nrow(estacoes)))
  df<-data.frame(BD_chuva[i])
  col_headings <- c('date','x')
  names(df) <- col_headings
  df$my <- floor_date(df$date, "year")
  df$Month <- months(df$date)
  df$Year <- format(df$date,format="%Y")
  xx<-subset(ddply(df,~Year,summarise, numero = n()),numero > qte_min_dias)
  xx[,2]<-1
  yy<-merge(x = xtot, y = xx, by = "Year", all.x = TRUE)
  matrix_disponibilidade[,i]<-yy$numero
  x1<-xx[,1]
  x1<-x1[!is.na(x1)]
  max_disponibilidade[3,i]<-length(x1)
  max_disponibilidade[1,i]<-min(xx$Year)
  max_disponibilidade[2,i]<-max(xx$Year)
}
matrix_disponibilidade2<-t(rbind(max_disponibilidade,matrix_disponibilidade))
class(matrix_disponibilidade2) <- "numeric"
matrix_disponibilidade2<-cbind(estacoes[,1:5],matrix_disponibilidade2)
matrix_disponibilidade3<-matrix_disponibilidade2[order(matrix_disponibilidade2[,6], decreasing
= TRUE),]
temp7<-matrix_disponibilidade3[,1:8]
for (i in 1:nrow(estacoes)) {
  matrix_disponibilidade3[i,!is.na(matrix_disponibilidade3[i,])] <- i
}
matrix_disponibilidade3[,1:8]<-temp7
colnames(matrix_disponibilidade3) <-
c('Est_ID','Est_Origem','Est_Cod','Est_Nome','Est_UF','Ano_Ini','Ano_Fim','#Anos',c(t(xtot)))
# write.table(matrix_disponibilidade3, file="matrix_disponibilidade.csv",na="null",sep = ";")

#-----
#Seleciona os dados suspeitos de chuva
#-----
limitechuva=350
limite_anual=3500

```

```

qte_min_dias=328 # Quantidade mínima de dias por ano (aceita-se até 10% de falha)
chuva_suspeita_dia <- data.frame(NULL,NULL)
chuva_suspeita_ano <- data.frame(NULL,NULL)
for (i in 1:nrow(estacoes)) {
  #for (i in 1:10) {
  print (c(i,"de",nrow(estacoes)))
  estacao <- estacoes[i,3]
  estacao_nome <- estacoes[i,4]
  estacao_responsavel <- estacoes[i,2]
  estacao_uf <- estacoes[i,5]
  estacao_ID <- i
  df<-data.frame(BD_chuva[i])
  #df<-data.frame(BD_teste[i])

  names(df) <- c('date','x')
  temp0<-subset(df,x>limitechuva)
  temp0$Estacao<-cbind(rep(estacao,each=nrow(temp0)))
  temp0$Nome<-cbind(rep(estacao_nome,each=nrow(temp0)))
  temp0$Origem<-cbind(rep(estacao_responsavel,each=nrow(temp0)))
  temp0$UF<-cbind(rep(estacao_uf,each=nrow(temp0)))
  temp0$ID<-cbind(rep(estacao_ID,each=nrow(temp0)))
  temp0<-temp0[,c(7,3,4,5,6,1,2)]
  chuva_suspeita_dia <- rbind(chuva_suspeita_dia,temp0)

  df$my <- floor_date(df$date, "year")
  df$Month <- months(df$date)
  df$Year <- format(df$date,format="%Y")

  temp1 <- ddply(df,~Year,summarise, ChuvaAnual = sum(x), numero = n())
  temp1<-subset(temp1,ChuvaAnual>limite_anual)
  temp1$Estacao<-cbind(rep(estacao,each=nrow(temp1)))
  temp1$Nome<-cbind(rep(estacao_nome,each=nrow(temp1)))
  temp1$Origem<-cbind(rep(estacao_responsavel,each=nrow(temp1)))
  temp1$UF<-cbind(rep(estacao_uf,each=nrow(temp1)))
  temp1$ID<-cbind(rep(estacao_ID,each=nrow(temp1)))
  temp1<-temp1[,c(8,4,5,6,7,1,2,3)]
  chuva_suspeita_ano <- rbind(chuva_suspeita_ano,temp1)
}

#-----
#Calcula a chuva acumulado no período do evento e demais parâmetros
#-----
load("estatistica_400mm_grubb3.RData")
evento_analise <- data.frame(NULL,NULL)
TR <- matrix(NA,nrow=1,ncol=13)
for (i in 1:n_desastre) {
  #for (i in 1:5) {
  if ( est.length2[i,2] != 0) {
    aa<-subset(desastre.evento, as.numeric(desastre.evento[,1]) == i)
    n_evento=nrow(aa)
    for (j in 1: n_evento) {
      evento_desastre <- as.Date(aa[j,5])
      for (k in 1:est.length2[i,2] ) {
        estacao <- chuva[est_selec[k,i],3]
        estacao_responsavel <- chuva[est_selec[k,i],2]
        linha_estacao<-as.numeric(which(trimws(estacoes[,1]) == est_selec[k,i]))
        if (is.element(estacao,trimws(estacoes))) {
          #serie_chuva <- le.bd.chuva(estacao,estacao_responsavel)
          serie_chuva<-data.frame(BD_chuva[linha_estacao])
          names(serie_chuva) <- c('date','x')
          serie_chuva<-serie_chuva[serie_chuva$x<=limitechuva,]
          serie_chuva$my <- floor_date(serie_chuva$date, "year")
          quantils <- calcula.quantil(serie_chuva$x)
          lista_estatistica<-calcula.distrib(serie_chuva,limitechuva,qte_min_dias)
          chuva_evento <- calcula.ch.evento(serie_chuva,evento_desastre)
          fdp <- lista_estatistica[linha_estacao,40]
          fdp <- lista_estatistica[1,40]
          dp <- lista_estatistica3[linha_estacao,40,1:13]
          for (m in 1:13) {
            switch(fdp[m],
              Gumbel={tmp1<-

```

```

        if (tmp1!='NaN') { TR[m] <- round(1/(1-tmp1),1) }
        else if ( chuva_evento[1,m] >=
as.numeric(lista_estadistica3[linha_estacao,5,m]) ) { TR[m] <- 100 }
        else { TR[m] <- 1 }
    },
    GEV    ={tmp1<-
pgev(chuva_evento[1,m],as.numeric(lista_estadistica3[linha_estacao,8,m]),as.numeric(lista_estadistica3[linha_estacao,9,m]),as.numeric(lista_estadistica3[linha_estacao,10,m]))
        if (tmp1!='NaN') { TR[m] <- round(1/(1-tmp1),1) }
        else if ( chuva_evento[1,m] >=
as.numeric(lista_estadistica3[linha_estacao,10,m]) ) { TR[m] <- 100 }
        else { TR[m] <- 1 }
    },
    LGamma={tmp1<-
plgamma3(chuva_evento[1,m],as.numeric(lista_estadistica3[linha_estacao,14,m]),as.numeric(lista_estadistica3[linha_estacao,15,m]),as.numeric(lista_estadistica3[linha_estacao,16,m]))
        if (tmp1!='NaN') { TR[m] <- round(1/(1-tmp1),1) }
        else if ( chuva_evento[1,m] >=
as.numeric(lista_estadistica3[linha_estacao,16,m]) ) { TR[m] <- 100 }
        else { TR[m] <- 1 }
    },
    Erro  ={TR[m] <- round( 1/(1-
(ecdf(serie_chuva$x[serie_chuva$x>0]) (chuva_evento[1,m]))) ,1) },
    stop()
  )
}
evento_analise <-
rbind(evento_analise,cbind(aa[j,8],aa[j,9],aa[j,10],aa[j,5],aa[j,12],aa[j,11],aa[j,13],aa[j,14]
],
chuva[est_selec[k,i],3],chuva[est_selec[k,i],4],chuva[est_selec[k,i],5],
chuva[est_selec[k,i],2],chuva[est_selec[k,i],6],chuva[est_selec[k,i],7],
        rbind(quantils[1,1:15]),
        rbind(chuva_evento[1,1:13]),

linha_estacao,lista_estadistica3[linha_estacao,1,8],lista_estadistica3[linha_estacao,2,8],list
a_estadistica3[linha_estacao,3,8],
        rbind(fdp[1:13]),
        rbind(TR[1:13])
    ))
}
}
}
print (c(i,"de",n_desastre))
}
colnames(evento_analise) <-
c("Município","UF","Região","Data_Evento","Tipo_Evento","Documento","Des_Lat","Des_Lon",
"Est_Cod","Est_Nome","Est_UF","Est_Origem","Est_Lat","Est_Lon",
"#Dia_Dados","#Dias_chuva","ChuvaMax","ChuvaMed","ChuvaStd","Perc_5%","Perc_25%",
"Perc_50%","Perc_75%","Perc_95%","Perc_97.5%","Perc_99%","Perc_99.5%","Perc_99.75%","Perc_99.9
%",
'acum_30d-', 'acum_15d-', 'acum_10d-', 'acum_05d-', 'acum_04d-
', 'acum_03d-', 'acum_02d-',
'dia_evento', 'acum_02d+', 'acum_03d+', 'acum_04d+', 'acum_05d+', 'acum_10d+',
'ID_Estacao', 'estacao', 'n_anos', 'max',
'fdp_30d-', 'fdp_15d-', 'fdp_10d-', 'fdp_05d-', 'fdp_04d-', 'fdp_03d-
', 'fdp_02d-',
'fdp_evento', 'fdp_02d+', 'fdp_03d+', 'fdp_04d+', 'fdp_05d+', 'fdp_10d+',
'TR_30d-', 'TR_15d-', 'TR_10d-', 'TR_05d-', 'TR_04d-', 'TR_03d-
', 'TR_02d-',
'TR_evento', 'TR_02d+', 'TR_03d+', 'TR_04d+', 'TR_05d+', 'TR_10d+')

close(conexao1) # Close a connection to the database called "conexao1"
close(conexao2) # Close a connection to the database called "conexao1"

```

```

#*****
#
#       Funções auxiliares para o programa Calcula_Estatística
#
#*****

#####
#Funcao para ler as bases de dados de chuva e tabulá-los em forma sequencial
#####
le.bd.chuva <- function(estacao,estacao_responsavel) {

  if ( estacao_responsavel=='ANA' ) {
    temp2 <- sqlQuery(conexao1, paste("SELECT
EstacaoCodigo,Max(NivelConsistencia),Data,Chuva01,Chuva02,Chuva03,Chuva04,Chuva05,Chuva06,Chuva
a07,Chuva08,Chuva09,Chuva10,Chuva11,Chuva12,Chuva13,Chuva14,Chuva15,Chuva16,Chuva17,Chuva18,Ch
uva19,Chuva20,Chuva21,Chuva22,Chuva23,Chuva24,Chuva25,Chuva26,Chuva27,Chuva28,Chuva29,Chuva30,
Chuva31,Chuva01Status,Chuva02Status,Chuva03Status,Chuva04Status,Chuva05Status,Chuva06Status,Ch
uva07Status,Chuva08Status,Chuva09Status,Chuva10Status,Chuva11Status,Chuva12Status,Chuva13Statu
s,Chuva14Status,Chuva15Status,Chuva16Status,Chuva17Status,Chuva18Status,Chuva19Status,Chuva20S
tatus,Chuva21Status,Chuva22Status,Chuva23Status,Chuva24Status,Chuva25Status,Chuva26Status,Chuva
a27Status,Chuva28Status,Chuva29Status,Chuva30Status,Chuva31Status
FROM Chuvas
WHERE CHUVAS.ESTACAOCODIGO = ",estacao,"
AND importado = 0
AND ImportadoRepetido = 0
AND Removido = 0
AND Temporario = 0
GROUP BY
EstacaoCodigo,Data,Chuva01,Chuva02,Chuva03,Chuva04,Chuva05,Chuva06,Chuva07,Chuva08,Chuva09,Chu
va10,Chuva11,Chuva12,Chuva13,Chuva14,Chuva15,Chuva16,Chuva17,Chuva18,Chuva19,Chuva20,Chuva21,C
huva22,Chuva23,Chuva24,Chuva25,Chuva26,Chuva27,Chuva28,Chuva29,Chuva30,Chuva31,Chuva01Status,C
huva02Status,Chuva03Status,Chuva04Status,Chuva05Status,Chuva06Status,Chuva07Status,Chuva08Stat
us,Chuva09Status,Chuva10Status,Chuva11Status,Chuva12Status,Chuva13Status,Chuva14Status,Chuva15
Status,Chuva16Status,Chuva17Status,Chuva18Status,Chuva19Status,Chuva20Status,Chuva21Status,Chu
va22Status,Chuva23Status,Chuva24Status,Chuva25Status,Chuva26Status,Chuva27Status,Chuva28Status
,Chuva29Status,Chuva30Status,Chuva31Status
"))
  }

  if ( estacao_responsavel=='INMET' ) {
    temp2 <- sqlQuery(conexao2, paste("SELECT
Chuvas.EstacaoCodigo,Max(Chuvas.NivelConsistencia),Chuvas.Data,Chuvas.Chuva01,Chuvas.Chuva02,C
huvas.Chuva03,Chuvas.Chuva04,Chuvas.Chuva05,Chuvas.Chuva06,Chuvas.Chuva07,Chuvas.Chuva08,Chuvas
.Chuva09,Chuvas.Chuva10,Chuvas.Chuva11,Chuvas.Chuva12,Chuvas.Chuva13,Chuvas.Chuva14,Chuvas.Ch
uva15,Chuvas.Chuva16,Chuvas.Chuva17,Chuvas.Chuva18,Chuvas.Chuva19,Chuvas.Chuva20,Chuvas.Chuva2
1,Chuvas.Chuva22,Chuvas.Chuva23,Chuvas.Chuva24,Chuvas.Chuva25,Chuvas.Chuva26,Chuvas.Chuva27,Ch
uvas.Chuva28,Chuvas.Chuva29,Chuvas.Chuva30,Chuvas.Chuva31,Chuvas.Chuva01Status,Chuvas.Chuva02S
tatus,Chuvas.Chuva03Status,Chuvas.Chuva04Status,Chuvas.Chuva05Status,Chuvas.Chuva06Status,Chuvas
.Chuva07Status,Chuvas.Chuva08Status,Chuvas.Chuva09Status,Chuvas.Chuva10Status,Chuvas.Chuva11
Status,Chuvas.Chuva12Status,Chuvas.Chuva13Status,Chuvas.Chuva14Status,Chuvas.Chuva15Status,Chu
vas.Chuva16Status,Chuvas.Chuva17Status,Chuvas.Chuva18Status,Chuvas.Chuva19Status,Chuvas.Chuva2
0Status,Chuvas.Chuva21Status,Chuvas.Chuva22Status,Chuvas.Chuva23Status,Chuvas.Chuva24Status,Ch
uvas.Chuva25Status,Chuvas.Chuva26Status,Chuvas.Chuva27Status,Chuvas.Chuva28Status,Chuvas.Chuva
29Status,Chuvas.Chuva30Status,Chuvas.Chuva31Status
FROM Chuvas
WHERE CHUVAS.ESTACAOCODIGO = ",estacao,"
AND Chuvas.importado = 0
AND Chuvas.ImportadoRepetido = 0
AND Chuvas.Removido = 0
AND Chuvas.Temporario = 0
GROUP BY
Chuvas.EstacaoCodigo,Chuvas.Data,Chuvas.Chuva01,Chuvas.Chuva02,Chuvas.Chuva03,Chuvas.Chuva04,C
huvas.Chuva05,Chuvas.Chuva06,Chuvas.Chuva07,Chuvas.Chuva08,Chuvas.Chuva09,Chuvas.Chuva10,Chuvas
.Chuva11,Chuvas.Chuva12,Chuvas.Chuva13,Chuvas.Chuva14,Chuvas.Chuva15,Chuvas.Chuva16,Chuvas.Ch
uva17,Chuvas.Chuva18,Chuvas.Chuva19,Chuvas.Chuva20,Chuvas.Chuva21,Chuvas.Chuva22,Chuvas.Chuva2
3,Chuvas.Chuva24,Chuvas.Chuva25,Chuvas.Chuva26,Chuvas.Chuva27,Chuvas.Chuva28,Chuvas.Chuva29,Ch
uvas.Chuva30,Chuvas.Chuva31,Chuvas.Chuva01Status,Chuvas.Chuva02Status,Chuvas.Chuva03Status,Chu
vas.Chuva04Status,Chuvas.Chuva05Status,Chuvas.Chuva06Status,Chuvas.Chuva07Status,Chuvas.Chuva0
8Status,Chuvas.Chuva09Status,Chuvas.Chuva10Status,Chuvas.Chuva11Status,Chuvas.Chuva12Status,Ch
uvas.Chuva13Status,Chuvas.Chuva14Status,Chuvas.Chuva15Status,Chuvas.Chuva16Status,Chuvas.Chuva
17Status,Chuvas.Chuva18Status,Chuvas.Chuva19Status,Chuvas.Chuva20Status,Chuvas.Chuva21Status,C
huvas.Chuva22Status,Chuvas.Chuva23Status,Chuvas.Chuva24Status,Chuvas.Chuva25Status,Chuvas.Chuv

```

```

a26Status, Chuvas.Chuva27Status, Chuvas.Chuva28Status, Chuvas.Chuva29Status, Chuvas.Chuva30Status,
Chuvas.Chuva31Status
    "))
}

#Remove os registros com problema (dias começam diferente de 01)
for (i in 1:nrow(temp2)) {
  if (day(temp2[i,3])!=01) {day(temp2[i,3])<-01}
}
#Ordena os registros em ordem de consistido primeiro e depois remove o registro repetido
temp2<-temp2[with(temp2,order(temp2[,3],-temp2[,2])),]
temp2<-temp2[!duplicated(temp2[,3]),]

#formata os dados para sequencial diário
m=0
nlinhas_max=nrow(temp2)
temp4 <- data.frame(vec1 = rep(NA,nlinhas_max),vec2 = rep(NA,nlinhas_max))
for (j in 1:nrow(temp2)) {
  for (k in 1:days_in_month(temp2[j,3])) {
    m=m+1
    temp4[m,1] <- as.Date(temp2[j,3],format='%y-%m-%Y')+k-1
    temp4[m,2] <- temp2[j,3+k]
  }
}
temp4[,2] <- round(temp4[,2], digits=1)

#Formata a data do arquivo
dados_seq <- cbind(as.data.frame(as.Date(temp4[,1], origin = "1970-01-01")),temp4[,2])
col_headings <- c('Data','Valor')
names(dados_seq) <- col_headings
rm(temp2,temp4)

#####library(lubridate)#####
temp5 <- na.omit(data.frame(date = dados_seq[,1], x = as.numeric(dados_seq[,2])))
#df$my <- floor_date(df$date, "year")

return (temp5)
}

#####
#Funcao para calcular os quantis das séries de chuva
#####
calcula.quantil <- function (x2) {
  quantil <- matrix(NA,nrow=1,ncol=15)
  colnames(quantil) <-
c("ndias_dados","ndias_chuva","max_chuva","med_chuva","std_chuva","5%","25%","50%","75%","95%"
,"97.5%","99%","99.5%","99.75%","99.9%")
  ndias_dados <- length(x2)
  x2 <- x2[x2 != 0 & !is.na(x2)]
  ndias_chuva <- length(x2)
  max_chuva <- max(x2)
  med_chuva <- mean(x2)
  std_chuva <- sd(x2)
  y <- quantile(x2, probs = c(5, 25, 50, 75, 95, 97.5, 99, 99.5, 99.75, 99.9)/100, na.rm =
TRUE, names = FALSE)
  quantil[1,1] <- ndias_dados
  quantil[1,2] <- ndias_chuva
  quantil[1,3] <- round(max_chuva,1)
  quantil[1,4] <- round(med_chuva,1)
  quantil[1,5] <- round(std_chuva,1)
  quantil[1,6] <- round(y[1],1) # 5%
  quantil[1,7] <- round(y[2],1) # 25%
  quantil[1,8] <- round(y[3],1) # 50%
  quantil[1,9] <- round(y[4],1) # 75%
  quantil[1,10]<- round(y[5],1) # 95%
  quantil[1,11]<- round(y[6],1) # 97.5%
  quantil[1,12]<- round(y[7],1) # 99%
  quantil[1,13]<- round(y[8],1) # 99.5%
  quantil[1,14]<- round(y[9],1) # 99.75%
  quantil[1,15]<- round(y[10],1) # 99.9%

  return (quantil)
}

```

```

}

#####
#Funcao para calcular as normais climatológicas
#####
calcula.normais <- function (df) {
  temp6 <- aggregate( x ~ Month , (aggregate( x ~ Month + Year , df , sum )) , mean )
  normais_clim <- rbind(cbind(estacoes[i,3],estacoes[i,4],estacoes[i,5],estacoes[i,2],
temp6[5,2],temp6[4,2],temp6[9,2],temp6[1,2],temp6[8,2],temp6[7,2],
temp6[6,2],temp6[2,2],temp6[12,2],temp6[11,2],temp6[10,2],temp6[3,2]))
  colnames(normais_clim) <-
c("Est_Cod","Est_Nome","Est_UF","Est_Origem","Jan","Fev","Mar","Abr","Mai","Jun","Jul","Ago","
Set","Out","Nov","Dez")
  return (normais_clim)
}

#####
#Funcao para calcular os parâmetros das distribuições de probabilidade das séries de chuva
#####
calcula.dist <- function(dfl,limitechuva,qte_min_dias1,estacoes1) {
calcula.distrib <- function(df,limitechuva,qte_min_dias) {
  #lista_estadistica<-matrix(NA,nrow=nrow(estacoes1),ncol=36)
  lista_est <- matrix(NA,nrow=1,ncol=40)
  tipo_fdp <- c("Gumbel","GEV","LGamma")

  colnames(lista_est) <- c('estacao','n_anos','max',
'par_sca.gumbel','par_loc.gumbel','ste_sca.gumbel','ste_loc.gumbel',
'par_shp.gev','par_sca.gev','par_loc.gev','ste_shp.gev','ste_sca.gev','ste_loc.gev',
'par_shp.lg3','par_sca.lg3','par_thr.lg3','ste_shp.lg3','ste_sca.lg3','ste_thr.lg3',
'CVM.gumbel','CVM.gev',"CVM_lgamma3",'AD.gumbel','AD.gev',"AD_lgamma3",
'KS.gumbel','KS.gev',"KS_lgamma3",'X2.gumbel','X2.gev',"X2_lgamma3",
'CVM_critico','AD_critico','KS_critico','X2_critico_2p','X2_critico_3p',
'Sel_CVM','Sel_AD','Sel_KS','Sel_Final')

  # Calcula os máximos anuais - library (plyr; dplyr)
  xx<-subset(ddply(df,~my,summarise, maximo = max(x,na.rm=TRUE), numero = n()),numero >
qte_min_dias)
  x1<-xx[,2]
  x1<-x1[!is.na(x1)]
  n_anos<-length(x1)

#Cálcula a estatística de distribuição - library (fitdistrplus; evd; fitdistrplus; evd)
lista_est[1,1]<-estacao
lista_est[1,2]<-n_anos
lista_est[1,3]<-max(x1)

if (n_anos >= 12) {

  f_gum <- try(fitdist(x1, "gumbel", start = list(25, 75)), silent = TRUE)
  if ( class(f_gum) == "try-error" ) {
    f_gum <- try(fitdist(x1, "gumbel", start = list(1, 1)), silent = TRUE)
  }
  if ( class(f_gum) == "try-error" ) {
    f_gum <- try(fitdist(x1, "gumbel", start = list(100, 100)), silent = TRUE)
  }
  if ( class(f_gum) == "try-error" ) {
    f_gum <- try(fitdist(x1, "gumbel", start = list(5, 15)), silent = TRUE)
  }
  if ( class(f_gum) == "try-error" ) {
    f_gum <- try(fitdist(x1, "gumbel", start = list(10, 30)), silent = TRUE)
  }
  if ( class(f_gum) == "try-error" ) {
    f_gum <- try(fitdist(x1, "gumbel", start = list(15, 50)), silent = TRUE)
  }
}
}

```

```

    }
    if ( class(f_gum) == "try-error" ) {
      f_gum <- try(fitdist(x1, "gumbel", method = "mge", gof="AD", start = list(25, 75)),
silent = TRUE)
    }
    if ( class(f_gum) == "try-error" ) {
      f_gum <- try(fitdist(x1, "gumbel", method = "mge", gof="AD", start = list(25, 75)),
silent = TRUE)
    }
    if (is.na(unlist(f_gum[1]))) {
      f_gum <- try(fitdist(x1, "gumbel", method = "mge", gof="AD", start = list(1, 1)), silent
= TRUE)
    }

f_gev <- try(fitdist(x1, "gev", start = list(0.1, 25, 75)), silent = TRUE)
if ( class(f_gev) == "try-error" ) {
  f_gev <- try(fitdist(x1, "gev", start = list(0.1, 1, 1)), silent = TRUE)
}
if ( class(f_gev) == "try-error" ) {
  f_gev <- try(fitdist(x1, "gev", start = list(0.1, 100, 100)), silent = TRUE)
}
if ( class(f_gev) == "try-error" ) {
  f_gev <- try(fitdist(x1, "gev", start = list(0.1, 5, 15)), silent = TRUE)
}
if ( class(f_gev) == "try-error" ) {
  f_gev <- try(fitdist(x1, "gev", start = list(0.1, 10, 30)), silent = TRUE)
}
if ( class(f_gev) == "try-error" ) {
  f_gev <- try(fitdist(x1, "gev", start = list(1, 15, 50)), silent = TRUE)
}
if ( class(f_gev) == "try-error" ) {
  f_gev <- try(fitdist(x1, "gev", method = "mge", gof="AD", start = list(0.1, 25, 75)),
silent = TRUE)
}
if (is.na(unlist(f_gev[1]))) {
  f_gev <- try(fitdist(x1, "gev", method = "mge", gof="AD", start = list(0.1, 1, 1)),
silent = TRUE)
}

f_lg3 <- try(fitdist(x1, "lgamma3", start = list(1, 1, 1)), silent = TRUE)
if ( class(f_lg3) == "try-error" ) {
  f_lg3 <- try(fitdist(x1, "lgamma3", start = list(5, 5, 1)), silent = TRUE)
}
if ( class(f_lg3) == "try-error" ) {
  f_lg3 <- try(fitdist(x1, "lgamma3", start = list(10, 10, 1)), silent = TRUE)
}
if ( class(f_lg3) == "try-error" ) {
  f_lg3 <- try(fitdist(x1, "lgamma3", start = list(25, 25, 1)), silent = TRUE)
}
if ( class(f_lg3) == "try-error" ) {
  f_lg3 <- try(fitdist(x1, "lgamma3", start = list(50, 50, 1)), silent = TRUE)
}
if ( class(f_lg3) == "try-error" ) {
  f_lg3 <- try(fitdist(x1, "lgamma3", start = list(100, 100, 1)), silent = TRUE)
}
if ( class(f_lg3) == "try-error" ) {
  f_lg3 <- try(fitdist(x1, "lgamma3", method = "mge", gof="AD", start = list(1, 1, 1)),
silent = TRUE)
}
if (is.na(unlist(f_lg3[1]))) {
  f_lg3 <- try(fitdist(x1, "lgamma3", method = "mge", gof="AD", start = list(10, 10, 1)),
silent = TRUE)
}

if ( !is.character(unname(unlist(f_gum[1]))) ) { lista_est[1,4:5] <-
unname(unlist(f_gum[1])) }
#if ( !is.character(unname(unlist(f_gum[3]))) ) { lista_est[1,6:7] <-
unname(unlist(f_gum[3])) }
if ( !is.character(unname(unlist(f_gev[1]))) ) { lista_est[1,8:10] <-
unname(unlist(f_gev[1])) }
#if ( !is.character(unname(unlist(f_gev[3]))) ) { lista_est[1,11:13]<-
unname(unlist(f_gev[3])) }

```

```

if ( !is.character(unname(unlist(f_lg3[1]))) ) { lista_est[1,14:16]<-
unname(unlist(f_lg3[1])) }
#if ( !is.character(unname(unlist(f_lg3[3]))) ) { lista_est[1,17:19]<-
unname(unlist(f_lg3[3])) }

if (n_anos < 20) {
x1_quant<-quantile(x1, probs = c(20,40,60,80)/100)
estat_gum<-try(gofstat(f_gum, fitnames = "gumbel", chisqbreaks = x1_quant), silent =
TRUE)
estat_gev<-try(gofstat(f_gev, fitnames = "gev", chisqbreaks = x1_quant), silent = TRUE)
estat_lg3<-try(gofstat(f_lg3, fitnames = "lgamma3",chisqbreaks = x1_quant), silent =
TRUE)
} else {
estat_gum<-try(gofstat(f_gum, fitnames = "gumbel"), silent = TRUE)
estat_gev<-try(gofstat(f_gev, fitnames = "gev"), silent = TRUE)
estat_lg3<-try(gofstat(f_lg3, fitnames = "lgamma3"), silent = TRUE)
}

if (class(estat_gum) != "try-error" ) {
lista_est[1,20]<-unname(unlist(estat_gum[6]))
y1<-unname(unlist(estat_gum[8]))
lista_est[1,23]<-y1*(1+0.2/sqrt(n_anos))
lista_est[1,26]<-unname(unlist(estat_gum[10]))
lista_est[1,29]<-unname(unlist(estat_gum[1]))
z1<-unname(unlist(estat_gum[4]))
lista_est[1,35]<-valorcritico[z1,5]
}

if (class(estat_gev) != "try-error" ) {
lista_est[1,21]<-unname(unlist(estat_gev[6]))
y1<-unname(unlist(estat_gev[8]))
lista_est[1,24]<-y1*(1+0.75/n_anos + 2.25/(n_anos^2))
lista_est[1,27]<-unname(unlist(estat_gev[10]))
lista_est[1,30]<-unname(unlist(estat_gev[1]))
z1<-unname(unlist(estat_gev[4]))
lista_est[1,36]<-valorcritico[z1,5]
}

if (class(estat_lg3) != "try-error" ) {
lista_est[1,22]<-unname(unlist(estat_lg3[6]))
y1<-unname(unlist(estat_lg3[8]))
lista_est[1,25]<-y1*(1+0.75/n_anos + 2.25/(n_anos^2))
lista_est[1,28]<-unname(unlist(estat_lg3[10]))
lista_est[1,31]<-unname(unlist(estat_lg3[1]))
z1<-unname(unlist(estat_lg3[4]))
lista_est[1,36]<-valorcritico[z1,5]
}

lista_est[1,32]<-valorcritico[n_anos,4]
lista_est[1,33]<-valorcritico[n_anos,3]
lista_est[1,34]<-valorcritico[n_anos,2]
}

# Escolhe a melhor distribuição e calcula o tempo de retorno
if (is.finite(min(as.numeric(lista_est[1,20:22]),na.rm=T))) {
cvml<-which(lista_est[1,20:22]==min(as.numeric(lista_est[1,20:22]),na.rm=T))
ifelse ((as.numeric(lista_est[1,cvml+19]) <= as.numeric(lista_est[1,32])) & cvml>=1,
lista_est[1,37] <- tipo_fdp[cvml],
lista_est[1,37] <- "Nao_Sig" )
} else {lista_est[1,37] <- "Nao_Sig" }

if (is.finite(min(as.numeric(lista_est[1,22:25]),na.rm=T))) {
ad1 <-which(lista_est[1,23:25]==min(as.numeric(lista_est[1,23:25]),na.rm=T))
ifelse (as.numeric(lista_est[1,ad1+22]) <= as.numeric(lista_est[1,33]),
lista_est[1,38] <- tipo_fdp[ad1],
lista_est[1,38] <- "Nao_Sig" )
} else {lista_est[1,38] <- "Nao_Sig" }

if (is.finite(min(as.numeric(lista_est[1,26:28]),na.rm=T))) {
ks1 <-which(lista_est[1,26:28]==min(as.numeric(lista_est[1,26:28]),na.rm=T))
ifelse ((as.numeric(lista_est[1,ks1+25]) <= as.numeric(lista_est[1,34])) & ks1>=1,
lista_est[1,39] <- tipo_fdp[ks1],
lista_est[1,39] <- "Nao_Sig" )
}

```

```

} else {lista_est[1,39] <- "Nao_Sig" }

temp1<-lista_est[37:39]
if (sum("Gumbel" == temp1) >=2 )      {lista_est[1,40] <- "Gumbel"
} else if (sum("GEV" == temp1) >=2 )  {lista_est[1,40] <- "GEV"
} else if (sum("LGamma" == temp1) >=2 ) {lista_est[1,40] <- "LGamma"
} else if (sum("GEV" == temp1) ==1 )   {lista_est[1,40] <- "GEV"
} else if (sum("Gumbel" == temp1) ==1 ) {lista_est[1,40] <- "Gumbel"
} else if (sum("LGamma" == temp1) ==1 ) {lista_est[1,40] <- "LGamma"
} else                                  {lista_est[1,40] <- "Erro" }

return(lista_est)
}

#####
#Funcao para calcular o valor da chuva acumulada no periodo do evento de desastre
#####
calcula.ch.evento <- function (y1,d0) {
  chuva.intervalo <- matrix(NA,nrow=1,ncol=13)
  colnames(chuva.intervalo) <- c('acum_30d-', 'acum_15d-', 'acum_10d-', 'acum_05d-', 'acum_04d-',
    'acum_03d-', 'acum_02d-',
'dia_evento', 'acum_02d+', 'acum_03d+', 'acum_04d+', 'acum_05d+', 'acum_10d+')
  chuva.intervalo[1,1] <- sum(y1[y1$date >= d0-29 & y1$date <= d0,2])
  chuva.intervalo[1,2] <- sum(y1[y1$date >= d0-14 & y1$date <= d0,2])
  chuva.intervalo[1,3] <- sum(y1[y1$date >= d0-9 & y1$date <= d0,2])
  chuva.intervalo[1,4] <- sum(y1[y1$date >= d0-4 & y1$date <= d0,2])
  chuva.intervalo[1,5] <- sum(y1[y1$date >= d0-3 & y1$date <= d0,2])
  chuva.intervalo[1,6] <- sum(y1[y1$date >= d0-2 & y1$date <= d0,2])
  chuva.intervalo[1,7] <- sum(y1[y1$date >= d0-1 & y1$date <= d0,2])
  chuva.intervalo[1,8] <- sum(y1[y1$date >= d0 & y1$date <= d0 ,2])
  chuva.intervalo[1,9] <- sum(y1[y1$date >= d0 & y1$date <= d0+1,2])
  chuva.intervalo[1,10] <- sum(y1[y1$date >= d0 & y1$date <= d0+2,2])
  chuva.intervalo[1,11] <- sum(y1[y1$date >= d0 & y1$date <= d0+3,2])
  chuva.intervalo[1,12] <- sum(y1[y1$date >= d0 & y1$date <= d0+4,2])
  chuva.intervalo[1,13] <- sum(y1[y1$date >= d0 & y1$date <= d0+9,2])

  return (chuva.intervalo)
}

```