

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Daniel Junges Menezes

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ANÁLISE ESPAÇO -
TEMPORAL DE INUNDAÇÕES: APLICAÇÃO NA ÁREA URBANA DE
ALEGRETE - RS**

Santa Maria, RS
2018

Daniel Junges Menezes

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ANÁLISE ESPAÇO - TEMPORAL DE
INUNDAÇÕES: APLICAÇÃO NA ÁREA URBANA DE ALEGRETE - RS**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de Concentração Análise Ambiental e Dinâmica Espacial, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito para a obtenção do título de **Doutor em Geografia.**

Orientador: Luís Eduardo de Souza Robaina

Santa Maria, RS
2018

Menezes, Daniel Junges

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ANÁLISE ESPAÇO - TEMPORAL
DE INUNDAÇÕES: APLICAÇÃO NA ÁREA URBANA DE ALEGRETE - RS
/ Daniel Junges Menezes.- 2018.
267 p.; 30 cm

Orientador: Luís Eduardo de Souza Robaina
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de
Pós-Graduação em Geografia e Geociências, RS, 2018

1. Análise de risco 2. Inundações 3. Alegrete 4.
Geotecnologias I. Robaina, Luís Eduardo de Souza II.
Título.

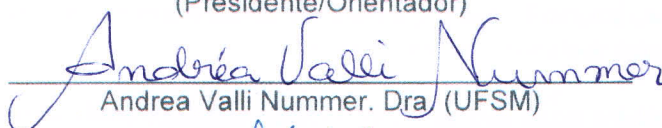
Daniel Junges Menezes

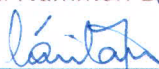
**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ANÁLISE ESPAÇO - TEMPORAL DE
INUNDAÇÕES: APLICAÇÃO NA ÁREA URBANA DE ALEGRETE - RS**

Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geografia, Área de Concentração Análise Ambiental e Dinâmica Espacial, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Geografia**.

Aprovado em 19 de outubro de 2018:

Luís Eduardo de Souza Robaina, Dr.
(Presidente/Orientador)


Andrea Valli Nummer, Dra. (UFSM)



Cárita da Silva Sampaio, Dra. (MPOG)

François Laurent, Dr. (Le Mans Université) - Videoconferência



Romario Trentin, Dr. (UFSM).

**Santa Maria, RS
2018**

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo aporte, apoio, amor e dedicação.
À minha Mãe “Nica”, por ter feito esforços imensos por nossas vidas e por sempre acreditar que, de alguma forma, eu tomaria as decisões que fossem mais certas para minha caminhada.
À minha avó Erna, aos tios Luiz e Liliane e suas famílias. Ao Milton;
Aos meus irmãos e suas famílias.

Ao professor Robaina, que por mais de uma década de trabalho, disponibilizou sua confiança, conselhos, sua amizade e cujas oportunidades, reconhecimento e incentivo serei sempre grato;

Ao professor Romário, por sua imensa disponibilidade e prestatividade, todo apoio e amizade nestes anos de trabalho;

Aos amigos e colegas que fiz nestes anos de LAGEOLAM, por possibilitarem a configuração de um ambiente de trabalho saudável e amistoso desde que ali cheguei e que sempre sentirei falta. Em especial ao Jonatas Aimon, Paula Guadagnin e Fabiano Alves, pelo apoio neste trabalho;

Aos velhos amigos de São Pedro. Aos amigos e colegas de Santa Maria, que de alguma forma estiveram comigo nesta e em outras etapas. Que o companheirismo, mão estendida e alento façam parte de nossos “*recuerdos*” e fiquem para memória como bons momentos vividos;

Aos “velhos” Edy Menezes, meu pai e, Albino “Pruda” Junges, meu avô. In memoriam;

A todos que prestei serviços atrelados à cartografia ou docência nestes últimos anos e cujas oportunidades disponibilizadas me acresceram profissionalmente;

À Universidade Federal de Santa Maria e ao PPGGeo por oportunizarem um ensino de pós graduação gratuito e de qualidade, a CAPES pelo subsídio financeiro durante parte da pesquisa.

Aos servidores da Prefeitura Municipal de Alegrete, pela disponibilidade de informações;

As professoras Andrea Nummer e Carita Sampaio e professor François Laurent, por aceitarem o convite de avaliar e contribuir com a presente pesquisa;

Aos professores, funcionários e demais pessoas da UFSM que foram solidários com informações, materiais ou prestaram qualquer auxílio durante o transcorrer da pesquisa.

A todas as pessoas que dividi e compartilhei momentos, fizeram ou fazem parte de minha vida neste período de doutoramento, o meu mais sincero agradecimento.

*“Era uma vez um planeta mecânico
Lógico, onde ninguém tinha dúvidas
Havia nome pra tudo e para tudo uma explicação
Até o pôr-do-sol sobre o mar era um gráfico*

*Adivinhar o futuro não era coisa de mágico
Era um hábito burocrático, sempre igual
Explicar emoções não era coisa ridícula
Havia críticos e métodos práticos*

*Cá pra nós, tudo era muito chato
Era tudo tão sensato, difícil de aguentar
Todos nós sabíamos decor
Como tudo começou e como iria terminar*

*Mas de uma hora pra outra
Tudo que era tão sólido desabou, no final de um século
Raios de sol na madrugada de um sábado radical
Foi a pá de cal, tão legal*

*Não sei mais de onde foi que eu vim
Por que é que estou aqui
E para onde devo ir
Cá pra nós, é bem melhor assim
Desconhecer o início e ignorar o fim
Da fábula”*

A fábula. (Gessinger, Humberto, 2007)

RESUMO

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ANÁLISE ESPAÇO - TEMPORAL DE INUNDAÇÕES: APLICAÇÃO NA ÁREA URBANA DE ALEGRETE - RS

AUTOR: DANIEL JUNGES MENEZES

ORIENTADOR: LUÍS EDUARDO DE SOUZA ROBAINA

O município de Alegrete, localizado na metade oeste do Estado do Rio Grande do Sul, apresenta uma grande recorrência de inundações. Posicionada junto ao médio curso da bacia hidrográfica e alocada às margens do rio Ibirapuitã, a área urbana de Alegrete é frequentemente afetada por inundações em períodos de extravasamento das águas do rio e de seus tributários, arroios Regalado, Jararaca e Caverá, afetando a sua população. A problemática de pesquisa desta tese de doutorado estrutura-se a partir das inundações na área urbana de Alegrete e na compreensão de sua dinâmica. Apresenta-se uma análise espaço-temporal das áreas de risco de inundação na área urbana de Alegrete a partir de diferentes cenários de inundação. Foi caracterizado o comportamento das cotas do rio Ibirapuitã e a sua relação com a dinâmica temporal e probabilística de ocorrência dos eventos de inundação. Espacializou-se o perigo de inundação para área urbana a partir da modelagem digital do terreno, em perspectiva de diferentes tempos de retorno e analisado uso e ocupação do espaço urbano e vulnerabilidade determinando-se o número de edificações afetadas e suas características, a partir de dados primários e secundários. A partir desta rotina foi realizada a hierarquização das áreas de risco associadas a inundações, com base no perigo e elementos expostos. A análise estatística descritiva e inferencial permitiu estabelecer como comportam-se as cotas do rio Ibirapuitã, ao longo da série de 74 anos ou, em períodos específicos, como durante as inundações, sendo possível estabelecer o nível médio das águas ao longo da série, cotas máximas e mínimas registradas, além da análise dos dados também considerando-se as variações mensais e sazonais. Foi considerada a medida linimétrica de 840 mm como referência para inundação. Este valor foi estabelecido considerando-se o levantamento de campo realizado junto à estação linimétrica e também informações da Coordenadoria de Defesa Civil do Município de Alegrete. Foram apontadas relações empíricas e estatísticas entre recorrência, exposição e risco, para áreas aquém da cota de 82 metros na área urbana, considerando-se edificações afetadas e população. Por meio de geotecnologias e técnicas de modelagem digital do terreno foi realizada a proposição dos seguintes cenários associados à ocorrência de inundações: Cenário de áreas suscetíveis; Cenário das áreas perigo de inundação; Cenário de inundação conforme tipologias de uso do solo urbano; Cenário da vulnerabilidade de inundação; Cenário de risco de inundação; Contingente atingido por inundações.

Palavras-chave: Análise de Risco; Inundações; Alegrete; Geotecnologias.

ABSTRACT

METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR SPACE - TEMPORAL FLOOD ANALYSIS: APPLICATION IN THE URBAN AREA OF ALEGRETE - RS

**AUTHOR: DANIEL JUNGES MENEZES
ADVISOR: LUÍS EDUARDO DE SOUZA ROBAINA**

The municipality of Alegrete, located in the west of the State of Rio Grande do Sul, presents a great recurrence of floods. Positioned near the middle course of the hydrographic basin and located on the banks of the Ibirapuitã River, the urban area of Alegrete is frequently affected by floods during periods of overflowing the river and its tributaries, Regalado, Jararaca and Caverá streams, affecting its population. The research problem of this doctoral thesis is structured from the floods in the urban area of Alegrete and in the understanding of its dynamics. A spatiotemporal analysis of flood risk areas in the urban area of Alegrete is presented from different flood scenarios. It was characterized the behavior of the Ibirapuitã river basin and its relationship with the temporal and probabilistic dynamics of the occurrence of flood events. Special attention was given to the danger of flooding to urban areas from the digital terrain modeling, in perspective of different times of return and analyzed the use and occupation of urban space and vulnerability by determining the number of affected buildings and their characteristics, from primary and secondary data. From this routine was performed the hierarchy of risk areas associated with floods, based on the hazard and exposed elements. The descriptive and inferential statistical analysis allowed us to establish how the Ibirapuitã river basins behave throughout the 74-year series or during specific periods, such as during floods, and it is possible to establish the mean water level throughout the series, maximum and minimum recorded, in addition to the data analysis also considering the monthly and seasonal variations. The limnometric measurement of 840 mm was considered as reference for flooding. This value was established considering the field survey conducted at the limnometric station and also information from the Civil Defense Coordination of the Municipality of Alegrete. Empirical and statistical relationships between recurrence, exposure and risk were identified for areas below the 82 meter elevation in the urban area, considering affected buildings and population. By means of geotechnologies and techniques of digital terrain modeling, the following scenarios were proposed for the occurrence of floods: Scenario of susceptible areas; Scenario of flood hazard areas; Flood scenario according to typologies of urban land use; Flood vulnerability scenario; Flood risk scenario; Contingent hit by floods

Key-words: Risk analysis; Floods; Alegrete; Geotechnology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã.	34
Figura 2 - Rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã.....	35
Figura 3 - Hipsometria da bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã.	36
Figura 4 - Declividades da bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã.	38
Figura 5 - Geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã.....	40
Figura 6 - Tipologias climáticas do RS.	41
Figura 7 - Distrito sede / área urbana de Alegrete.....	45
Figura 8 - Pirâmide etária de Alegrete - RS.....	47
Figura 9 - Evolução da população de Alegrete entre 1970 e 2010.....	48
Figura 10 - Dados assimétricos positivos e assimétricos negativos.....	95
Figura 11 - (a) Direções de fluxo possíveis para um determinado pixel. (b) Direção de fluxo escolhida em função da maior declividade entre o pixel central e os vizinhos	105
Figura 12 - Estação fluviométrica “ALEGRETE” (código 76750000).....	109
Figura 13 - Mapa dos perfis traçados na obtenção do levantamento altimétrico das áreas inundáveis.	121
Figura 14 - Interpolador Topo to Raster e feições Interpoladas.	123
Figura 15 - Dispersão dos erros /resíduos do MDT em relação à média.	121
Figuras 16 - (a) Medições dos níveis do rio na estação e (b) junto às margens.	126
Figura 17 - Águas do rio Ibirapuitã avançam sobre da área urbana de Alegrete - dezembro de 2015.	132
Figura 18 - Cálculo do nível de submersão de áreas inundáveis.....	139
Figura 19 - Histograma de frequências do registro de cotas máximas diárias.	153
Figura 20 - Curva de permanência para as cotas máximas diárias do rio Ibirapuitã.	154
Figura 21 - Ocorrência anual de inundações de 1941 a 2014.....	155
Figura 22 - Ocorrência mensal de inundações de 1941 a 2014.....	155
Figura 23 - Histograma de frequência da duração dos processos de inundação em dias.....	157
Figura 24 - Duração dos processos de inundação em dias e cotas máximas atingidas.....	158
Figura 25 - Histograma de frequências do registro de cotas máximas anuais.	160
Figura 26 - Cotas e médias e máximas rio Ibirapuitã ao longo da série 1941 - 2014.	161
Figura 27 - Modelos de distribuição de probabilidade para Tempos de Retorno no rio Ibirapuitã.....	165
Figura 28 - Gráficos quantil-quantil (QQ-Plot) para os modelos de distribuição probabilísticos.	166
Figura 29 - Mapa de áreas suscetíveis a inundação na área urbana de Alegrete - RS.	169
Figuras 30 - (a) Rio Ibirapuitã e (b) área inundável do arroio Regalado.....	171
Figura 31 - Mapa de tempos de retorno para inundações para a área urbana de Alegrete - RS.....	175
Figura 32 - Mapa de níveis de submersão da área urbana de Alegrete - RS	176
Figura 33 - Mapa de perigo de inundação para a área urbana de Alegrete - RS....	179
Figura 34 - Distribuição percentual dos setores por índice de vulnerabilidade calculado.	183

Figura 35 - Setores com diferentes índices de vulnerabilidade. Inferior a 0,4 (a) e entre 0,7 e 0,8 (b).	184
Figura 36 - Mapa de vulnerabilidade por setores a área urbana de Alegrete - RS.	185
Figura 37 - Mapa de uso das edificações em áreas suscetíveis a inundação na área urbana de Alegrete - RS.	189
Figura 38 - (a) Uso comercial em área inundável e (b) estação de tratamento de resíduos na porção norte da área urbana.	192
Figura 39 - (a) Residências de vulnerabilidade média no bairro Promorar e (b) de baixo padrão junto às margens do rio.	193
Figura 40 - Mapa de vulnerabilidade a inundação para a área urbana de Alegrete - RS.	195
Figura 41 - Mapa da densidade demográfica por setores censitários na área urbana de Alegrete - RS.	199
Figura 42 - Representação do Risco quantitativo em função do Perigo (TR) e Vulnerabilidade.	205
Figura 43 - Mapa de risco de inundação da área urbana de Alegrete - RS.	207
Figura 44 - Mapeamento de risco de inundação - trecho meandro norte.	213
Figura 45 - Residência afetada no bairro Canudos, risco médio.	214
Figura 46 - Residência próxima ao rio e afetada no bairro Rui Ramos, risco muito alto.	215
Figura 47 - Mapeamento de risco de inundação - trecho meandro oeste.	217
Figura 48 - Rua Barão do Amazonas, em 1959 (a) e 2015(b).	219
Figura 49 - Alcance de 2,30 metros da inundação no Bairro São João, em 2015.	219
Figura 50 - Moradias afetadas no bairro Renascer.	221
Figura 51 - Mapeamento de risco de inundação - Trecho meandro sul.	222
Figura 52 - Perfil no bairro Ibirapuitã. Perigo e vulnerabilidade aumentam em direção ao rio.	224
Figura 53 - Loteamento construído junto a área plana do rio (a) e área afetada em 2015 (b).	225
Figura 54 - Mapeamento de risco de inundação - Trecho meandro leste.	226
Figura 55 - Arroio Caverá (a) e aterros junto à margem esquerda do arroio (b).	227
Figura 56 - Mapeamento de risco de inundação - trecho Ibirapuitã/Caverá.	229
Figura 57 - Mapeamento de risco de inundação - trecho Ibirapuitã/Jararaca.	232
Figura 58 - Residências que são consecutivas à área inundável do arroio Regalado no bairro Santo Antônio (a) e área que caracteriza edificações de risco médio no bairro Macedo (b).	234
Figura 59 - Mapeamento de risco de inundação - Ibirapuitã/Regalado.	235
Figura 60 - Intervenções junto ao Regalado (a) e drenagem que atravessa os bairros Vera cruz e Sepé Tiarajú (b).	237
Figura 61 - Mapeamento de risco de inundação - Processo Regalado montante.	238
Figura 62 - Áreas de vulnerabilidade muito alta (a) e áreas menos vulneráveis, distantes do arroio (b).	240
Figura 63 - Mapeamento de risco de inundação - Processo Regalado montante.	242
Figura 64 - Arroio Caverá (a) e aterros junto à margem esquerda do arroio (b).	243

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Evolução dos paradigmas dos perigos ambientais.	52
Quadro 2 - Etapas de gerenciamento de desastres.	82
Quadro 3 - Métodos para obtenção dos parâmetros das distribuições de probabilidade.....	115
Quadro 4 - Valores críticos da estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov em função da dimensão da amostra, N, e do nível de significância, α , DN, α	118
Quadro 5 - Graus de vulnerabilidade.	147
Quadro 6 - Graus de risco de inundação em função do perigo e vulnerabilidade. ...	148
Quadro 7 - Cotas máximas anuais registradas justo ao rio Ibirapuitã no período 1941 a 2014.	160

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Inconsistências verificadas na estação fluviométrica 76750000 nas medições diárias no período 1941 a 2014.	110
Tabela 2 - Cotas diárias no período 1941 a 2014 na estação fluviométrica 76750000.	112
Tabela 3 - Resíduos obtidos na relação nível linimétrico e cota altimétrica.	128
Tabela 4 - Sumário estatístico -Relação nível linimétrico e cota altimétrica.	129
Tabela 5 - Sumário estatístico - linha de inundação ano de 2015.	133
Tabela 6 - Linha de inundação medidas e estimadas em função do nível de inundação.	133
Tabela 7 - Sumário estatístico - linha de inundação.	134
Tabela 8 - Teste t de significância para os dados pareados para cotas de inundação.	135
Tabela 9 - Informações utilizadas para análise da vulnerabilidade.	141
Tabela 10 - Informações utilizadas para análise da vulnerabilidade por setores censitários.	143
Tabela 11 - Agrupamento e pesos utilizados para análise da vulnerabilidade por setores censitários.	143
Tabela 12 - Agrupamento e pesos utilizados para análise da vulnerabilidade por setores uso.	145
Tabela 13 - Sumário estatístico - Cotas diárias do rio Ibirapuitã.	152
Tabela 14 - Inundações/registros de cotas maiores ou iguais a 840 mm.	154
Tabela 15 - Sumário estatístico - Cotas máximas do rio Ibirapuitã.	159
Tabela 16 - Sumário estatístico - Cotas diárias do rio Ibirapuitã.	163
Tabela 17 - Resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov para as distribuições de probabilidade.	167
Tabela 18 - Sumário estatístico - Cotas diárias do rio Ibirapuitã.	172
Tabela 19 - Perigo em função de diferentes TR e extensão da área afetada.	181
Tabela 20 - Tipos de uso das edificações por processo e TR.	187
Tabela 21 - Tipos de uso das edificações por classe de vulnerabilidade.	191
Tabela 22 - População afetada por tipos de uso das edificações por processo e TR.	197
Tabela 23 - População afetada por graus de vulnerabilidade, por processo e TR.	201
Tabela 24 - População afetada por graus de vulnerabilidade e tipo de uso.	203
Tabela 25 - Total de edificações e população exposta por graus de risco.	210
Tabela 26 - Total de edificações e população exposta por graus de risco - trecho meandro norte.	212
Tabela 27 - Total de edificações e população exposta por graus de risco - trecho meandro oeste.	215
Tabela 28 - Total de edificações e população exposta por graus de risco - trecho meandro sul.	220
Tabela 29 - Total de edificações e população exposta por graus de risco – trecho meandro leste.	225
Tabela 30 - Total de edificações e população exposta por graus de risco - trecho Ibirapuitã/Caverá.	228
Tabela 31 - Total de edificações e população exposta por graus de risco - trecho Ibirapuitã/Jararaca.	230

Tabela 32 - Total de edificações e população exposta por graus de risco - trecho Ibirapuitã/Regalado..... 233

Tabela 33 - Total de edificações e população exposta por graus de risco - processo Regalado montante. 239

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
BHRI	Bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã
APG	Atividade de Pós-Graduação
COBRADE	Codificação Brasileira de Desastres
CODAR	Codificação de Desastres, Ameaças e Riscos
CONPDEC	Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil
COREDE	Conselho Regional de Desenvolvimento
CRED	<i>Centre for Research on the Epidemiology of Disasters</i>
FEE	Fundação de Economia e Estatística
EM-DAT	<i>Emergency Events Database</i>
GCC	Geociências
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Position System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IECA	<i>Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales</i>
IUGS	<i>Internacional Union of Geological Sciences</i>
KM	Quilômetro
KM ²	Quilômetro Quadrado
LAGEOLAM	Laboratório de Geologia Ambiental
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital do Terreno
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
OMS/ONU	Organização Mundial de Saúde
PEC-PCD	Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais
PMA	Prefeitura Municipal de Alegrete
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PPG GEO	Programa de Pós-Graduação em Geografia
RS	Rio Grande do Sul
SEMA	Secretaria Estadual de Meio Ambiente
SNDC	Secretaria Nacional de Defesa Civil
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TR	Tempo de retorno
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria

UGI

USGS

UTM

União Geográfica Internacional

United States Geological Survey

Universal Transversal de Mercator

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
1.1 PROBLEMÁTICA DE PESQUISA	31
1.2 OBJETIVO GERAL	31
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	33
2.1 A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IBIRAPUITÃ (BHRI)	33
2.2 CONFORMAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ALEGRETE E ÁREA URBANA	42
3 ÁREAS DE RISCO ASSOCIADAS A INUNDAÇÕES: CONCEITOS E ABORDAGENS	49
3.1 DESASTRES NATURAIS	50
3.1.1 Perigo	55
3.1.2 Vulnerabilidade	58
3.1.3 Risco	67
3.2 AS INUNDAÇÕES	70
3.3 A OCUPAÇÃO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS E DANOS ASSOCIADOS A INUNDAÇÕES	74
3.4 GERENCIAMENTO DE INUNDAÇÕES	78
3.5 MAPEAMENTO E ANÁLISE ESPACIAL DE RISCO DE INUNDAÇÃO	83
3.6 VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS NO ESTUDO DE INUNDAÇÕES	90
3.6.1 A análise estatística descritiva em inundações	94
3.6.2 O estudo de probabilidades em inundações.	96
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	103
4.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO	104
4.1.1 Delimitação e caracterização da bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã	104
4.1.2 Informações socioeconômicas e históricas	107
4.2 ANÁLISE DA DINÂMICA TEMPORAL DAS INUNDAÇÕES	107
4.2.1 Inventário de registro de eventos	107
4.2.2 Análise da série histórica das cotas do rio Ibirapuitã	108
4.2.3 Determinação do Tempos de Retorno (TR) das inundações	114
4.3 OBTENÇÃO DO MODELO DIGITAL DO TERRENO DA ÁREA URBANA DE ALEGRETE	119
4.4 ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DAS INUNDAÇÕES	126
4.4.1 Relação cota e área inundada	126
4.4.2 Espacialização das áreas inundadas	129
4.5 DETERMINAÇÃO DO PERIGO DE INUNDAÇÃO	137
4.6 DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE	140
4.6.1 A vulnerabilidade por setor censitário	142
4.6.2 A vulnerabilidade em função do uso	144
4.6.3 Índice de Vulnerabilidade	146
4.7 ANÁLISE DO RISCO DE INUNDAÇÃO	147
5 A DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DAS INUNDAÇÕES NA ÁREA URBANA DE ALEGRETE	151
5.1 AS INUNDAÇÕES A PARTIR DA SÉRIE HISTÓRICA DO RIO IBIRAPUITÃ	152
5.2 O ESTUDO DAS MÁXIMAS ANUAIS E ESTIMATIVA DE TEMPOS DE RETORNO	159
5.3 AS ÁREAS SUSCETÍVEIS E O PERIGO DE INUNDAÇÃO	167

5.4 VULNERABILIDADE DIANTE INUNDAÇÕES NA ÁREA URBANA DE ALEGRETE	182
5.5 O RISCO DE INUNDAÇÃO NA ÁREA URBANA DE ALEGRETE	203
6 CONCLUSÕES	245
REFERÊNCIAS	253
ANEXO A - CADASTRO MUNICIPAL DE IMÓVEIS DE ALEGRETE	267

1 INTRODUÇÃO

Ao considerar os períodos mais pretéritos que remetem à história dos grupos civilizatórios, os processos naturais atrelados às dinâmicas, interna e externa do planeta, são observados ou sentidos e exercem fascínio sobre as sociedades. Estas os reverenciavam, temiam ou os interpretavam, conforme suas respectivas crenças, aspectos culturais, noções e conhecimentos. Isto fez com que, durante muito tempo, fenômenos da natureza, tais como os tremores de terra, sismos, marés, as alternâncias nas precipitações e dos regimes dos rios, fossem vistos na ótica dos misticismos e simbolismos.

Da mesma forma, a natureza, então vista como fonte de recursos, quando seus processos e dinâmicas apresentavam-se como desencadeadores de avarias ou responsáveis por impactos danosos às atividades humanas, remetia à punições ou castigos divinos. Atribuía-se aos desastres naturais um aspecto fatalista, cercado de inevitabilidade e estes denotavam, muitas vezes, um caráter passivo da sociedade em relação à natureza. No entanto, como enfatiza Lavell (2000) a natureza é neutra, não experimenta motivações ou sentimentos, não castiga e não é bondosa e sofre alterações que mudam sua própria natureza, transformando-se com o passar do tempo.

Nas sociedades modernas, há uma nova concepção destas relações entre natureza e sociedade, imperando a premissa de que a primeira pode e deve ser entendida, seus processos e dinâmicas compreendidos e, então, dominada, havendo uma perspectiva de exteriorização desta natureza.

Beck (1986) lembra que este contraste entre a natureza e a sociedade é uma construção do século XIX, a fim de dominar e ignorar a natureza. No final do século XX a natureza estava subjugada, passando de um fenômeno externo para um fenômeno interno, deixando de ser um fenômeno dado para ser um fenômeno produzido. Como resultado da sua transformação técnico-industrial e sua mercantilização em todo o mundo, a natureza foi incluída no sistema industrial e ao mesmo tempo, tornou-se um pressuposto insuperável do modo de vida no sistema industrial. “O reverso da *natureza socializada* é a socialização da destruição da natureza, a sua transformação em ameaças sociais, econômicas e políticas” (BECK, 1986, p.14).

Os grupos humanos que apresentavam tecnologias mais brandas e adaptadas às condições e ritmos da natureza, eram pouco abrangentes em relação aos diferentes atributos da organização natural dos espaços físicos e ecológicos. Por sua vez, as comunidades participantes do mundo urbano-industrial e associadas a agrossistemas modernos modificaram a natureza em larga escala. A concentração de homens e atividades em setores do espaço, aumentou a complexidade de problemas ambientais e sociais, remetendo à concentração de interferências na dinâmica natural e também de bolsões de pobreza (AB´SABER; MULLER - PLANTEMBERG, 2006).

Em resposta às intervenções antrópicas, a natureza em necessidade de atingir seu equilíbrio e respeitando sua própria dinâmica, manifesta-se por meio de fenômenos naturais. Em áreas onde há a ocupação ou interesse humano, estes fenômenos podem resultar em desastres naturais. Desta maneira, o desenvolvimento de grandes aglomerados urbanos juntamente como um grande crescimento e adensamento demográfico, característicos do século XX, ocasionaram profundas alterações na relação sociedade/natureza.

Sendo assim, Nunes (2015) coloca que a “vingança divina ou da natureza”, ou a imprevisibilidade dos fenômenos, premissas que eram usadas no passado para justificar a ausência de medidas eficazes e a continuidade de práticas que conduzem aos desastres, não podem mais ser usadas, principalmente em função do crescimento das calamidades.

Todavia, ao mesmo tempo que temos estas trocas e ressignificações quanto à percepção da conjuntura dos desastres, há um aumento da ocorrência destes. De acordo com dados do EM-DAT (*Emergency Events Database*), vinculado ao CRED (*Centre for Research on the Epidemiology of Disasters*), há um crescimento substancial no número de registros de desastres naturais a partir da segunda metade do século passado. Comportam-se da mesma maneira os dados que referem-se ao número de afetados, desabrigados e ainda a contabilização dos danos econômicos em função de desastres naturais. Nesta análise, deve ser observado que muitos dos eventos adversos no passado não eram registrados e que os avanços tecnológicos e informacionais que se estabeleceram nas últimas décadas, permitiram uma maior difusão de acontecimentos em escala global e também um maior conhecimento e armazenamento de informações e dados a respeito da ocorrência de desastres naturais.

No entanto, tal panorama se estabelece em função do aumento populacional mundial, que paralelo à intensificação do processo de urbanização, implicou na exposição de um número maior de pessoas e, conseqüentemente, de potenciais afetados. Mudanças climáticas e desequilíbrios ambientais ocorridos em diferentes escalas, somadas às estruturas econômicas e sociais excludentes e desiguais, também tem contribuído para o aumento do número de desastres e para a intensificação de suas conseqüências.

Esta condição é mais marcante nos países em desenvolvimento onde, de maneira geral, o crescimento demográfico e o processo de urbanização, não se deram combinados com ações estruturantes e capazes de minimizar seus efeitos adversos. Nesta perspectiva, o aumento do número de desastres naturais, assim como o aumento da magnitude e de suas conseqüências estão profundamente associados a circunstâncias de ocupação do espaço, muitas vezes alheias às características naturais dos ambientes e alheias às possibilidades e probabilidades de eventuais perigos que estas características possam representar.

Tal conjuntura torna-se inegável quando observado as áreas de risco associadas às inundações, uma das mais frequentes tipologias de desastres naturais. Desencadeadas por fenômenos naturais, são agravadas ou refletem a falta de planejamento na ocupação de porções do espaço que são sujeitas a estes processos naturais. Quando subjugado ou desconhecido o potencial perigo que estes processos naturais podem desencadear, temos como resultantes prejuízos sociais, econômicos e ambientais.

As inundações corresponderam a 33% das ocorrências de desastres naturais registradas no país, superadas apenas por desastres associados às estiagens e à seca, conforme apontam os dados do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (UFSC/CEPED, 2012), sendo contabilizados dados desde 1991 até o ano de 2010. O número de pessoas diretamente expostas (deslocados, desabrigados ou desalojados) por desastres de origem hidrológica (inclusos também os alagamentos) é superior a 4,1 milhões de pessoas, 67% dos diretamente expostos por desastres naturais no Brasil.

Não destoando do panorama mundial, onde as inundações corresponderam à 2/5 dos desastres naturais registrados e respondem por 56% dos afetados nas últimas duas décadas, conforme dados do CRED (2014), temos uma tendência

crescente no número de desastres oficialmente registrados no Brasil que são vinculados à ocorrência de inundações.

Inerentes a este contexto, estão estabelecidas grande parte das áreas de risco do Brasil. Elementos e condicionantes naturais, tais como as irregularidades nos regimes pluviométricos e uma vasta rede hidrográfica, propiciam a ocorrência de desastres naturais associados à dinâmica hidrometeorológica. Muitas cidades desenvolveram-se às margens dos rios, por onde se desenvolvia o transporte de mercadorias e pessoas, alterando-se um pouco esta relação com a implantação de ferrovias e rodovias. Assim, a presença de inundações é antiga, datando do início da instalação de muitas cidades.

Da mesma forma, o crescimento urbano que em outras partes do mundo, como na Europa e América do Norte, estendeu-se por mais de um século e meio, no Brasil ocorreu de forma acelerada, trazendo consigo severas consequências de ordem social e quanto à infraestrutura e ocupação do espaço. Consolidado em meados da década de 60, este processo de urbanização acabou por negligenciar uma série de demandas ligadas a organização e planejamento territorial compatíveis com a expansão urbana, como políticas urbanas de uso e ocupação do solo.

A menor oferta e consequente valorização do solo urbano, deslocou parcelas significativas da população mais pobre para terrenos menos valorizados, sujeitos a restrições legais ou sujeitos a perigos potenciais, como áreas adjuntas aos rios. A interação entre assentamentos alocados em áreas suscetíveis a processos naturais e um quadro vulnerável, marcado pela pouca resiliência ou capacidade de intervenção, aumentam a exposição a riscos. Como consequência, as inundações têm acarretado consideráveis prejuízos de ordem social e econômica, comprometem o bem-estar da população, sendo que a exposição a tais riscos afeta o desenvolvimento local e caracteriza-se como um grande fardo, principalmente às populações mais vulneráveis.

Compõem ainda este complexo panorama de risco, a não inclusão ou a insuficiência de conhecimento do meio físico e dos processos naturais nos planos diretores, que implicam na aprovação de loteamentos legalmente implantados e legitimados pelo poder público. A falta de uma fiscalização eficaz e de critérios claros na gestão territorial na legislação urbanística fazem com que, além da expansão dos assentamentos precários, mais pessoas e atividades sejam situadas em áreas perigosas.

Deve ser apreciado ainda, que o risco é intimamente associado às dinâmicas socioeconômicas específicas de cada contexto social. A dimensão e intensidade do mesmo são diferentes em contextos diversos, assim como o nível de aceitação, a adesão às medidas de mitigação e a capacidade de intervir na gestão, são igualmente diversas (FIGUEIREDO et al., 2004). Logo, a análise de componentes de vulnerabilidade se fazem fundamentais na análise dos riscos de inundação.

Da mesma forma, inerente à apreciação da dinâmica de uma inundação, está a compreensão de sua dinâmica espaço-temporal, enquanto processo. A parcela do leito maior de um rio, que é ocupada pela população, sempre dependeu da memória dos habitantes e da frequência com que as inundações ocorriam. Uma sequência de anos sem inundação faz com que a sociedade intensifique a ocupação do leito maior do rio (TUCCI, 2005).

Sendo assim, a determinação de estimativas de tempo de retorno e abrangência espacial das inundações, são fundamentais. A análise de variáveis hidrológicas, tais como o comportamento da série histórica de cotas fluviométricas de um rio, sua distribuição temporal e espacial, constituem informações importantes para a compreensão da dinâmica das inundações. Da mesma forma, a evidência dos danos causados pelos processos associados à dinâmica fluvial e o aumento da ocupação de áreas sujeitas a estes processos, tem fomentado discussões a respeito da redução dos riscos.

Isto tem direcionado a uma demanda de conhecimento detalhado das áreas afetadas por inundações, tanto em áreas que careçam de planejamento territorial e restrições de usos, como em áreas onde o risco já está estabelecido. Este fomento pode ser considerado oportuno, uma vez que os desastres naturais passam a destacar-se na agenda científica e governamental do país. São exemplos a Lei n.12.608, de 10 de abril de 2012, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) e a criação de um sistema de previsão de ocorrência de desastres naturais em áreas suscetíveis de todo o país, por meio do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN), vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e do Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), do Ministério de Integração Nacional.

Neste sentido, identificar locais potencialmente suscetíveis deve envolver a análise dos eventos adversos ocorridos no passado e, ao mesmo tempo, avaliar a

sua frequência e magnitude. O uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permitem a modelagem digital do terreno e a espacialização das áreas inundáveis. Dados ou representações que espacializam a vulnerabilidade, permitem a análise das áreas mais expostas e permitem verificar o contexto espacial e temporal no qual se diferem os danos e consequências sociais de um desastre.

A possibilidade de integrar e cruzar dados permite analisar e hierarquizar as áreas risco e, podem formar a base para a tomada decisões, ordenamento do território e facilitar a adoção de ações para a minimização dos danos e da frequência de inundações nos locais mapeados. Estas análises visam também evitar a conversão de áreas suscetíveis em novas áreas de risco, o que aumenta a impermeabilização do solo, causando o aumento do volume de águas na rede pluvial, provocando avarias em áreas já urbanizadas, além do aumento do contingente populacional exposto a eventos adversos.

Desta maneira, a abordagem do risco associado a inundações, demanda uma perspectiva integradora que englobe natureza, humanidade e processos. Neste sentido, Veyret (2007) destaca a Geografia que aborda as relações sociais e as traduções espaciais presentes no risco. A Geografia aborda as interações entre sociedade e natureza de forma espacialmente localizada e atribui grande valor aos lugares, os seus habitantes e suas características, para compreensão dos desastres naturais, e estuda estes processos observando as suas consequências (REBELO, 2008; CUTTER et al., 2008)

Neste contexto, deve ser considerado que cada local apresenta suas particularidades quanto aos processos que devem ser analisados sob perspectiva do risco. As inundações afetam as distintas regiões do país de maneira diversa, tanto do ponto de vista da frequência quanto da distribuição ao longo do ano e na forma como estes processos atingem e população.

O Rio Grande do Sul, por suas características climáticas e um histórico processo de ocupação junto aos rios, está entre os estados brasileiros onde as inundações são frequentes e constituem-se em fenômenos naturais conhecidos pela população (BERTÊ, 2004; ROBAINA e TRENTIN, 2013; GUASSELLI et. al, 2013; WOLLMANN, 2014). A considerar os registros entre o período de 1980 a 2010, 85% dos municípios gaúchos apresentaram ao menos um registro de inundação (MENEZES e SCCOTI, 2013).

Dentre os municípios gaúchos que apresentam uma grande recorrência e uma grande quantidade de registros de inundações, está o município de Alegrete (RECKZIEGEL, 2007; BRITO et al., 2011; MENEZES e SCCOTI, 2013; SAUSEN e REIS, 2013). Considerando-se somente o período entre 1980 e 2010, Menezes e Sccoti (2013) apontaram 39 registros, sendo 22 dos 31 anos analisados marcados pela ocorrência de inundações. Posicionada junto ao médio curso da bacia hidrográfica e alocada às margens do rio Ibirapuitã, a área urbana de Alegrete é frequentemente atingida em períodos de extravasamento das águas do rio e de seus tributários. São recorrentes os eventos, estendendo-se por grande parte do sítio urbano e afetando a sua população, conforme apontam os trabalhos realizados por Silva (2011), Kormann et al. (2011) e Robaina et al. (2013).

Portanto, as inundações na área urbana de Alegrete, suas características e a frequência com que ocorrem os processos, como estes espacializam-se e como atingem os elementos expostos, figuram-se como uma temática de pesquisa com grande potencial a ser explorada, estudada e compreendida a partir do viés geográfico.

1.1 PROBLEMÁTICA DE PESQUISA

A problemática de pesquisa da presente tese de doutorado estrutura-se a partir da questão central: Considerando frequência, magnitude e população afetada, como se espacializa o risco de inundação na área urbana de Alegrete?

1.2 OBJETIVO GERAL

Estabelecer uma análise espaço-temporal das áreas de risco na área urbana de Alegrete a partir de diferentes processos de inundação.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o comportamento das cotas do rio Ibirapuitã e a sua relação com a dinâmica temporal e probabilística de ocorrência dos eventos de inundação;
- Espacializar o perigo de inundação para área urbana sob perspectiva de diferentes tempos de retorno;

- Analisar o uso e ocupação do espaço urbano, a vulnerabilidade e determinar o número de edificações afetadas, suas características e a população atingida.
- Estabelecer a hierarquização do risco associado a inundações com base no perigo e elementos expostos.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Caracterizar a área de estudo apresenta-se como uma tarefa intrínseca a um trabalho de pesquisa. Tal diagnóstico, ainda que preliminar, é de suma importância para uma melhor compreensão das dinâmicas e relações que ocorrem neste espaço a partir das diferentes escalas que os processos podem ser analisados.

Desta maneira, este capítulo busca caracterizar a área urbana de Alegrete enquanto seus aspectos geográficos, históricos e locacionais e de como se dá a sua configuração espacial. No entanto, anterior às descrições relacionadas ao sítio urbano, área de estudo desta pesquisa, a caracterização da bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã (BHRI) torna-se fundamental, pois as inundações enquanto processos ocorrem e devem ser analisadas também neste contexto espacial.

2.1 A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IBIRAPUITÃ (BHRI)

A bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã está localizada na porção oeste do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), sendo um dos principais tributários da margem esquerda do rio Ibicuí, maior e principal rio que compõem a chamada região hidrográfica do rio Uruguai (SEMA, 2010), que drena as porções oeste e norte do estado.

O sistema hidrográfico formado pelo rio Ibirapuitã, juntamente com seus afluentes, drena uma área de 7978,7 km² que se estende a partir dos divisores d'água ao sul, que marcam a fronteira do Rio Grande do Sul com a República Oriental do Uruguai, até a sua desembocadura junto ao rio Ibicuí, na direção norte.

A bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã, do médio ao baixo curso, drena áreas do município de Alegrete. Está situada no território do município de Santana do Livramento, em seu alto curso, e dos municípios de Quaraí e Rosário do Sul, respectivamente, nas porções oeste e leste da bacia hidrográfica.

Figura 1 - Localização da Bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã.

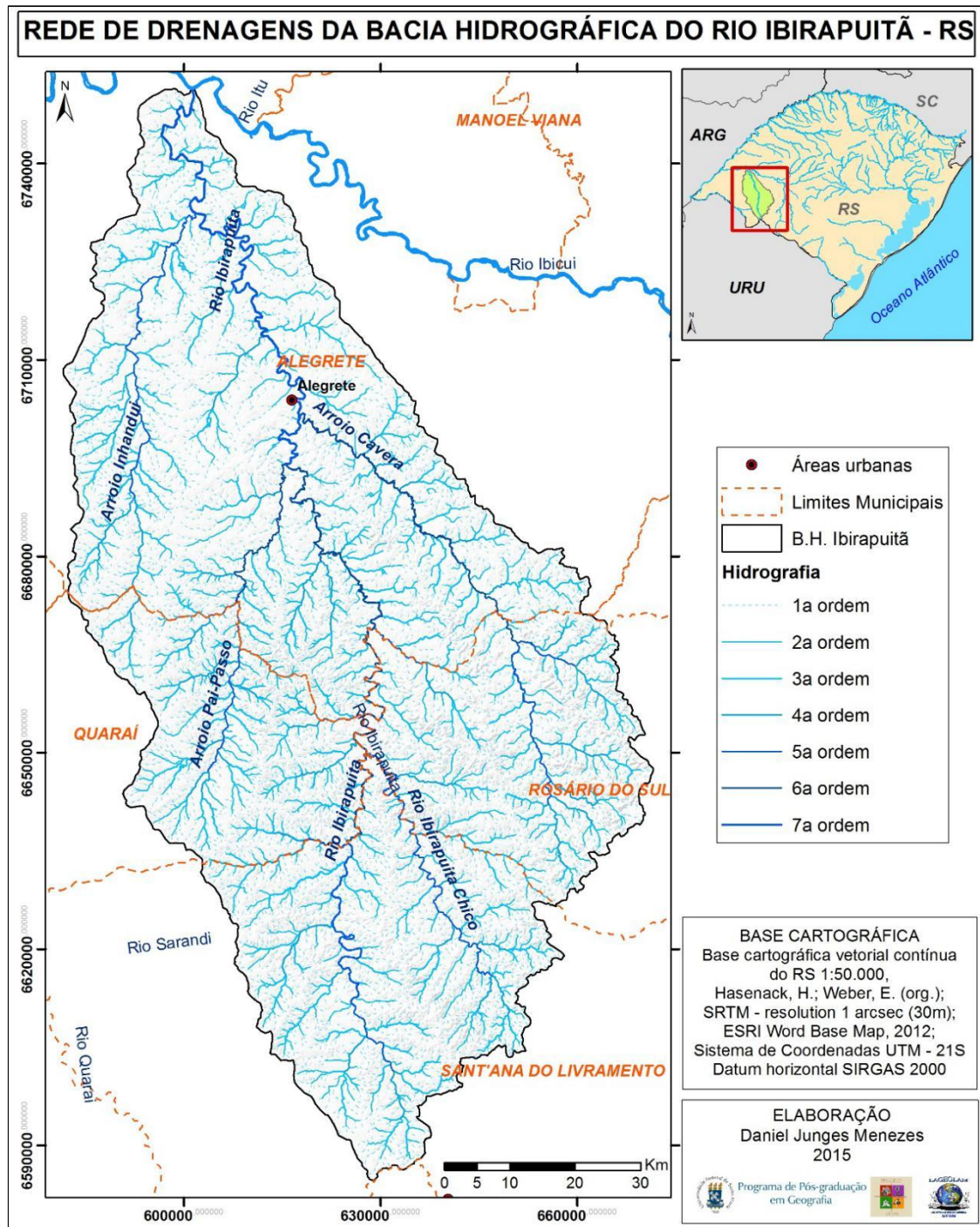


Org.: Menezes (2018).

O rio Ibirapuitã caracteriza-se como um rio de 7ª ordem e tem comprimento aproximado de 275 km. Apresenta como principais tributários o rio Ibirapuitã Chico (5ª ordem), sendo um dos seus primeiros afluentes, o arroio Pai-Passo (6ª ordem), afluente da margem esquerda, o Arroio Caverá (6ª ordem), tributário da margem direita e que drena significativa parte da porção leste da bacia hidrográfica e, o Arroio Inhanduí, tributário da margem esquerda e que deságua no Ibirapuitã nas proximidades da sua foz, junto ao Ibicuí, conforme mostra a Figura 2. Somam-se a estes cursos d'água citados, uma grande quantidade de arroios e sangas de menor

ordem, perenes e intermitentes, contabilizando um comprimento total de drenagem superior a 9.060 km.

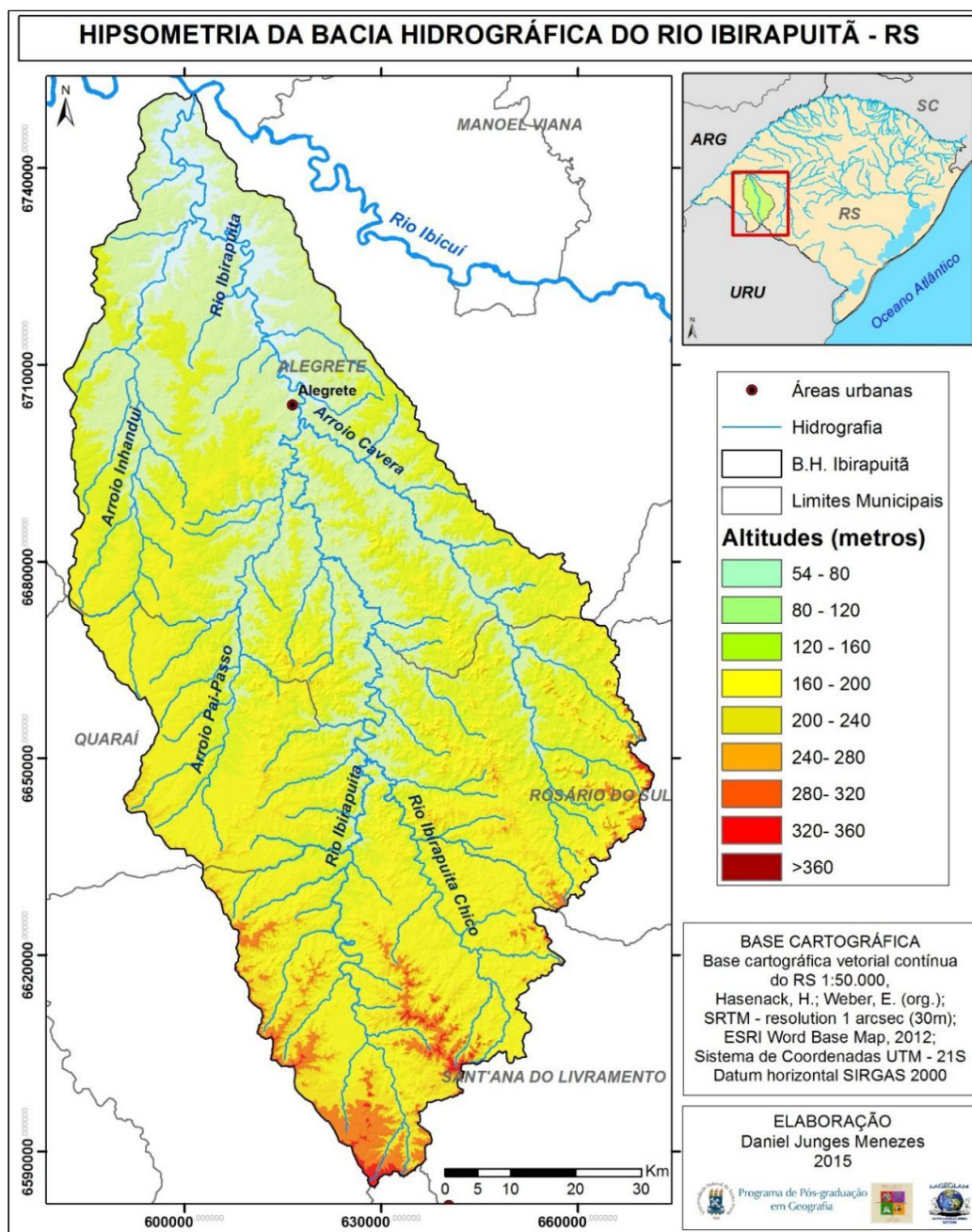
Figura 2 - Rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã.



Org.: Menezes (2018).

Quanto à análise e distribuição espacial da altimetria na bacia hidrográfica, as porções mais elevadas são encontradas juntos as divisores d'água localizados na porção sul, conforme pode ser observado no mapa hipsométrico (Figura 3). Estas porções caracterizam os interflúvio entre as bacias hidrográficas dos rios Quaraí, ao oeste e Santa Maria, a leste.

Figura 3 - Hipsometria da bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã.



Caracteriza-se uma amplitude altimétrica de 320 metros, associada à variação estabelecida entre a cota de 54 metros, nas proximidades da confluência do rio Ibirapuitã com o rio Ibicuí e, os 374 metros encontrados na porção sudeste da bacia hidrográfica, junto aos morros que marcam a linha de cumeado que separa esta da bacia hidrográfica do rio Santa Maria.

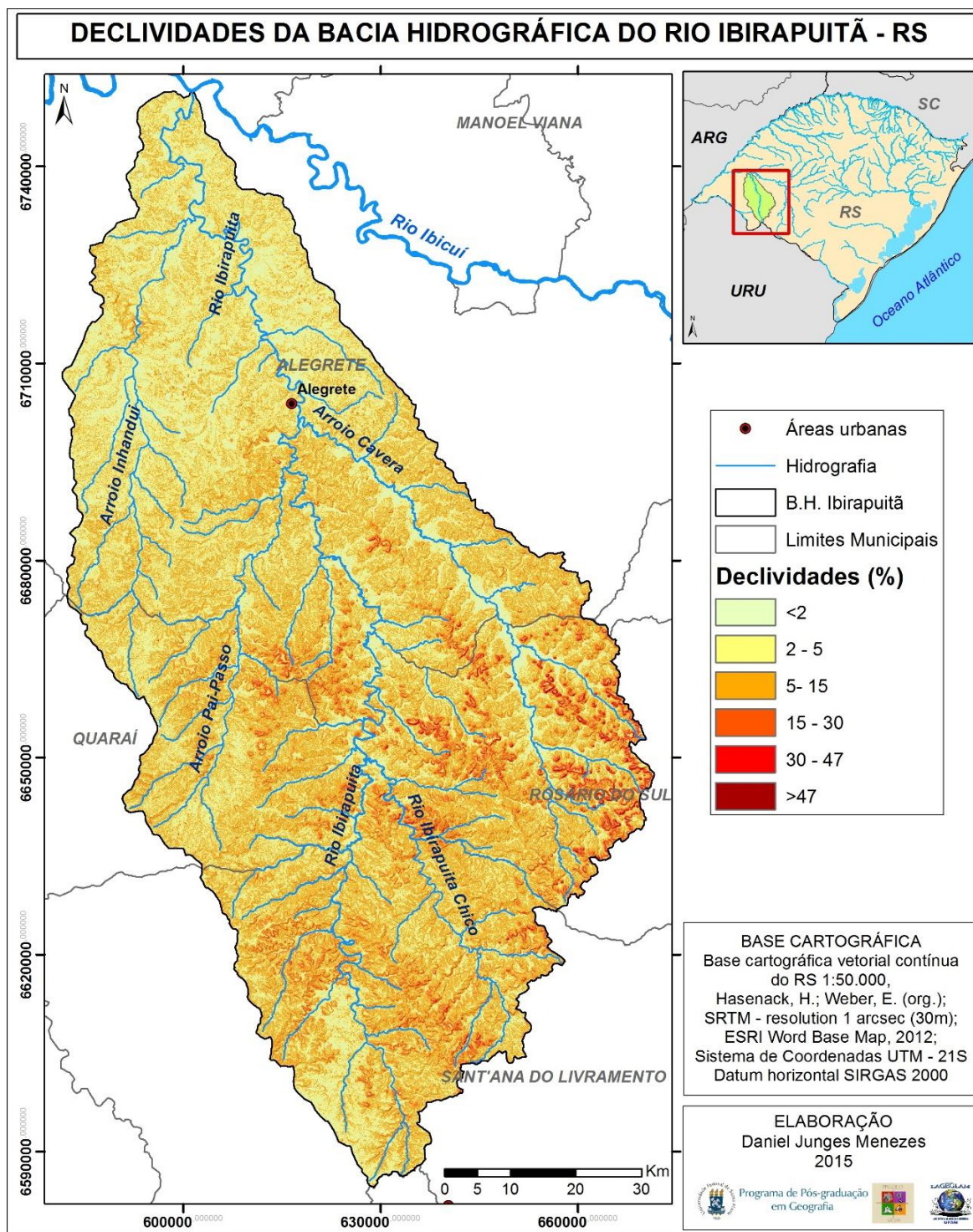
A bacia hidrográfica está situada em sua maior parte (52% da área) abaixo dos 160 metros da altitude. Estas áreas são restritas à porção norte e estão associadas principalmente às proximidades dos cursos baixo e médio do rio Ibirapuitã e também dos seus maiores tributários. As cotas inferiores a 80 metros são restritas ao rio Ibirapuitã no setor jusante à área urbana de Alegrete e junto ao Arroio Inhanduí.

Porções com altimetria superiores a 280 metros são encontradas quase que restritamente no alto curso da bacia hidrográfica e correspondem a 13% da área total. Marcam interflúvios da bacia hidrográfica e os morros e coxilhas que separam as áreas de contribuição do rio Ibirapuitã Chico e arroios Caverá e Pai-Passo, das áreas de contribuição direta no rio Ibirapuitã.

No que tange a análise da declividade, a bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã apresenta como área mais declivosa a porção sul, onde se encontram as nascentes e tributários de menor ordem da rede de drenagem e há a presença de morros. No entanto, maiores declives são pouco significativos, sendo que 93% da área da bacia hidrográfica está associada a declividades inferiores a 15%. Predominam as declividades na classe entre 5% e 15% (44% da área total), em função da presença das coxilhas (ou colinas) que marcam o relevo ondulado desta porção do Rio Grande do Sul.

O terreno passa a ser menos declivoso na porção norte da bacia hidrográfica, nas áreas planas próximas as drenagens e no baixo curso do rio Ibirapuitã. Áreas pouco declivosas também são encontradas junto a outras porções da bacia hidrográfica, associadas a colinas levemente onduladas e áreas de topo de morros, onde predominam os declives com inclinação inferior a 2% e os compreendidos na classe entre 2% e 5%, que correspondem a respectivamente 13% e 35% da área da bacia hidrográfica, como pode ser observado no mapa de declividades (Figura 4).

Figura 4 - Declividades da bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã.



Org.: Menezes (2018).

Na compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Ibicu proposta por Robaina et al. (2010), a bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã está

localizada na unidade morfoescultural denominada Planalto da Campanha. A partir da integração das variáveis do relevo e do substrato rochoso e processos superficiais, os autores propuseram a segmentação das unidades morfoesculturais em unidades morfológicas. Deste modo, são encontradas na BHRI as unidades: Modelado de patamares da campanha subunidade A; Modelado de patamares da campanha subunidade B; Modelado do baixo platô arenítico-basáltico subunidade A; Modelado do baixo platô arenítico-basáltico subunidade B; Modelado de áreas planas aluviais.

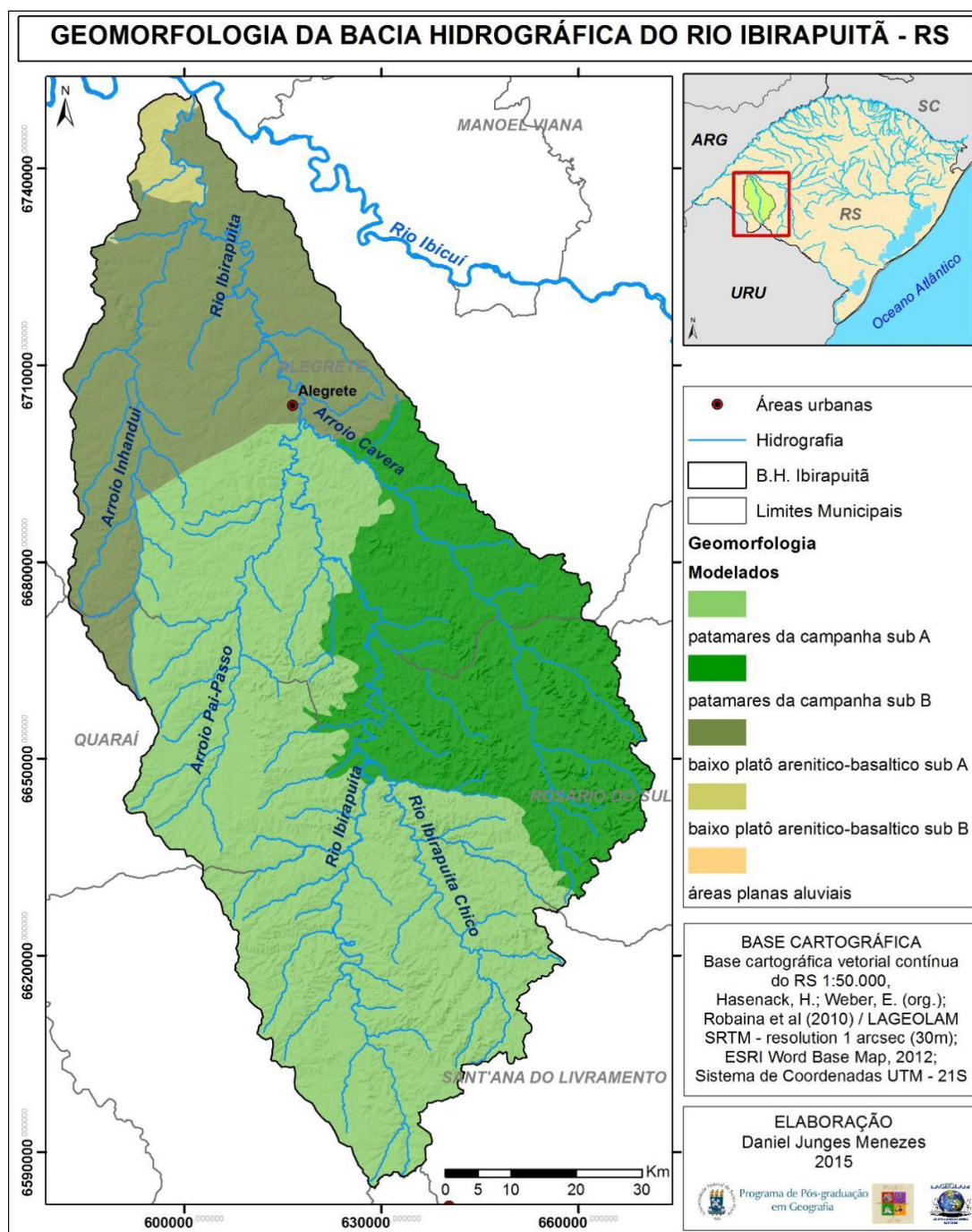
A Unidade Modelado de patamares da campanha “A” é predominante na bacia hidrográfica estendendo-se pela porção norte e faixa central, estando presente em 49,9% da área total. Nesta unidade estão presentes os terrenos mais íngremes da bacia hidrográfica registrando altimetrias superiores a 200 m em quase totalidade da área que ocupa. Conforme Robaina et al. (2010), o substrato é vulcânico e os solos rasos, argilosos e com blocos de rocha próximos a superfície ou imersos na matriz do solo, definidos como Cambissolos e Neossolos litólicos.

O Modelado de patamares da campanha “B”, diferencia-se da primeira unidade pela ampla exposição de rochas areníticas com rochas vulcânicas que formam delgadas capas no topo dos morrotes e colinas situadas nas áreas de menores altitudes. Os solos são do tipo Argissolos arenosos e ocorrem associados a afloramentos de rochas areníticas coesas e ainda solos rasos com blocos de rocha vulcânica (ROBAINA et al., 2010). Esta unidade estende-se por 25,2% da área de estudo, principalmente por onde percorre o arroio Caverá, ao leste da bacia hidrográfica.

A porção norte da bacia hidrográfica, à jusante da confluência do rio Ibirapuitã com o arroio Caverá, é caracterizada pelas Unidades Modelado do baixo platô arenítico-basáltico “A” e “B”, cujas áreas correspondem, respectivamente, a 23,39% e 1,39% da bacia hidrográfica. Estas unidades estão associadas às menores altimetrias e declividades e as formas de relevo predominantes são colinas e rampas. O substrato é formado por uma sequência de dois a três derrames com intercalações de arenitos. As subunidades se estabelecem devido a diferenças pedológicas, predominando solos rasos e argilosos (Neossolos a Cambissolos) na primeira e solos com drenagem deficiente, como Plintossolos, na segunda (ROBAINA et al., 2010). Associadas a área de desembocadura do rio Ibirapuitã encontramos a unidade Modelado de áreas planas aluviais, que marcam terrenos

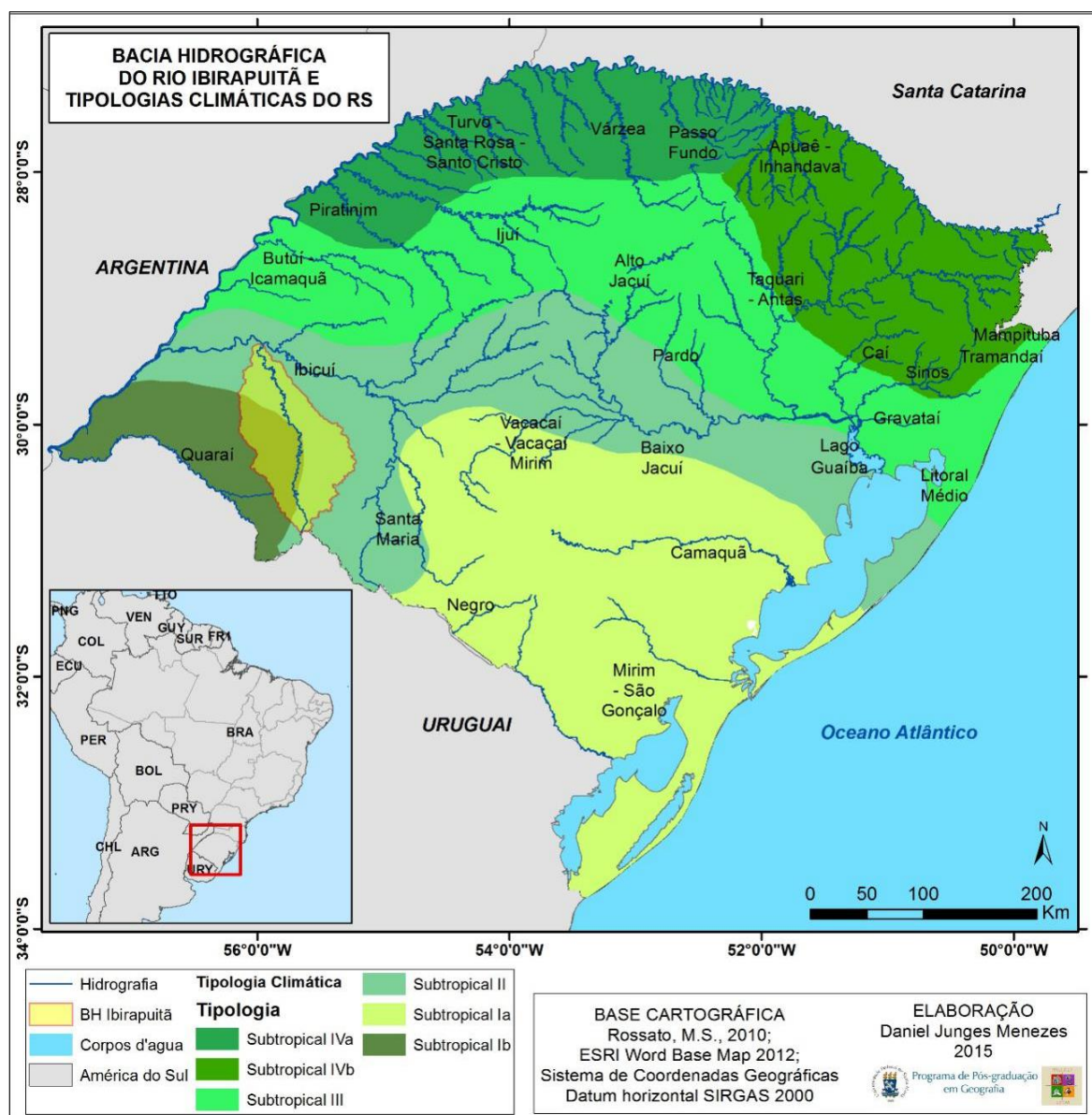
planos, com predomínio de acumulação de sedimentos. Apresenta um relevo plano com declividades inferiores a 2% e altitudes inferiores a 80 metros, sendo pouquíssimo representativa na área de estudo. A compartimentação geomorfológica pode ser observada na Figura 5.

Figura 5 - Geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã.



Quanto às características climáticas, a BHRI encontra-se em uma área onde predominam as tipologias climáticas denominadas Subtropical II, e Subtropical Ib, de acordo com a tipologias estabelecida por Rossato (2011) para o Rio Grande do Sul, conforme mostra a Figura 6. Estas tipologias climáticas têm como características a influência dos sistemas polares e dos sistemas tropicais continentais, estando os sistemas frontais associados a maior parte das precipitações nesta área.

Figura 6 - Tipologias climáticas do RS.



Fonte: Adaptado de Rossato (2011). Org.: Menezes (2018).

A tipologia climática Subtropical Ib é predominante na extensão oeste da bacia hidrográfica, apresentando influência do relevo pela porção do Planalto da Campanha denominada Cuesta do Haedo, e a pluviometria varia entre 1400 - 1700 mm, distribuídos em 70 a 90 dias de chuva ao ano. Quanto a precipitação total mensal, nesta área os volumes variam de 115 mm a 155 mm nos meses de outono e primavera, podendo diminuir para 75 mm a 155 mm em agosto. O clima Subtropical II apresenta um número de 90 a 110 dias de chuva no ano, embora a precipitação mensal também esteja entre 115 mm a 155 mm em grande parte dos meses. Quanto à temperatura média anual, esta varia na proximidade dos 20°C, e as máximas absolutas no verão atingiram valores entre 38°C e 41°C. As temperaturas mínimas absolutas no inverno ficam entre 4°C e 1°C, associada ao clima Subtropical II e podendo chegar aos -7°C na tipologia Subtropical I, em função da continentalidade, que atribui uma grande amplitude térmica (ROSSATO, 2011).

A variabilidade tempo-espacial das precipitações é influenciada também pelas alterações da circulação atmosférica nas escalas regional e zonal, provocadas pelos fenômenos *El Niño* e *La Niña* que ocasionam tanto mudanças significativas de precipitações com inundações e estiagens, respectivamente.

Outra característica fisiográfica marcante da BHRI, é estar situada integralmente no Bioma Pampa, apresentando biodiversidade e beleza paisagística características deste bioma. Visando a manutenção destas características, na porção norte da bacia hidrográfica está instituída a Área de Proteção Ambiental do Ibirapuitã (APA do Ibirapuitã), Unidade de Conservação de Uso Sustentável com 316.882,75 hectares, criada através do Decreto Federal nº 529, em maio de 1992 (SILVA, 2006).

2.2 CONFORMAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ALEGRETE E ÁREA URBANA

A configuração do atual município de Alegrete remete ao início da primeira metade do século XIX, associado aos litígios entre portugueses e espanhóis, que tiveram como palco, em grande parte, o atual território do Rio grande do Sul, e que tiveram fim somente na segunda metade do século passado. Conforme Sônego (2009), a chamada Província das Missões, terras que incluíam também Alegrete, foram conquistadas em 1801, para o governo português, sendo oficialmente

incorporadas à coroa portuguesa em 1809, em decreto que também incorporou a área ao município de Rio Pardo, que compreendia toda faixa oeste do atual RS.

A origem do núcleo de povoamento na região se deu a partir do acampamento de soldados lusitanos que em 1811 chegaram às margens do rio Inhanduí, dando origem à Guarda Portuguesa do Rio Inhanduí. Em torno da qual formou-se o povoado e uma capela sob o orago de Nossa Senhora Aparecida, em 1814 (PREFEITURA MUNICIPAL DE ALEGRETE, 2015).

Em 1816, a aldeia foi saqueada e arrasada pelos uruguaios, sendo o acampamento transferido para outra localidade em 1817, sob o nome de Capela Nossa Senhora da Conceição Aparecida de Alegrete. O povoado foi crescendo, porque junto às populações indígenas e o exército, somaram-se grandes contingentes populacionais (SÔNEGO, 2009). A nova povoação foi localizada à margem esquerda do arroio Ibirapuitã, há aproximadamente 124 km distante do primitivo local (IBGE, 2015).

A primeira habitação de Alegrete foi construída pelo barqueiro do Rio Ibirapuitã que fazia a travessia dos habitantes no local denominado Guaçu Passo (Passo Grande), onde hoje está situada a Ponte Borges de Medeiros. A casa do barqueiro era localizada na antiga na Rua do Bom Retiro ou Rua do Passo (hoje Rua Venâncio Aires), intersecção com a Rua Visconde de Tamandaré. Este local, aproximadamente 900 metros distante do rio Ibirapuitã, seguramente foi escolhido para evitar as inundações (PREFEITURA MUNICIPAL DE ALEGRETE, 2015).

Às margens do Ibirapuitã, o povoado caracterizou-se com ponto estratégico para o escoamento de produtos primários em direção aos portos de Buenos Aires e Montevideu. Prosperando rapidamente, foi elevado à categoria de vila através do Decreto Provincial de 25 de outubro de 1831, que demarcou seus limites e possibilitou autonomia política depois do desmembramento do município de Cachoeira do Sul. Durante a Revolução Farroupilha (1835-1845) Alegrete tornou-se, no período de 1842 à 1845, a 3ª Capital da República Riograndense. A Vila de Alegrete foi elevada à categoria de cidade em 22 de janeiro de 1857 (PREFEITURA MUNICIPAL DE ALEGRETE, 2015).

Entre os anos 1893 a 1960 foram criados e extintos distritos, territórios foram anexados ao município de Alegrete assim como se deram emancipações municipais, que vieram a figurar a atual divisão administrativa e limites territoriais. Atualmente o município possui área de 7.803,954 km² (IBGE, 2010) sendo assim, o maior

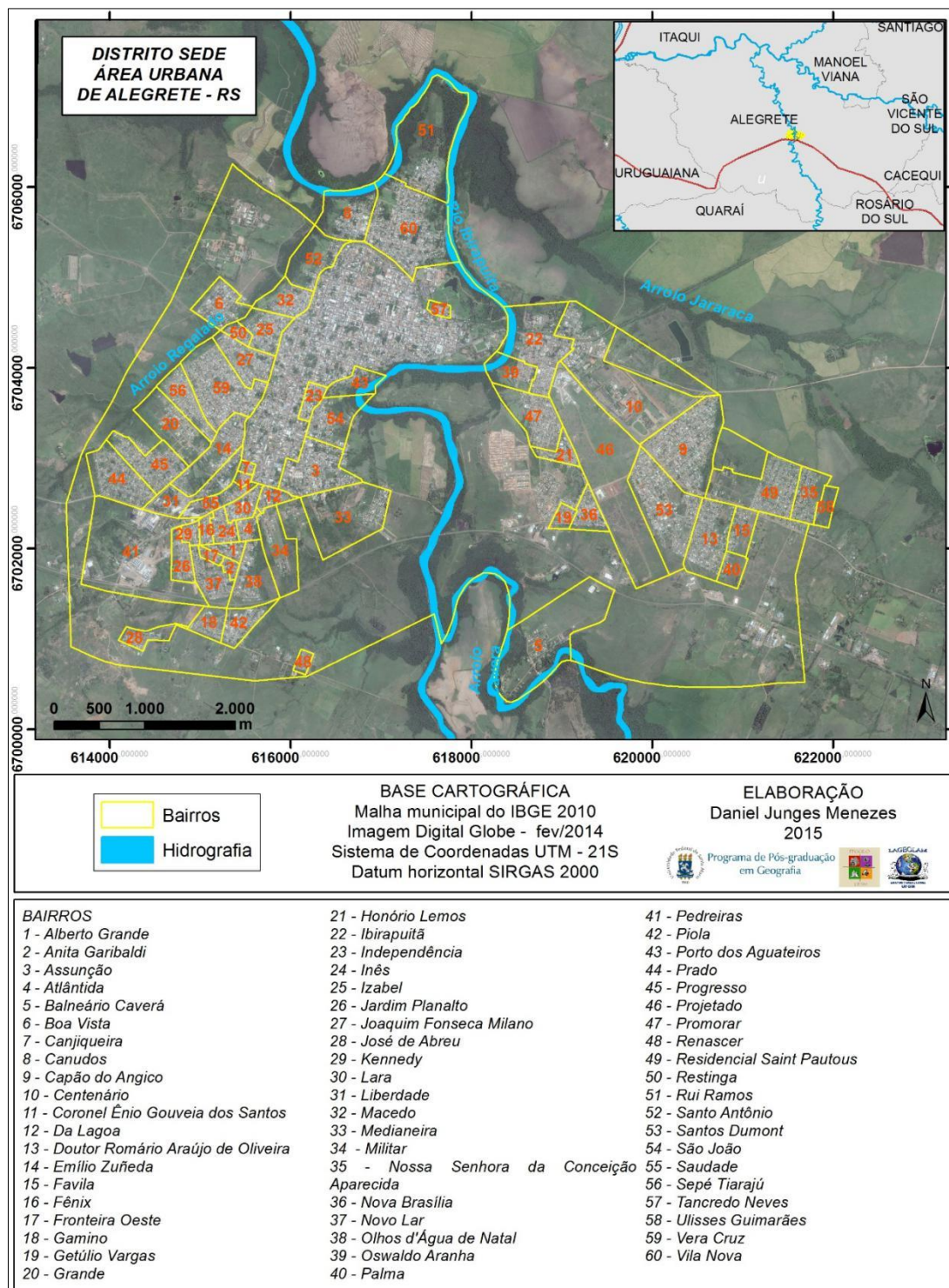
município em extensão territorial do Rio Grande do Sul. Alegrete está a 506 km de distância da capital Porto Alegre e os principais acessos são a BR 290, pelo leste e a RS 377, a partir de oeste e nordeste.

A localização da antiga vila deu origem ao atual distrito sede, que corresponde à área urbana do município de Alegrete. Estando localizado nas áreas próximas ao rio Ibirapuitã, em seu curso médio, o traçado urbano é encaixado nos meandros do rio (Figura 7). Conforme está estabelecida pelo Plano Diretor Municipal, abrange área de 35 km². A Lei Complementar nº 21 de 16 de outubro de 2006, que institui o plano diretor de desenvolvimento do município de Alegrete, em seu Capítulo II, Art. 66 define como perímetro urbano, o distrito sede:

I - Sede: partindo de um ponto situado sobre o eixo do Rio Ibirapuitã a 150 metros ao norte da Ponte Borges de Medeiros, e daí, águas abaixo até encontrar a ponte da RFFSA, desta pelo eixo dos trilhos da linha férrea Alegrete/Uruguiana, sentido leste - oeste, até encontrar o ponto no qual se encontra com a variante que demanda as áreas militares, deste ponto, numa linha imaginária seca e reta até encontrar a estrada municipal prolongamento da Rua Daltro Filho, no ponto que dá acesso ao Círculo Militar, daí por uma linha imaginária seca e reta até encontrar a ponte do Arroio Regalado, no prolongamento da Avenida Bráz Faraco, por esse arroio águas acima até encontrar a rodovia federal BR-290, daí numa linha reta e seca, no sentido norte-sul em 900 metros, daí seguindo em linha reta sentido oeste-leste até a projeção ao eixo da BR-290, seguindo em linha reta no sentido oeste-leste até encontrar a projeção norte-sul de 200 metros da rua Paulo Freire, daí em linha reta até encontrar o local denominado "Poço de Bombas", na confluência do Rio Ibirapuitã com o Rio Caverá, por este águas acima até encontrar a ponte Júlio de Castilhos, no Rio Caverá, com a gleba de terras da Fundação Educacional de Alegrete, contornando a referida gleba até 100 metros no sentido Norte - Sul do eixo da BR-290, seguindo paralelo a mesma, até 700 metros após a entrada de um corredor municipal, que divide campos de Inácio Campos de Menezes e da CORLAC, deste ponto, uma linha imaginária reta e seca, até encontrar a projeção da Rua Salatiel Nascimento da Silveira no sentido leste-oeste, até a divisa do Bairro Capão do Angico, seguindo por uma linha imaginária no sentido sul - norte até encontrar a estrada RS-377 no ponto que coincide com o eixo do prolongamento da Rua Araçá, deste ponto por uma linha imaginária seca e reta até acerca da divisa da Termelétrica, por esta, 570 metros até o ponto inicial (PREFEITURA MUNICIPAL DE ALEGRETE, 2006, s/p.).

O desenho urbano, assim como seu aspecto arquitetônico é fruto da origem portuguesa, o que é típico das cidades da região que compõem a chamada Campanha Gaúcha, onde a fisionomia da área central se dá em torno da praça e ao longo de uma rua principal. A posição estratégica de fronteira, que fora importante no passado sob ponto de vista militar, é hoje ainda presente na condição do número de quartéis e áreas militares.

Figura 7 - Distrito sede / área urbana de Alegrete.



Org.: Menezes (2018).

Conforme Copstein (1980), a tradição portuguesa de fundação de núcleos de população procurava concentrar as estruturas dando a estas uma planificação que

consistia em uma praça com as casas ao redor, ficando a igreja no lugar mais elevado possível. Sendo assim, a tendência era estabelecer os povoados junto a alguma colina.

A compilação histórica realizada pela autora, mostra que, o núcleo urbano de Alegrete, então estabelecido à margem esquerda do rio no século XVI, no início do século seguinte, expande-se para sul e norte e, durante as décadas consequentes, também em direção a oeste e leste, ocupando áreas mais próximas às margens do rio. A partir de meados do século passado, começa a consolidar-se a ocupação mais densa também na margem direita do rio e em 1975, já figura-se grande parte do traçado urbano atual, com ocupações de áreas que margeiam o rio Ibirapuitã. (COPSTEIN, 1980)

Os aspectos organizacionais da cidade, também são resultado da forma de apropriação e a ocupação do território da porção oeste do estado, que estruturou-se a partir da distribuição de título de sesmarias, com criação do gado em extensas propriedades que exploram as pastagens para criação e, ainda o posterior processo de modernização da agricultura e inserção de novos modelos produtivos (VERDUM, 2004; OLIVEIRA JÚNIOR, 2006).

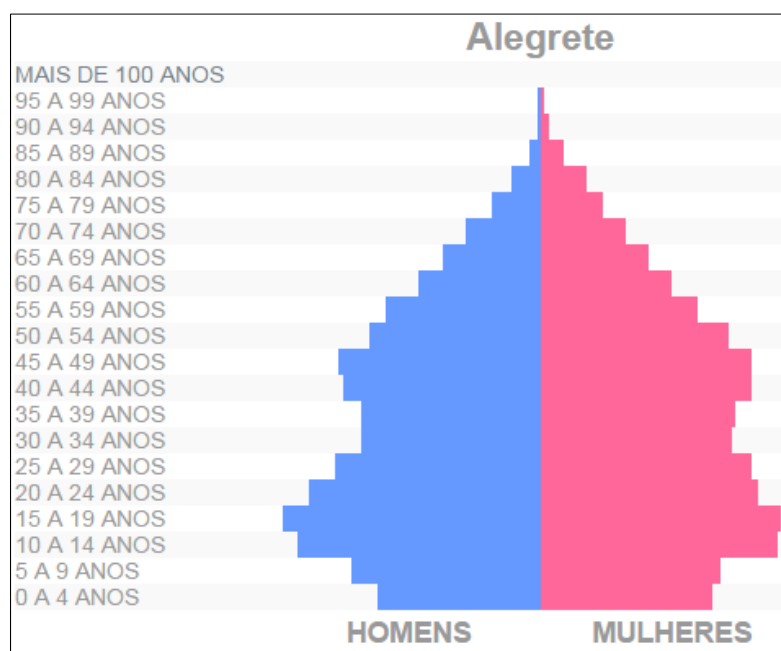
A concentração de terras em função do modelo pecuário e a posterior inserção de adventos tecnológicos na agricultura, por meio da produção orizícola, seguida da sojicultura, intensificaram o êxodo rural. Estabelece-se, deste modo, o contraste de áreas mais históricas da cidade associadas aos grandes casarões e estruturas antigas e áreas de ocupação subsequente, alocadas em porções muito próximas ao rio ou incorporação de antigas áreas rurais.

Quanto aos aspectos populacionais, o município de Alegrete apresenta como característica marcante o elevado grau de urbanização. De acordo com informações do último censo demográfico do IBGE, realizado em 2010, da população total de 77.653 habitantes, 69.594 deste montante vivem em situação urbana e 8.059 vivem em situação rural, indicando uma taxa de 90% de urbanização. Considerando-se sua grande extensão territorial, o município apresenta densidade demográfica de 9,95 hab/km².

Em relação à estrutura populacional, se analisado a partir da predominância de gênero, Alegrete apresenta uma população composta predominante pelo sexo feminino, que soma 51% da população absoluta do município.

No que se refere à separação por faixa etária, Alegrete apresenta um maior contingente populacional na categoria de adultos (corresponde à população que possui entre 20 a 59 anos de idade), que totalizam 55% da população total. No entanto, a população jovem (com menos de 20 anos) é também bastante representativa, compondo 30% da população total. A faixa etária que apresenta um menor contingente é a categoria composta por pessoas que apresentam 60 anos de idade ou mais (idosos ou melhor idade), que representam 15% da população total. Tal estrutura pode ser observada a partir da pirâmide etária (Figura 8).

Figura 8 - Pirâmide etária de Alegrete - RS.



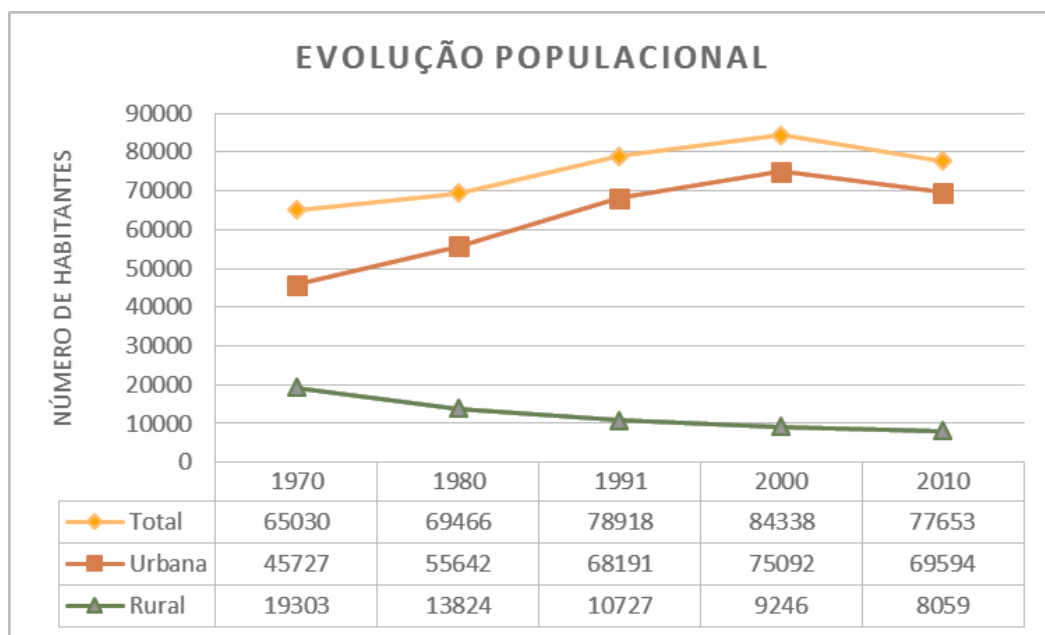
Fonte: IBGE (2010). Org.: Menezes (2018).

A evolução populacional de Alegrete, assim como o processo de urbanização podem ser analisados a partir da Figura 9, que traz informações da população absoluta de Alegrete e enquanto situação de domicílio, a partir da década de 70.

É possível observar que, no período considerado, o processo de urbanização consolidou-se ainda mais no município de Alegrete. No entanto, observa-se que a população total, apresenta crescimento constante nas quatro primeiras décadas, o que não se repete no último decênio. Tal comportamento se dá em função do decréscimo da população urbana apontada no último levantamento, até então

crescente. Por sua vez, a população em situação rural vem em constante decréscimo a partir da década de 70.

Figura 9 - Evolução da população de Alegrete entre 1970 e 2010.



Fonte: IBGE (2010). Org.: Menezes (2016).

Bertê et al. (2016), apontam este processo como uma característica predominante dos municípios que compõem o chamado Conselho Regional de Desenvolvimento (COREDE) Fronteira Oeste, decorrendo das dificuldades econômicas enfrentadas por esta porção do RS. Embora esta região tenha a maior parte de sua população em situação urbana, sua economia é baseada no setor primário, possuindo pequena participação da indústria de transformação.

3 ÁREAS DE RISCO ASSOCIADAS A INUNDAÇÕES: CONCEITOS E ABORDAGENS

Este capítulo discute conceitos e abordagens a respeito dos desastres naturais e que compõem as construções teóricas referentes às temáticas de risco, inundações e a ocupação de áreas sujeitas a estes processos, além do uso de técnicas estatísticas, geotecnologias e demais informações que subsidiam a análise espaço-temporal da dinâmica das inundações e estimativas de cenários em função dos seus danos.

Teve-se como premissa o levantamento bibliográfico realizado no intuito de avaliar os trabalhos publicados na literatura científica nacional e internacional, referente às temáticas que compõem a análise de risco associados às inundações. A busca de aportes teóricos, fundamental para o planejamento e execução do trabalho de pesquisa, permitiu discutir, associar e dissociar conceitos, métodos e práticas, sobre os temas que são essenciais para as discussões que cercam a problemática de pesquisa.

O leque de abordagens e consequentes definições, às vezes sobre um mesmo tema, refletem a grande variabilidade de percepções e conceitos. Tal panorama é fruto da heterogeneidade com que as reflexões desenvolveram-se e refletem seus contextos, do ponto de vista cronológico e de sua origem, enquanto viés teórico e científico. Estas aproximações se fazem importantes, pois a apreciação a respeito dos desastres e dos riscos envolvem definições que a dada hora, contradizem-se, noutrora, se repetem e, em tantas outras, complementam-se. Esta percepção torna-se fundamental na escolha dos conceitos utilizados.

Não obstante, esta revisão e consulta às bibliografias específicas visa o contato com o que tem sido produzido e proposto mais recentemente, a partir do ponto de vista conceitual e metodológico. Ao mesmo tempo, permite a apropriação e adaptação de metodologias adotadas em estudos anteriores e que alcançaram resultados considerados satisfatórios. Deste modo, esta revisão teórica-conceitual, tem como base a literatura específica sobre os temas discutidos e ainda a consulta a órgãos públicos, instituições e demais organizações que atuam nesta temática, além de estudos de caso que corroboram com os objetivos e abordagem metodológica da pesquisa.

3.1 DESASTRES NATURAIS

Os desastres naturais e avarias associadas a estes, fazem parte da sociedade e do processo desta transformar-se em tal, sendo os desastres tão inclusos na história da evolução humana como o progresso científico e tecnológico. O progresso civilizatório tem sido caracterizado por uma luta permanente contra as determinações da natureza, as quais o homem tem superado, até os momentos que se desfalece o mito da invencibilidade da espécie humana, diante da presença das forças naturais e da nossa intrínseca fragilidade (ANTUNES, 2012).

A ocorrência de perturbações sociais em função de desastres, remete a duas grandes tradições de análise, conforme apontam Mattedi e Butzke (2001). Uma que enfatiza os aspectos naturais, por meio da teoria dos *Hazards* (na literatura, termo que comumente remete aos perigos), desenvolvida do ponto de vista geográfico e, outra a teoria dos Desastres, que enfatiza os aspectos sociais, desenvolvida, do ponto de vista da sociologia. Para os autores, a teoria dos *Hazards* interpreta as “calamidades naturais”, com base nos fatores físicos e os desastres, em função dos fatores humanos, exigindo a necessidade de uma confluência, visando à integração explicativa dos domínios físico e humano que interagem no processo de formação e desenvolvimento de abordagens multidisciplinares.

Interpreta-se assim que a terminologia desastre, tal qual empregada habitualmente na literatura, expressa relações imbricadas entre sociedade e natureza e avaliação de danos ou consequências. Às adversidades súbitas, sejam inesperadas ou extraordinárias, é adotado o termo desastre. Um desastre configura “um acontecimento, ou uma série de acontecimentos, que altera o modo de funcionamento rotineiro de uma sociedade. Estes acontecimentos são provocados por uma grande variedade de agentes naturais ou criados pelo homem” (MATTEDI e BUTZKE, 2001, p. 09).

Tal definição se assemelha à concepção de Castro (2003), que considera que um desastre é 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. Entende-se “evento” como fenômeno com características, dimensões e localização geográfica registrada no tempo Zuquette (1993) e “evento adverso” quando associados às perdas e prejuízos econômicos e sociais.

Marandola Jr. e Hogan (2004) resgatam a história do desenvolvimento na linha de pesquisa dos *Hazards* pelos geógrafos, destacando problemas de tradução e entendimento, associados às terminologias risco, perigo, acidente, azar, acaso, desastre, entre outros, presentes na literatura nacional e internacional, gerando interpretações equivocadas e/ou usos indevidos. Os autores destacam que um “*hazard* não é natural em si, mas trata-se de um evento que ocorre na interface sociedade-natureza e um *natural hazard* tem tal denominação por ter origem em elementos naturais” (MARANDOLA JR e HOGAN, 2004, p.98).

Utilizando-se da terminologia perigos ambientais (*environmental hazards*), e não enfatizando determinada abordagem ou viés preferencial pelos aspectos naturais ou sociais, Smith e Petley (2009), apontam uma diferenciação aos desastres. Para os autores os perigos ambientais envolvem interações entre sociedade e meio, configurando assim um ambiente por onde propagam-se os perigos. No entanto, os autores estabelecem uma relação de magnitude aos desastres, sendo estes mais danosos e uma consequência real de um perigo.

Estas definições remetem a um duplo viés quanto à ocorrência e como são classificados os desastres, principalmente no que tange à origem do(s) efeito(s) deflagradores, podendo estes estar associados a processos naturais ou decorrentes de ações antrópicas. Ao mesmo tempo, restringem a denominação de desastre à ocorrência de danos sociais, representando uma feição híbrida entre agente desencadeador e aspectos sociais em sua conjuntura.

Desta forma, os desastres naturais são originários do impacto de fenômenos naturais extremos ou intensos sobre um sistema social, causando sérios danos e prejuízos que excede a capacidade da comunidade ou da sociedade atingida em conviver com o impacto (TOMINAGA et al., 2009, p. 14).

Deflagrados por um evento físico ou *hazard*, os desastres naturais resultam em impactos à população. São oriundos de fenômenos bastante energéticos, com potencial para afetar fortemente os locais afetados, ocorrem naturalmente, sendo, portanto, componentes da dinâmica evolutiva planetária e que apresentam uma diversificação quanto à sua variabilidade natural (NUNES, 2011).

No entanto, para Wisner et al. (2005) a própria terminologia “desastre natural” sugere uma aceitação acrítica de um mito ideológico e cultural profundamente enraizado. O ponto crucial sobre a compreensão por desastres é que não são apenas os eventos naturais que os causam, estes também são o produto de

ambientes sociais, políticos e económicos (como distintos ambientes naturais) e da forma como se estrutura a vida dos diferentes grupos de pessoas.

Esta relação indissociável entre natureza e sociedade na ocorrência de um desastre natural é seguidamente mitigada, pois grande parte das pessoas, quando perguntadas sobre riscos e desastres em suas próprias localidades, visualizam a ocorrência tanto como inexplicável ou como um ato de natureza ou de um deus (ou deuses) ou alguma outra força sobrenatural. Raramente o desastre também é visto como um produto social (BURTON et al., 1993).

Corroboram, Monteiro e Pinheiro (2012), ao colocar que uma das mais frequentes más interpretações na compreensão dos desastres naturais é a ideia de que estes podem ser entendidos simplesmente como forças naturais ou sobrenaturais poderosas que atuam de forma irremediável contra os seres humanos, atribuindo-lhes um caráter de tragédia ou fatalidade.

No entanto, a interpretação dos desastres naturais, menos resignada e sob a luz de abordagens pautadas na racionalidade científica, não permaneceu inerte ao tempo e às transformações dos próprios desastres e seus impactos, fomentando diferentes abordagens. Smith e Petley (2009) apontam quatro grandes paradigmas na abordagem dos perigos e dos desastres, conforme organizados no Quadro 1.

Quadro 1 - Evolução dos paradigmas dos perigos ambientais.

Período	Paradigma	Questões Principais	Principais Respostas
Até 1950	Engenharia	Quais são as causas físicas para a magnitude e a frequência dos perigos naturais em determinados lugares e como pode ser fornecida proteção contra as consequências mais prejudiciais?	Previsão meteorológica científica e grandes estruturas projetadas e construídas para defender contra os perigos naturais, especialmente os de origem hidrometeorológica.
1950 - 1970	Comportamental	Por que perigos naturais criam mortes e prejuízos económicos nos países mais desenvolvidos e como podem as mudanças no comportamento humano minimizar o risco?	Melhorou o aviso de curto prazo e um melhor ordenamento do território a longo prazo para que os seres humanos pudessem evitar os locais mais propensos aos desastres.
1970 - 1990	Desenvolvimento	Por que as pessoas nos países menos desenvolvidos sofrem tão severamente em desastres naturais e quais são as causas socioeconômicas atuais e	Maior consciência da vulnerabilidade humana ao desastre e uma compreensão de como baixo desenvolvimento económico e dependência

		históricas desta situação?	política contribuem para a vulnerabilidade
Pós 1990	Complexidade	Como podem os impactos de desastres ser reduzido de forma sustentável no futuro, especialmente para as pessoas mais pobres em um mundo em rápida mudança?	Mais ênfase nas interações complexas entre a natureza e a sociedade que conduzem à melhor gestão a longo prazo dos riscos de acordo com as necessidades locais

Fonte: Adaptado de Smith e Petley (2009, p.5). Org.: Menezes (2018).

O *paradigma de engenharia* originou-se com as primeiras barragens construídas no Oriente Médio, há mais de 4.000 anos, enquanto tentativas de defender edifícios contra terremotos remontam pelo menos 2.000 anos. O crescimento das ciências da terra e engenharia civil durante os séculos seguintes levaram a respostas estruturais cada vez mais eficazes para controlar os efeitos nocivos de certos processos físicos. No final do século XIX, novas medidas como previsão do tempo e alertas de tempestades severas, também puderam ser implantados. Esta abordagem é baseada em fazer todas as estruturas construídas suficientemente fortes para suportar um confronto direto com o perigo. É em grande parte realizado com a ajuda de agências governamentais e continua a ser importante até hoje.

O *paradigma comportamental* é originado com o geógrafo Gilbert White antes de meados do século XX, que observou que os perigos naturais (*hazards*) não são puramente fenômenos físicos externos à sociedade, mas estão ligados a inúmeras decisões individuais para se estabelecer e desenvolver perigos em áreas propensas. Este paradigma acabou por produzir uma abordagem mista em que as ciências da terra continuariam a investigar eventos naturais extremos e, engenheiros construindo estruturas destinadas a controlar as forças mais prejudiciais, enquanto cientistas sociais, exploraram uma agenda mais ampla de redução de desastres por meio de ações de ajuda e melhor ordenamento do território.

O *paradigma do desenvolvimento* surgiu durante a década de 1970 como uma alternativa mais teórica e radical, figurando-se na experiência das zonas menos industrializadas do mundo onde os desastres naturais criaram impactos excepcionalmente graves, incluindo grandes perdas de vida. A ligação entre o subdesenvolvimento e desastres foi analisada e indicou que a dependência econômica aumentou tanto a frequência como o impacto dos perigos naturais. A

vulnerabilidade, característica dos mais pobres e pessoas mais desfavorecidas, tornou-se um conceito importante para compreender a dimensão das catástrofes.

O referido paradigma está intimamente associado a uma leitura dos desastres, como resultante do confronto de duas forças opostas: os processos socioeconômicos que criam vulnerabilidade humana e os processos naturais que criam riscos geofísicos. É uma interpretação radical do desastre que, ao contrário do paradigma comportamental, raramente é específico do perigo e reside mais nas características comuns a longo prazo da catástrofe e salienta os limites para a ação individual imposta por uma conjuntura global desigual.

O *paradigma da complexidade* olha para além de redução de perdas locais, a curto prazo, com base em soluções rápidas, propondo estratégias de redução de desastres com uma agenda de desenvolvimento condizentes com a realidade de um mundo em rápida mutação. Esta abordagem re-enfatiza as interações mútuas entre natureza e sociedade a partir de que os seres humanos, não são simplesmente as vítimas dos riscos ambientais porque, em muitos casos, as ações humanas contribuem para processos perigosos e resultados de desastres.

Nesta última interpretação, as pesquisas assumiram um caráter multidisciplinar e, em parte, mudam o foco da preparação e resposta para emergências para as estratégias de mitigação e recuperação. A *International Strategy Disaster Reduction* (ISDR) promovida pelas Nações Unidas, desenvolvida neste contexto, visa intensificar a atividade política destinada a reduzir as catástrofes naturais e artificiais (SMITH; PETLEY, 2009, p. 3-10).

Deste modo, oriundo da ISDR (2009), surge o conceito onde o desastre reporta uma séria ruptura do funcionamento de uma comunidade ou sociedade tendo como consequência perdas humanas, econômicas e ambientais que excedem a capacidade dos afetados em responder com os seus próprios recursos.

Torna-se relevante ainda, a colocação de que os termos desastre natural e catástrofe natural, usuais na literatura, tem sido utilizados por diversos autores como sinônimos. O *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (OFDA/CRED, 2009) estabelece o termo catástrofe como uma situação ou evento, que supera a capacidade local, exigindo um pedido de ajuda a nível nacional ou internacional de ajuda externa; um evento imprevisto e muitas vezes súbito que causa grandes danos, destruição e sofrimento humano.

Portanto, o uso da terminologia mais adequada estaria vinculado à origem de um desastre e ainda à avaliação da magnitude e extensão dos danos. No entanto, de forma menos preciosista e considerando as mais variadas concepções, a conceituação aqui utilizada vai ao encontro com o pensamento de Saraiva (2012):

Um desastre natural é um acontecimento (mais especificamente a concretização de um perigo) que resulta de processos naturais da Terra ou que a afeta levando à perda de vidas humanas, ocorrência de feridos ou ainda a perdas económicas e ambientais. É evidente, mas não cabe aqui discuti-lo, que deve haver um limite inferior para o valor dessas perdas que distinga quando é que o acontecimento se torna, efetivamente, num desastre até por que a severidade das perdas depende da vulnerabilidade das populações mas também da sua capacidade de resistir quer ao acontecimento quer às suas consequências (resiliência), daí que a expressão "os desastres ocorrem quando os perigos se cruzam com a vulnerabilidade" seja bem conhecida de quem aborda este tipo de questões (SARAIVA, 2012, p. 21).

Considera-se ainda que, em todas as concepções, os desastres estão associados a perdas sociais, económicas e ambientais. Os elementos que os caracterizam ou os colocam em tipologias são variados. Neste sentido, merecem destaque os termos que podem ser considerados indissociáveis na literatura sobre desastres naturais e sua abordagem: perigo, vulnerabilidade e ainda o risco.

3.1.1 Perigo

É necessária a distinção básica entre os eventos extremos na natureza que não são necessariamente perigosos para as pessoas, dos eventos de carácter perigoso. Os eventos naturais que movimentam o vento, água e o solo são processos, em grande parte, que ocorrem de forma independente das atividades humanas e são objeto de investigação científica de meteorologistas, hidrólogos e geólogos. Por outro lado, para efeitos práticos, grandes partes do sistema social também pode ser considerada como operante, de forma independente dos eventos naturais. A Interação dos dois cria recursos e, também, perigos (BURTON et al., 1993).

Corroboram com esta construção inicial, sobre a ocorrência dos fenômenos naturais e a concepção de perigo, Marandola Jr. e Hogan (2004). Para os autores, todos estes fenômenos são eventos, não raro, eventos extremos, que rompem um ciclo ou um ritmo de ocorrência dos fenômenos naturais, sejam estes geológicos,

atmosféricos ou na interface destes. Contudo, não serão todos os fenômenos que serão considerados *hazards*, mas apenas aqueles que estão em relação ou ocorrendo em áreas ocupadas pelo homem, gerando danos, perdas e colocando em perigo estas populações. “É por isso que um *hazard* não é natural em si, mas trata-se de um evento que ocorre na interface sociedade-natureza” (MARANDOLA JR e HOGAN, 2004, p. 98).”

Para Zuquette (1993) um evento perigoso (*hazard*), representa um perigo associado a um fenômeno de origem natural ou provocado pelo homem, que se manifesta em um lugar específico, em tempo determinado, produzindo efeitos adversos nas pessoas, bens e/ou no meio ambiente. O perigo é ameaça potencial de que eventos, naturais ou não, resultam em perdas à população (ZUQUETTE et al. 1995). Quanto a manifestação dos perigos no tempo e no espaço, Romero e Maskrey (1993) apontam que:

El peligro que representa un fenómeno natural puede ser permanente o pasajero. En todos los casos se le denomina así porque es potencialmente dañino. Constituyen peligro, pues, un movimiento intenso de la tierra, del agua o del aire. Este es mayor o menor según la probabilidad de ocurrencia y la extensión de su impacto. (ROMERO e MASKREY, 1993, p.10)

“A terminologia “perigo” (ou *hazard*) indica condição com potencial para causar uma consequência desagradável” (MINISTÉRIO DAS CIDADES e IPT 2004, p.10). Castro (1998), em conceituação clássica da Defesa Civil, já definia perigo como “qualquer condição potencial ou real que pode vir a causar morte, ferimento ou dano à propriedade. A tendência moderna é substituir o termo por ameaça”.

Atualmente a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC, 2012) define “ameaça” como o indício de ocorrência de um fenômeno adverso, atividade humana ou qualquer condição com intensidade ou severidade suficientes para causar perda de vidas, danos ou impactos à saúde humana, à economia, à infraestrutura e ao meio ambiente. Dano este associado ao resultado das perdas humanas, materiais ou ambientais infligidas às pessoas, comunidades, instituições, instalações e aos ecossistemas, como consequência de um desastre.

Por sua vez, a “ameaça” é entendida pela *International Strategy Disaster Reduction* (ISDR, 2009) como:

Prenúncio ou indício de um evento desastroso. Evento adverso provocador de desastre, quando ainda potencial. Estimativa da ocorrência e magnitude de um evento adverso, expressa em termos de probabilidade estatística de concretização do evento (ou acidente) e da provável magnitude de sua manifestação (ISDR, 2009, p. 8).

Veyret (2007 p. 30) adota a terminologia “*aléa*” para caracterizar um “acontecimento possível; pode ser um processo natural, tecnológico, social, econômico e sua probabilidade de realização.” Rebelo (2008, p. 8), coloca que “o risco deverá ser considerado função de um processo potencialmente perigoso (*aléa*, para os francófonos, ou *hazard*, para os anglófonos) e do modo como as populações se expõem a esse processo (vulnerabilidade)”. Antes que uma prévia sintetização do conceito de risco, as palavras do autor refletem as diferenças (linguística) de terminologias a respeito do conceito de perigo.

Para Julião et al. (2009) o perigo indica o processo (ou ação) natural, tecnológico ou misto, suscetível de produzir perdas e danos identificados. A suscetibilidade remeta à propensão de uma área para ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações.

Os autores trazem ainda o termo “severidade”, o que pode ser considerado como a “capacidade do processo ou ação para danos em função da sua magnitude, intensidade, grau, velocidade ou outro parâmetro que melhor expresse o seu potencial destruidor” (JULIÃO et al., 2009, p. 21). A severidade de um evento ou processo, figura como um elemento importante para se estabelecer diferentes graus de perigo e reporta, à grandeza física do processo ou ação perigosa.

A caracterização da dimensão física e uma classificação dos perigos (ou *hazards*), proposta por Mattedi e Butzke (2001) e estruturada a partir das ideias estruturadas por Tobin e Montz (1997), considera: a) Mecanismos Físicos (magnitude, duração, extensão espacial); b) Distribuição Temporal (frequência, sazonalidade, parâmetros diurnos); c) Distribuição Espacial (localização geográfica); d) Dinâmica de Eclosão (rapidez do início, tempo de preparação e rapidez de término).

Os Mecanismos Físicos envolvem a determinação da força mobilizada por um evento, como, por exemplo, a velocidade do vento durante uma tempestade, o nível da água atingido numa inundação, a energia liberada por um terremoto etc. No que se refere à duração, enquanto alguns

possuem uma escala baseada em segundos (terremotos), em outros a escala baseia-se em anos (secas). Do ponto de vista espacial, quanto mais alta a magnitude, menor a concentração espacial do evento. [...] A Distribuição Temporal diz respeito à frequência e ao período de retorno (intervalo de recorrência) de um determinado evento. A abordagem tradicional tem sido analisar os registros históricos, calculando o número de ocorrência num período de tempo específico. Certos eventos ocorrem mais frequentemente em determinados períodos de tempo do ano do que em outros [...] O terceiro aspecto que permite caracterizar geofisicamente os *Hazards* é sua Distribuição Espacial, ou seja, sua espacialidade pode ser definida, seu mapeamento estabelecido e seu risco conhecido através de sua determinação no espaço. [...] Outra característica física dos *Hazards* é a Dinâmica de Eclosão do evento. Examinando a dinâmica de desencadeamento de um evento podemos identificar o seu risco de incidência. Acredita-se que, em geral, quanto mais rápida for sua ocorrência, mais inesperado o evento, portanto, menores são as condições para a adoção de ações (MATTEDI; BUTZKE, 2001, p. 05).

Para Westen et al. (2006), o perigo pode ser expresso como a probabilidade de ocorrência dentro de um período de referência. Este se dá em função da probabilidade espacial, relacionada a fatores ambientais estáticos, que remetem às características do terreno e a probabilidade temporal, relacionada indiretamente a alguns fatores ambientais e diretamente a fatores dinâmicos, como variáveis hidrológicas.

Assim, áreas de perigo, constituem as porções sujeitas a determinados tipos de processos, portanto suscetíveis e que, ocupadas, podem causar danos em função da sua ocorrência. Um dado processo, e consequentes perigos correlatos, podem ser mais ou menos severos e impactantes em função de elementos como a frequência e a probabilidade de acontecerem, magnitude e propagação no espaço que lhes caracterizam.

3.1.2 Vulnerabilidade

A vulnerabilidade é uma característica intrínseca de um sujeito, sistema ou elemento que estão expostos a um evento perigoso (*hazard*), correspondendo à predisposição destes em serem afetados ou suscetíveis a perdas (ZUQUETTE, 1993).

Pela vulnerabilidade vamos denotar a inabilidade de uma comunidade de "absorver", pelo auto ajuste, os efeitos de uma dada mudança em seu ambiente, sua "rigidez" ou incapacidade de se adaptar a essa mudança que à comunidade causa dano. A vulnerabilidade determina a intensidade dos danos que produz a ocorrência

real de um perigo para a comunidade (ROMERO e MASKREY, 1993). Para a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil a vulnerabilidade reflete o nível de insegurança intrínseca de um cenário frente a um evento adverso determinado (SEDEC, 2012).

Veyret (2007) aborda o conceito de “alvo”, sendo este formado por elementos ou sistema que estão sob ameaças de *áléas* de natureza variada. “Os alvos são pessoas, bens, equipamentos e meio ambientes. Ameaçados pela *áléa*, esses diferentes elementos são suscetíveis de sofrer danos e prejuízos.” (VEYRET, 2007 p. 24). A vulnerabilidade está ligada ao sistema receptor e às populações afetadas, elemento determinante na magnitude dos desastres, como para se determinar graus de risco. “Não há risco sem que uma população ou indivíduo que o perceba e que poderia sofrer com seus efeitos” (VEYRET, 2007, p.11).

As Nações Unidas, por meio da *International Strategy Disaster Reduction* (ISDR, 2009) procuram enfocar a questão da vulnerabilidade como o estado determinado pelas condições físicas, sociais, econômicas e ambientais que podem aumentar a suscetibilidade de uma área (ou comunidade) ao impacto de eventos perigosos. A vulnerabilidade de uma região diante de tais riscos depende de fatores tão diversos como a densidade populacional, a natureza dos seus bens tecnológicos e culturais, o tipo de organização social e econômica e a capacidade exibida pelas comunidades para enfrentarem os diferentes fatores de risco. No que tange a distinção conceitual, o Relatório de Desenvolvimento Humano do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), elaborado no ano 2007, tendo como foco as mudanças climáticas e desastres, conceitua que:

A vulnerabilidade é diferente do risco. A base etimológica da palavra advém do verbo latino “ferir”. Enquanto que o risco implica a exposição a perigos externos em relação aos quais as pessoas têm um controle limitado, a vulnerabilidade mede a capacidade de combate a tais perigos sem que se sofra, em longo prazo, uma potencial perda de bem-estar (PNUD, 2007, p.78).

Valencio et al. (2009) destacam que o conceito de vulnerabilidade remete à desigual exposição às ameaças. Um grupo vulnerável é aquele que, exposto a determinado fator de perigo, não tem o poder de antecipação, resistência ou recuperação diante dos impactos destes derivados, estando esta situação associada a mudanças do ambiente e rupturas nos sistemas de vida. Em continuação à esta concepção, Siena e Valencio (2010, p. 59), corroboram que a deflagração de um

desastre está tão associada ao sistema receptor e suas consequências para o mesmo, quanto ao o evento desencadeador.

Cabe ressaltar que o desastre é uma disrupção que ocorre como fenômeno social e como acontecimento físico. O olhar hegemônico sobre o tema foca apenas no acontecimento físico, creditando apenas às chuvas fortes, por exemplo, a causa do desastre que é relacionado às enchentes, deslizamentos e afins. Contudo, o desastre constitui-se, também, como a ruptura da dinâmica social existente, como o desaglutinador da ordem social, ou seja, ele é a vivência de uma crise e, portanto, mostra-nos o limite de uma determinada rotina e a necessidade de construção de uma nova dinâmica social (SIENA e VALENCIO, 2010, p. 59).

Um julgamento precoce, estabelece que as ameaças naturais afetam a todos e, deste modo, todos estão sujeitos aos seus danos. Todavia, a análise da conjuntura dos desastres mostra que as classes mais empobrecidas, ocupando residências de mais baixo padrão e em terrenos mais expostos aos processos perigosos, são afetadas proporcionalmente mais, como apontam Macías et al. (1996):

Um olhar sobre a geografia dos riscos no mundo dá conta que a origem dos fenômenos naturais que, finalmente, levam ao desastre, apresentam uma localização indiferenciada, o que reforça a ideia de que os desastres derivam de condições socioeconômicas e da capacidade financeira e infraestrutura disponível para resolvê-los. Neste caso, a magnitude do desastre está ligada à pobreza (MACÍAS et al., 1996, p. 22).

Da mesma forma, inerente às discussões sobre a vulnerabilidade e análise do sistema receptor, está o conceito de resiliência, sendo definido pela UNISDR (2008) como a habilidade de um sistema, comunidade ou sociedade exposta às ameaças para resistir, absorver, adaptar e recuperar-se dos efeitos de uma ameaça de uma maneira oportuna e eficiente, através da preservação e restauração de suas estruturas e funções essenciais básicas. Para Veyret (2007 p. 42) resiliência “define a capacidade de um sistema para se adaptar às mudanças resultantes de uma crise e melhorar sua capacidade de resposta tendo em vista catástrofes futuras”. Portanto, a resiliência encontra-se inversamente proporcional a vulnerabilidade.

Deste modo, há maior gravidade em situações de carência econômica, tendo em vista que, comumente, as perdas não podem ser recuperadas antes da ocorrência do próximo desastre. Assim, os mais pobres sofrem mais profundamente as consequências, em função de seu *status* socioeconômico e extenuação de

alternativas e recursos (capacidade organizacional e/ou negociação), que dificultam a sua rápida recuperação (MOREIRA, 2009).

Romero e Maskrey (1993), lembram que nas áreas mais empobrecidas a vulnerabilidade da população é maximizada por elementos como o povoamento de áreas que não são propícias para a habitação, em função do tipo de terreno e a sua desvantagem de localização no que diz respeito a deslizamentos e inundações. Neste contexto estão associadas às casas precárias construídas sem boas fundações ou de material impróprio para a área, somadas à ausência de condições econômicas para atender as necessidades humanas (dentro do qual deve ser considerada a criação de um ambiente adequado).

A diferenciação de áreas e dos grupos humanos quanto a vulnerabilidade, se dá também, em função do processo histórico de sua ocupação, e que a diferencia de outras áreas muitas vezes com condicionantes naturais semelhantes, sendo, portanto, um produto social. Neste sentido, Goerl e Kobiama (2013) consideram também que:

Através de comparações da evolução das características de bairros, municípios ou até mesmos de países é possível analisar temporal e espacialmente a dinâmica socioeconômica de um determinado território, avaliando conexões, redes e fluxos que auxiliam a estabelecer condicionantes históricos ou atuais que determinarão uma maior ou menor vulnerabilidade e consequentemente o risco. (GOERL e KOBAMA, 2013, p.16).

A compensação destes elementos históricos, materializados hoje como ocupações inadequadas e fragilidades socioeconômicas de alguns grupos, se faz necessária para a diminuição das vulnerabilidades, como aborda Acsehrad (2006):

Se a vulnerabilidade é decorrência de uma relação histórica estabelecida entre diferentes segmentos sociais, para eliminar a vulnerabilidade será necessário que as causas das privações sofridas pelas pessoas ou grupos sociais sejam ultrapassadas e que haja mudança nas relações que os mesmos mantêm com o espaço social mais amplo em que estão inseridos (ACSELRAD, 2006, p. 2).

Para Alcántara-Ayala (2002), o traçado histórico nos países pobres ou em vias de desenvolvimento de condições econômica, social e política precárias, contribui como fatores de elevada vulnerabilidade aos desastres naturais (vulnerabilidade econômica, social, política e cultural). “Os processos através dos

quais o risco se converte em vulnerabilidade, em qualquer país, são modelados pelo estado latente do desenvolvimento humano, que inclui as desigualdades dos rendimentos, as oportunidades e o poder político que marginaliza os mais pobres” (PNUD, 2007, p. 79). A vulnerabilidade das sociedades latino-americanas a desastres naturais é alta por causa de políticas públicas inadequadas ou poucas estratégias de gestão para lidar com desastres naturais (LATRUBESSE, 2010).

Deste modo, a vulnerabilidade procura traduzir as consequências previsíveis de um fenômeno natural sobre o homem e a sociedade, sendo variável de acordo com circunstâncias socioeconômicas, diferenciando-se dentro de um determinado país, região, estado, cidade, assim como em cada assentamento urbano (ROBAINA, 2013).

Sob a perspectiva de diagnóstico e caracterização, a Defesa Civil e o Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (BRASIL e CEPED, 2010, p. 35) conceituam a vulnerabilidade como um “conjunto de características de um cenário, resultantes de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, que aumentam a sua possibilidade de sofrer danos e prejuízos em consequência de um evento adverso.”

Sobre a premissa de interação entre elementos físicos e sociais da vulnerabilidade, mais recentemente, a literatura de risco tem apresentado a terminologia *vulnerabilidade socioambiental*. Sendo um conceito capaz de captar e traduzir os fenômenos de sobreposição espacial e interação entre problemas e riscos sociais e ambientais, sendo a vulnerabilidade resultante de estruturas socioeconômicas que produzem simultaneamente condições de vida precárias e ambientes deteriorados (ALVES et al., 2010; FREITAS et al., 2012).

Nesta perspectiva, diferentes condicionantes permitem depreender a vulnerabilidade (ou ainda diferentes componentes de vulnerabilidade) de uma população. Estes podem estar relacionadas às características físicas das residências, falta de saneamento, baixa renda, ausência ou ineficácia de políticas públicas, a sua preparação e resiliência e ainda elementos culturais, ideológicos ou educacionais, que dificultam a apreensão dos desastres (ROMERO; MASKREY, 1993; FLORES, 2006; BRASIL; CEPED, 2010; LÁZARO, 2013).

Veyret (2007, p. 40) destaca também que se pode traduzir a vulnerabilidade, entre outras maneiras, como “a determinação dos danos máximos em função de diversos usos do solo e dos tipos de construção”. Da mesma forma, considerando, o

padrão das construções, usos e atividades expostas, são realizadas as abordagens do IPT (2007) em uma série de mapeamentos de risco no território nacional.

Ao assumirmos que a vulnerabilidade se relaciona com os condicionantes socioeconômicos, podemos inferir que, normalmente, os estratos mais pobres sofrem mais com a manifestação dos desastres que os ricos, embora pobreza e vulnerabilidade não sejam uniforme ou invariavelmente correlacionadas em todos os casos. A questão principal reside no significado que atribuímos às formas sociais de explicação de crises, pois para um mesmo desastre, as consequências de uma catástrofe variam, em regra, segundo as categorias das pessoas atingidas.

Para Teles (2010), dentre os critérios explicam estas distinções, tem-se que as pessoas mais abastadas são menos atingidas que os mais pobres, não somente em função de que vivem em porções menos perigosas, afastados das áreas suscetíveis, ou também porque vivem em residências mais confortáveis e mais resistentes. É sobretudo, porque uma parte da sua riqueza é mantida fora do local potencialmente atingido pela catástrofe, seja na forma de bens imobiliários (terrenos, casas), de contas bancárias ou aplicações financeiras, em dissonância aos menos favorecidos, que vivem corriqueiramente em porções mais vulneráveis e concentram os escassos bens na sua casa, sobre o mesmo local que é inundado pelo extravasamento do caudal de um rio ou destruído por um sismo.

No entanto, estimar o quanto uma população é vulnerável não consiste em uma projeção simples, seja pela escolha ou definição de quais os elementos implicam na vulnerabilidade, como se sobrepõem e como se relacionam, determinado em um cálculo de vulnerabilidade. Como apresentado, os elementos que implicam na vulnerabilidade são diversos e muitas vezes se torna oneroso de quantificá-los e medi-los com precisão, seja pela complexidade que apresentam ou pela dificuldade da obtenção de dados que permitam esta mensuração.

Em muitos trabalhos, são feitas implicações para uma determinada área de estudo, sendo relativizados os valores dentro daquele recorte analisado, e consideradas as características como o padrão das construções, usos e atividades expostas. O diagnóstico é realizado por meio dos trabalhos de campo, nas áreas afetadas onde são avaliados os usos atribuídos às edificações e o padrão geral das mesmas, considerando-se o número de pavimentos, área construída, tipo de material da construção e estado de conservação das mesmas, que poderão indicar maior ou menor resistência aos processos de inundação. São exemplos destas

metodologias para estudos de inundações os trabalhos de Saueressig (2010), Robaina et al. (2013), Trentin et al. (2013), Menezes (2014) e Ávila (2015), considerando-se as particularidades de cada município.

Sob perspectiva de padronização de uma medida, Westen et al. (2006) consideram a vulnerabilidade (de 0 a 1) para cada tipo específico de perigo e para cada elemento específico em risco. Da mesma maneira, Julião (2009) cuja vulnerabilidade exprime o grau de perdas e danos associados aos elementos expostos (0 a 1), sendo que quanto maior o grau, maior a vulnerabilidade.

Na aplicação de modelos e caracterização da área afetada, merecem destaque os trabalhos de Machado et al (2005) e de Abreu (2013) com objetivo o desenvolvimento de curvas padronizadas de danos de inundação *versus* profundidade de submersão. Respectivamente, provém de dados empíricos oriundos de uma amostragem realizada em Itajubá (MG), localizada no vale do rio Sapucaí e, a analisar os prejuízos decorrentes de inundações urbanas na bacia do Córrego do Gregório no município de São Carlos (SP), onde o cadastramento dos imóveis residenciais e comerciais presentes na mancha de inundação utiliza setores censitários do IBGE referentes ao relatório do censo 2010, para caracterização das residências. Aplicados à danos e prejuízos estabelecem critérios de vulnerabilidade que se inter-relacionam com o perigo (no caso das inundações, a altura da lamina d'água).

No que tange a obtenção de variáveis e sua disponibilidade por recortes espaciais, no Brasil, os dados do Censo Demográfico tem sido muito utilizados na análise da vulnerabilidade socioeconômica. O Censo Demográfico é a mais complexa estatística realizada por um país, em que características de toda a população e dos domicílios do território nacional são estudadas.

Esta pesquisa é estruturada a partir do “Mapa do Setor” que é representação gráfica do setor censitário. “O setor censitário é a menor unidade territorial, formada por área contínua, integralmente contida em área urbana ou rural, com dimensão adequada à operação de pesquisas e cujo conjunto esgota a totalidade do Território Nacional, o que permite assegurar a plena cobertura do País”. (IBGE, 2011, p. 4). A coleta do Censo Demográfico 2010 foi realizada no período de 1º de agosto a 30 de outubro de 2010, tendo sido realizada sobre a Base Territorial que se constituiu de 316.574 setores censitários.

No censo demográfico de 2010 foi produzido, pela primeira vez na instituição, arquivos com dados em nível de setor censitário. Além das variáveis de identificação geográfica (Grande Região, Unidade da Federação, Mesorregião, Microrregião, Região Metropolitana, Município, Distrito, Subdistrito, Bairro, Setor e Situação do Setor), são distribuídas em planilhas mais de 154 variáveis, que abrangem os domicílios por espécie e as pessoas residentes por sexo e idade.

A coleta de dados no Censo pelo IBGE sobre as características dos domicílios e da população é oriunda de dois questionários: Questionário Básico: com 37 quesitos, onde foram registradas as características do domicílio e de seus moradores na data de referência. Aplicado em todas as unidades domiciliares que não foram selecionadas para a amostra; Questionário da Amostra: questionário com 108 quesitos, onde foram registradas as características do domicílio e de seus moradores na data de referência. Inclui os quesitos do questionário básico somados a outros de investigação mais detalhada e foi aplicado em todas as unidades domiciliares que foram selecionadas para a amostra.

Diante o uso do Censo para mensurar a vulnerabilidade, Goerl et al. (2012) utilizando-se dos dados à exposição do dano, conforme parâmetros estabelecidos para a cidade de Rio Negrinho (SC), estabeleceu um índice de vulnerabilidade a partir da média aritmética de três subíndices (IDH-Longevidade, IDH-Educação e IDH-Renda), estipulados a partir das variáveis censitárias de população, domicílios, faixa etária, educação e rendimento. Para uniformização dessas unidades, todas as variáveis foram escalonadas de 0 a 1, sendo 0 o valor mínimo e 1 o valor máximo e estabelecidas quatro classes: baixa, média, alta e muito alta, definidas por um desvio quartílico dos valores.

Em dimensão mais abrangente, se deram as atividades iniciadas no ano de 2011, setorizando áreas com risco instalado considerados alto e muito alto, para os perigos de inundações, enxurradas e movimentos de massa considerados prioritários em relação às ações emergenciais voltadas à prevenção de desastres, realizado pelo Ministério de Minas e Energia, através do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Foram iniciados mapeamentos preliminares em 821 municípios brasileiros (UFSC/CEPED, 2014).

Através da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, o Ministério da Integração Nacional, deu sequência ao trabalho, estando a coordenação do projeto, sob a responsabilidade do Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e

Desastres (CENAD), com o intuito de estabelecer uma metodologia nacional para mapeamento de vulnerabilidade e risco. As primeiras metodologias para mapeamento e classificação dos graus de vulnerabilidade relacionados às inundações, enxurradas e movimentos de massa, ao cargo do Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, também tem convergido para a adoção de índices ou indicadores escalonados de 0 a 1. São considerando variáveis primárias e do Censo do IBGE, que expressam fatores principais, como socioeconômico, físico-ambiental, educação, percepção de risco e infraestrutura e ocupação do solo.

Mais recentemente, para estimativas de Índices de Vulnerabilidade Social e de Infraestrutura ao risco de inundações da área urbana de Londrina (PR), Barros et al. (2015), selecionaram 36 variáveis iniciais do Censo, que figuraram em 13 variáveis sintéticas distribuídas entre seis indicadores temáticos (educação, renda e estrutura etária, esgotamento sanitário, rede de drenagem pluvial, condições da habitação) Deste modo, propuseram indicadores a partir da soma entre as variáveis sintéticas que resultaram no índice de vulnerabilidade socioambiental para a área de estudo.

Em suma, o cerne das variadas metodologias implica que mensurar a vulnerabilidade é imprescindível para que se possa realizar a análise e mapeamento de risco, seja por meio de critérios mais subjetivos, relativos a uma dada área ou, ainda, por critérios quantitativos e abordagens mais gerais. Da mesma forma, o uso de levantamentos primários e empíricos ou o uso de variáveis socioeconômicas secundárias, como as do IBGE, coletadas durante os censos de forma padronizada, mostram-se eficientes e em complementariedade, considerando as características da área, tipo de processo e escala adotada, permitindo comparações e correlações, tornando viáveis as análises necessárias.

Deste modo, a vulnerabilidade apresenta-se inerente às condições socioeconômicas e ao contexto do sistema receptor, que modificam a capacidade de intervenção, resistência e resiliência, constituindo um fator determinante no impacto das inundações. Portanto, a vulnerabilidade indica a predisposição aos danos dos componentes antrópicos do território em perigo, podendo ser medida e estimada conforme critérios específicos e gerais. Esta representa o provável cenário da magnitude de danos e perdas, que manifesta-se pela maior ou menor fragilidade da população e elementos expostos, frente à ocorrência de um processo que remete a um perigo.

3.1.3 Risco

O risco pode ser entendido como o resultado da ligação entre a ameaça ou a probabilidade de ocorrência de um evento, e a vulnerabilidade dos elementos expostos ou o fator interno de seletividade da severidade dos efeitos sobre esses elementos. Medidas estruturais, tais como o desenvolvimento de ações de proteção e intervenção e não estruturais, tais como a regulamentação das medidas de uso do solo e a incorporação de aspectos preventivos e preparações para atendimento de emergência, podem reduzir as consequências de um evento em uma região ou de uma população (CARDONA, 1993).

Zuquete (1993) coloca que o risco é a probabilidade de que ocorram perdas (econômicas, sociais e ambientais), além de um valor considerado normal e aceitável para um dado lugar específico, durante um determinado período de tempo. É considerado o resultado da relação entre um perigo e vulnerabilidade dos elementos expostos (seres humanos, residências, entre outros). “Pode-se, portanto definir o risco como a representação de um perigo ou álea (reais ou supostos) que afetam os alvos e que constituem indicadores de vulnerabilidade”. (VEYRET, 2007 p. 30). Para Soriano e Valencio (2009), os riscos indicam a relação entre dano potencial e característica do sistema receptor, onde destacam:

Os riscos, relação entre ameaça e vulnerabilidade, são a potencialidade de ocorrência de algum evento desastroso. [...] Trata-se de um processo de ruptura que se caracteriza por duas variáveis: a primeira é a espacialização do evento desastroso e a segunda como um fenômeno social, ou seja, os desastres são referidos espacialmente e socialmente através de diferentes níveis de vulnerabilidade (SORIANO e VALENCIO, 2009, p. 146).

Corroborando com estas concepções a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC, 2012), entende que risco é “relação existente entre a probabilidade de que uma ameaça de evento adverso ou acidentes determinados se concretize, com o grau de vulnerabilidade do sistema receptor a seus efeitos”.

Neste mesmo sentido, Bertone e Marinho (2013) colocam que a condição de risco, é materializada na ocupação de áreas suscetíveis, expressando a relação do perigo e vulnerabilidade.

Determinada população está em condição de risco quando ocupa um terreno suscetível a desastres, dada a condição geológica-geotécnica

propícia, e de modo frágil, conforme o padrão construtivo das edificações, tornando-se, assim, vulnerável (BERTONE e MARINHO, 2013 p. 7).

Devem ser considerados ainda que as áreas de risco constituem elementos historicamente construídos no espaço urbano das cidades ao longo do seu processo de ocupação. Estes são resultado da relação entre os elementos naturais e as relações sociais permeadas pela desigualdade e materializadas no espaço (ROBAINA, 2013).

Da mesma forma que nas conceituações de risco são considerados os condicionantes de vulnerabilidade e perigo, e estes podem ser heterogêneos no espaço. O risco sendo a combinação destes, também pode variar conforme apresentam-se estes elementos. O risco não torna-se estático ou imutável, no tempo ou no espaço, apresentando variabilidade a partir dos elementos que o configuram e relacionam-se entre si e estabelecem esta condição, como expressam Marandola Júnior e Hogan (2006):

O perigo, quando aparece, é em geral um substantivo, que ameaça à integridade de um sistema (antrópico ou social) e que pode ser desde o próprio corpo (saúde, vida), passando por cidades, bacias, até grandes ecossistemas. Já a vulnerabilidade é entendida como um adjetivo, que se refere a estes mesmos sistemas, como as qualidades intrínsecas destes de resistir ao perigo. Daí advém a ideia de que o risco é definido após o conhecimento do grau de vulnerabilidade e do perigo, pois ele é o resultado desta relação. Assim, o risco é uma situação ou uma condição (MARANDOLA JÚNIOR e HOGAN, 2006, p. 46).

Como exemplifica Kuhnen (2009), dois grupos populacionais podem estar sujeitos ao mesmo perigo, mas podem não apresentar o mesmo risco por não estarem igualmente em situação de vulnerabilidade. Assim, quaisquer alterações que minimizem a vulnerabilidade minimizam os danos e, conseqüentemente, os riscos, conforme Lourenço (2015) elucida a respeito das inundações e a presença de medidas de alerta junto à população afetada.

Com efeito, em determinadas situações, como, por exemplo, nos riscos de inundação em que existe uma cultura das cheias e, por conseguinte em que se sabe interpretar os sinais de alerta por elas transmitidos, ou então, quando sua prevenção funciona e emite avisos à população sobre as atitudes a tomar e sobre o que deverá ser feito, os prejuízos são substancialmente reduzidos. Nessas circunstâncias, por vezes é possível retirar as pessoas, e seus bens, dos locais suscetíveis à manifestação do risco de inundação, ou, pelo menos, acondicioná-los de modo a que não sofra danos avultados. Assim, embora o risco se manifeste, como se

reduziu a vulnerabilidade, os prejuízos serão minimizados (LOURENÇO, 2015, p. 5)

Para Smith e Petley (2009), uma amplitude teórica do risco pode ser representada por uma combinação de exposição física gerada pelos perigos ambientais, sua variabilidade em um local particular e a vulnerabilidade humana. Esta relação se dá de maneira diretamente proporcional, tanto do perigo quanto da vulnerabilidade, em relação ao risco. As áreas mais expostas apresentam maior vulnerabilidade, aumentando assim o risco, da mesma forma que uma maior presença do perigo, torna o risco mais expressivo. Em uma perspectiva semelhante, Marcelino (2008) propõe a identificação e avaliação de risco, a partir da análise dos perigos (P), o estudo da vulnerabilidade (V) e o mapeamento das áreas de risco (R).

Considerando os conceitos de vulnerabilidade e de perigo e pressupondo da expressão espacial do risco (localização), por meio da suscetibilidade, Julião et al. (2009) propõem a determinação de diferentes graus de risco, por meio da avaliação do quanto provável é um perigo e estabelecendo valores de vulnerabilidade. Em consonância, Cunha e Leal (2011) colocam que o estudo de riscos naturais, visando o ordenamento do território, deve envolver o estudo da probabilidade temporal (probabilidade) e espacial (suscetibilidade) de ocorrência dos fenômenos perigosos, juntamente com o estudo da vulnerabilidade das comunidades potencialmente afetadas por esses fenômenos.

Em concepção semelhante, Saraiva (2012, p.101) pondera que a avaliação de um risco resulta da “multiplicação das suas probabilidades objetivas pelo montante dos danos esperados, o que se pode traduzir em múltiplas combinações desde baixas probabilidades-danos mínimos a elevadas probabilidades-danos máximos.”

Sob perspectiva do processo de inundação e a configuração de áreas de risco, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2007) e também Mori e Perrings (2012), referem-se a toda área passível de ser atingida por processos de inundação tendo em vista os prováveis danos causados em função da vulnerabilidade.

No que tange a quantificação do risco, Westen et al. (2006) em recapitulação de Lee e Jones (2004), mencionam que ao olharmos para o risco total, o risco é multiplicado como as perdas esperadas para todos os tipos de elementos em risco (quantidade de vulnerabilidade). Assim o risco específico resultaria em um valor único de perdas potenciais para uma dada probabilidade. Para os autores, este valor

teoricamente é estabelecido contendo a relação entre todos os eventos com diferentes probabilidades, e as perdas correspondentes, que formam a base para as fases de redução de risco, transferência de risco e planejamento de preparação

Portanto, a partir destas concepções, entende-se que o risco de uma dada área depende da compreensão e interação de processos que ocorrem neste meio, a partir da presença de uma ameaça (perigo) e do contexto da área afetada (vulnerabilidade). Da mesma forma, a hierarquização de níveis de perigo e de valores de vulnerabilidade relacionados, permite estabelecer diferentes graus de risco de inundação. Recorrência e área afetada implicam no perigo e características das moradias (ou ainda da população) implicam em componentes da vulnerabilidade, que analisados espacialmente de forma pontual ou zonal, compõem diferentes graus de risco.

3.2 AS INUNDAÇÕES

As inundações são o perigo natural mais comum, afetando mais pessoas e causando mais danos do que qualquer outro tipo de perigo, incluindo terremotos, erupções vulcânicas, deslizamentos de terra e tsunamis (KUSKY, 2008). No entanto, Kobiyama (2006) destaca a existência de divergências e diferentes percepções quanto às definições e terminologias utilizadas para as inundações, havendo uma dificuldade em padronizar categorias. Tal situação não se dá necessariamente pela falta de conhecimento, e sim, devido à dificuldade de identificação do fenômeno em campo e à ambiguidade das definições existentes.

Recaem sobre a categorização das inundações às diversas opiniões dos especialistas sobre os critérios que devem ser utilizados e de que forma isso deve ser feito. São encontradas algumas variações e divergências em sua definição, diferenças ou até mesmo a atribuição de sinônimos no que se refere conceituação, conforme apontam o Ministério das Cidades (BRASIL/IPT, 2007) e o Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (BRASIL/CEPED, 2010).

Desta forma, as terminologias utilizadas referentes aos perigos associados à dinâmica fluvial protagonizam um grande leque de definições e conceitos não existindo uma unanimidade entre autores, pesquisadores e órgãos que se apropriam das discussões a respeito das inundações, não sendo incomuns os erros no registro

de eventos, na produção e interpretação de materiais utilizados em estudos e na gestão de risco (MENEZES, 2014).

O Ministério das Cidades/IPT (2007, p. 11) considera que “a inundação representa o transbordamento das águas de um curso d’água, atingindo a planície de inundação ou área de várzea”. Nesta abordagem os termos “enchente” e “inundação” são dissociados.

A ISDR (2008, p.12), não reporta distinção entre conceitos, sendo “as inundações e enchentes problemas geoambientais derivados de fenômenos ou perigos naturais de caráter hidrometeorológico ou hidrológico”. Da mesma forma, Amaral e Ribeiro (2009, p. 41) definem inundações e enchentes como “eventos naturais que ocorrerem com periodicidade nos cursos d’água, frequentemente deflagrados por chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração”.

As enchentes foram consideradas uma categoria de inundação na antiga Codificação de Desastres, Ameaças e Riscos (CODAR) definida por Castro (2003), sendo as inundações divididas em dois tipos distintos em função do padrão evolutivo: as inundações graduais (enchentes) e as inundações bruscas (enxurradas). As inundações graduais ocorrem quando a água eleva-se de forma lenta e a seguir escoam-se gradualmente, associadas às precipitações frontais, que geralmente, são de maior duração e atuam sobre grandes áreas. Nas inundações bruscas ou enxurradas a elevação dos caudais é súbita e seu escoamento é violento, ocorrendo em um tempo próximo ao evento da chuva que a causa, geralmente de curta duração e alta intensidade.

Tucci (2005) descreve duas tipologias colocando a interferência antrópica como um elemento importante, muito associada ao escoamento que produzem as inundações e impactos no uso do solo: inundações em áreas ribeirinhas e/ou inundações devido à urbanização. As inundações de áreas ribeirinhas ocorrem devido à variabilidade temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica, associadas ao extravasamento natural para o leito maior dos rios. As inundações devido à urbanização ocorrem devido ao efeito da impermeabilização do solo, canalização do escoamento ou obstruções ao escoamento, associadas à drenagem urbana.

Com o intuito de estabelecer uniformidade, ao menos no território nacional, a Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) foi instituída por meio da Instrução Normativa nº 1, de 24 de agosto de 2012, em substituição à Codificação de

Desastres, Ameaças e Riscos (CODAR). A COBRADE foi elaborada a partir da classificação utilizada pelo Banco de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT) do Centro para Pesquisa sobre Epidemiologia de Desastres (OFDA/CRED) e da Organização Mundial de Saúde (OMS/ONU). Assim, na nova codificação da Defesa Civil, são considerados somente “inundações” e “enxurradas”, para eventos que marcam o extravasamento da água em direção ao leito maior. Passou para desuso (ao menos oficialmente) a tipologia “enchente” (que remetia à inundações graduais).

De acordo com a ISDR que classifica como eventos hidrológicos os processos que resultam em alagamentos, enchentes, inundações graduais e bruscas e movimentos de massa (deslizamentos), sob o contexto do COBRADE (2012), as inundações estão na categoria de Desastres Naturais e passaram a se enquadrar no grupo dos desastres hidrológicos (ao lado de enxurradas e alagamentos). Estes processos ficam assim descritos e caracterizados:

Inundações: Submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água, de modo gradual, atingem zonas que normalmente não se encontram submersas e geralmente na ocorrência de chuvas prolongadas em áreas de planície;

Enxurradas: Transbordamento brusco da calha fluvial, elevação súbita das vazões de drenagem com grande poder destrutivo e com escoamento superficial de alta velocidade e energia associadas a chuvas intensas e concentradas e normalmente à pequenas bacias de relevo acidentado;

Alagamentos: Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana, acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas (COBRADE , 2012).

Destaca-se que os alagamentos também estão associados à construção sobre áreas planas e junto aos cursos naturais de pequeno porte, sendo canalizadas ou incorporadas à drenagem pluvial. Essa condição faz com que a água acumule nestas áreas. Os alagamentos acontecem quando a rede de drenagem não suporta a descarga de água das chuvas, para isso não há necessariamente participação de nenhum curso d'água (VALENTE, 2009). Caracterizam um acúmulo momentâneo de águas em determinados locais, por deficiência no sistema de drenagem urbana, como bueiros entupidos ou cursos d'água com acúmulo de detritos (AMARAL e GUTJAHR, 2011).

Neste sentido, Robaina (2013) considera que muitas das modificações do sistema rio-planície de inundação, são feitas desconsiderando-se a fragilidade do sistema e sem compreender como as mudanças em parte, refletirão no todo. Em muitos casos, as obras de engenharia fluvial que não utilizam uma abordagem multidisciplinar têm contribuído para aumentar a inundação que ocorreu devido a mudanças nas condições naturais dos rios (LATRUBESSE, 2010).

Em meio às terminologias associadas, observa-se o amplo uso da palavra “cheia” como sinônimo de inundação. Quanto a este aspecto conceitual, Veyret (2007) destaca que:

É preciso distinguir cheia de inundação. A cheia é definida pela alta das águas, que podem permanecer no leito menor do curso de água. A partir do momento que este não é mais capaz de conter o escoamento a água transborda e se espalha pelo leito maior, provocando uma inundação. Pode haver, portanto, uma cheia sem inundação. (VEYRET, 2007 p. 64)

As cheias são definidas pela elevação do nível d'água do rio, devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem extravasar. Quando extravasam, as enchentes passam a ser chamadas de inundações e podem atingir as moradias construídas sobre as margens do rio e se transformar em um desastre natural (AMARAL e GUTJAHR, 2011).

Na tentativa de aproximação das inundações como eventos adversos, um apontamento inicial remete à definição de Macías et al. (1996, p. 37), onde considera-se “fluxo de inundação ou invasão da água por excesso de escoamento superficial ou a acumulação em terreno plano, causada pela falta ou inadequação tanto de drenagem natural como artificial.” Se faz aqui uma necessária ressalva, não à descrição do processo, mas à percepção de que de fato, geralmente a água não invade um terreno com ocupação humana e sim, ocupa uma área que faz parte do canal fluvial.

Eckhardt (2008) considera que a inundação está associada ao excesso de volume de água, que não drenado pelo canal principal (leito menor), inunda as áreas ribeirinhas (leito maior ou planície de inundação). Estas constituem fenômeno natural, que só causa desastre quando afeta diretamente ou indiretamente o homem e suas atividades em um lugar e um determinado tempo (MONTEIRO e PINHEIRO, 2012).

Na condição de processo natural, as inundações são controladas feições atmosféricas por características físicas e morfométricas e uso da terra da bacia hidrográfica que atuam sobre a quantidade e distribuição das águas e, portanto, a frequência e a intensidade das inundações (BOTELHO, 2011; NUNES, 2015).

Para Kusky (2008) as várzeas são áreas relativamente planas que ocupam fundos de vale e são geralmente compostas de sedimentos não consolidados. Em sistemas fluviais naturais (aqueles não perturbadas por diques, etc.), o rio vai subir, extravasar periodicamente de suas margens e cobrir a várzea com água e sedimentos finos. Diferentes níveis de inundação e diferentes partes da planície de inundação pode ser alcançado com diferentes frequências de inundações.

Inundações de magnitude específica tem um intervalo provável de reincidência. Pequenas inundações ocorrem com bastante frequência, inundações maiores ocorrem com menos frequência, e as maiores inundações ocorrem com o intervalo de tempo mais longo entre si. O intervalo de tempo entre inundações de uma descarga específica é conhecido como o intervalo de recorrência, e este é comumente citado usando estatísticas para a inundação (KUSKY, 2008).

3.3 A OCUPAÇÃO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS E DANOS ASSOCIADOS A INUNDAÇÕES

Inicialmente deve-se considerar que o fluxo normal dos rios é um benefício, proporcionando hidráulica, comodidade, etc., enquanto fluxos muito elevados podem trazer uma inundação. Muitos usos da água dependem de tecnologia no controle do rio, sob a forma de aterros, pontes e barragens. A água sob o controle humano em um reservatório é percebida como um recurso, mas se essa tecnologia falha e a barragem entra em colapso, pode resultar em uma inundação. Deste modo, é importante perceber que os perigos ambientais não provem nem de um deus vingativo nem um ambiente hostil. Pelo contrário, o ambiente é "neutro" e é o uso humano do meio ambiente, que identifica recursos e perigos através da percepção humana (SMITH e PETLEY, 2009).

As áreas ribeirinhas, que marcam ao leito maior de um rio geralmente são planas e propícias para o assentamento humano. Muitas cidades, no passado, foram assentadas próximas a rios de médio e grande porte, em função de uso para transporte fluvial e fonte de recursos. Tais características ocasionam a ocupação da

planície de inundação, principalmente quando a frequência de inundação é baixa (TUCCI, 2005). Nestas áreas, práticas de urbanização e agricultura, ou quaisquer ocupações executadas em distância do contexto da prevenção de desastres ou da compreensão da periodicidade das inundações, irão desencadear danos.

Christofolletti (1980) coloca que as várzeas, toponímia popular utilizada para referir-se às planícies de inundação, constituem a forma mais comum de sedimentação fluvial, encontrada nos rios de todas as grandezas. A planície de inundação torna-se o leito do rio nas enchentes sendo essa a área inundada.

Os rios criam suas amplas planícies planas por erosão e deposição durante as inundações e estas planícies servem para escoar o fluxo durante estes eventos. Apesar das várzeas não serem ocupadas pela água durante muitas dezenas de anos, eles são parte do sistema de fluxo, e o fluxo retornará. Construir extensivamente sobre as planícies de inundação faz com que essas comunidades venham a também a ser inundadas (KUSKY, 2008).

Sendo assim, entende-se que as áreas próximas aos rios, são predispostas à ocorrência periódica do extravasamento do canal principal, sendo portanto suscetíveis a este processo. O Ministério das Cidades (BRASIL/IPT, 2007, p. 10) coloca que a suscetibilidade “indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em áreas de interesse ao uso do solo, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência”.

A probabilidade e a ocorrência de processos relacionados à dinâmica hídrica são analisadas pela combinação entre os condicionantes naturais e antrópicos e atributos físicos que uma determinada área possui e que a torna potencialmente sujeita a estes processos (TOMINAGA et al., 2009; LIMA, 2010).

Intervenções na dinâmica natural do rio, especialmente quando tratadas de forma pontual, muitas vezes visando a diminuição das frequências das inundações, que desconsideram o contexto da bacia hidrográfica podem, mitigar os processos no local de intervenção e, ao mesmo tempo, induzir a ocorrência em outras áreas ou acarretar em mudanças em um cenário de áreas inundáveis.

Inundações tornaram-se mais perigosas à medida que mais e mais pessoas passaram a ocupar as várzeas dos rios gerando modificação de córregos e de toda a planície de inundação. Muitas modificações no sistema rio - planície de inundação, foram feitas desconsiderando sua fragilidade e sem ser apreciado que a mudança de parte do sistema resultaria em mudanças para outras partes. Estas modificações

podem resultar em inundações mais frequentes e danosas, do que se o sistema de rio-planície de inundação fosse deixados em seus estados naturais, ou modificados pontualmente (KUSKY, 2008; BOTELHO, 2011).

Amaral e Gutjahr (2011) colocam que algumas interpretações equívocas a respeito das inundações fazem estas serem subestimadas, sendo desconsiderada a ameaça. Entre estas estão a percepção de que somente as casas instaladas nas margens dos cursos d'água estão sujeitas à inundação e a desconsideração da variabilidade dos tempos de retorno, sendo que em alguns locais a planície fluvial só chega a ser inundada em sua totalidade em tempos de retorno maiores.

Latrubesse (2010) aponta que os desastres hidrometeorológicos parecem estar aumentando em ocorrência e tendem a ser mais frequente do que desastres geológicos. Este considera que a ocorrência e as consequências destes desastres pode estar mudando por causa da crescente impacto humano sobre o meio ambiente, mudanças no clima e porque mais pessoas e atividades econômicas estão sendo situados em áreas perigosas. Para Veyret (2007), a maior apresentação do risco em nossas sociedades, está associada antes de tudo, à atribuição à natureza uma responsabilidade que poderia ser creditada a própria sociedade. A ação de alguns atores que envolvem desde o poder público, os agentes imobiliários, e a própria população afetada, fazem com que os desastres sejam vestidos de certo fatalismo, o que lhes atenua responsabilidades.

No entanto, se estabelece um contraponto, originado pela leitura crítica dos fenômenos naturais e sua relação com o homem que distancia explicações mais místicas e fatalistas, e a sensação de controle desta natureza, que gera uma expectativa de segurança muitas vezes superestimada. Contraditoriamente, isto aumenta a exposição e número de expostos, como aponta Saraiva (2012):

Ademais, os progressos científicos na compreensão dos fenômenos naturais e da sua interação com o Homem vêm sendo significativos, afastando cada vez mais estes acontecimentos do entendimento místico dos primitivos. Não deixa de ser paradoxal que o acesso à informação e o conhecimento acrescido na sociedade atual possam igualmente conduzir a comportamentos irracionais ligados a um risco moral potenciado pelo otimismo gerado pela sensação de controle sobre o destino e as forças da natureza. Com efeito, o montante dos custos associado a eventos extremos tem vindo a agravar-se, não tanto por um aumento da sua frequência ou força destruidora mas porque o Homem tende a colocar cada vez mais bens valiosos em zonas vulneráveis, expondo-os de forma crescente (e aparentemente irracional). O conhecimento estimula a crença de que é possível prever e mitigar com maior acuidade os desastres, conferindo um

sentimento de maior segurança, invulnerabilidade e de capacidade de assumir as rédeas dos acontecimentos. (SARAIVA, 2012, p.100).

Robaina (2013) destaca que a percepção do aumento da frequência e da intensidade de desastres, percebida a partir da segunda metade do século passado, deve ser atribuída em grande parte, à ocupação extensiva do espaço geográfico sem que haja observância das dinâmicas naturais, além do aumento da magnitude e constância de eventos naturais adversos.

Conforme Sant'Anna Neto (2014) a ocupação do espaço geográfico, mediada de forma desigual, permite admitir que o risco possa também ser interpretado como uma construção social. Esta denota a confluência entre a dinâmica da natureza e as diferenciações socioespaciais.

A produção do espaço, notadamente nos países emergentes, como é o caso do Brasil, segue a lógica da reprodução capitalista, geradora de espaços segregados. Longe de se produzir uma prática que respeite e se adapte às condições ambientais, as contradições inerentes a este processo resultam em impactos aos quais determinados grupos sociais são altamente sensíveis, tornando estas desigualdades ainda mais agudas (SANT'ANNA NETO, 2014, p. 20).

No Brasil, um cenário histórico de acesso desigual à terra e a moradia em áreas urbanas, desencadeou um quadro de ocupação irregular, especialmente nos grandes centros urbanos. A população de baixa renda é mais vulnerável a desastres naturais, devido à realidade de pobreza desta, o desrespeito à legislação, muitas vezes motivado pela especulação imobiliária e o mau uso do solo, o que tem gerado um quadro de degradação responsável pela potencialização a processos de risco (MAFFRA & MAZZOLA, 2007).

Ocasionada pela falta de ordenamento, temos uma “urbanização espontânea” que avança em direção às áreas ilegais e públicas. A redução de estoques de terrenos em áreas seguras, e sua consequente valorização, provoca a ocupação pelos estratos populacionais mais vulneráveis de áreas de risco associadas a inundações e escorregamento. Quando há adensamentos populacionais destas áreas, os desastres assumem proporções significativas, causando grandes perdas econômicas e sociais (FERNANDES et al., 2001; CASTRO, 2003; TUCCI, 2005).

Listo e Carvalho (2012) reforçam que a ocupação junto a encostas íngremes e áreas sujeitas a processos de inundação, é também oriunda do quadro de exclusão social, resultando na presença de bairros pobres e numerosos, com

carências de saneamento e infraestrutura, que se expandiram rapidamente após a década de 60 no país. Neste sentido, as carências urbanas e a expressão da pobreza assumem padrão espacial, conforme descreveu Santos (1993):

A cidade em si, como relação social e como materialidade, torna-se criadora de pobreza, tanto pelo modelo socioeconômico de que é suporte, como por sua estrutura física, que faz dos habitantes das periferias (e dos cortiços) pessoas ainda mais pobres. A pobreza não é apenas o fato do modelo socioeconômico vigente, mas também do modelo espacial (SANTOS, 1993, p. 10).

Corroboram para tal cenário, as características do planejamento urbano que se materializa no Brasil, privilegiando as classes mais altas, com maior investimento, que ocupam melhores localidades da cidade. Para a maioria das pessoas, restam as áreas menos valorizadas, as muitas áreas de risco e espaços densamente construídos (MENDONÇA, 2011).

Destaca-se ainda que o processo de ocupação das áreas suscetíveis e a compreensão de como este se deu ao longo do tempo e no espaço, é um elemento importantíssimo quanto à definição de vulnerabilidades e na figuração de um maior ou menor risco. Esta característica materializa-se na figura de diferentes capacidades de intervenção e de como são incorporadas ao espaço urbano as áreas sujeitas a inundações. De maneira geral, as áreas planejadas e ocupadas gradativamente apresentam medidas estruturais que minimizam as consequências das inundações. As áreas atreladas à expansão espontânea e realizada de forma rápida, são mais vulneráveis pela ausência destas medidas.

3.4 GERENCIAMENTO DE INUNDAÇÕES

Os desastres são um impedimento ao desenvolvimento econômico e humano ao nível dos grupos familiares (quando gado, plantações, casas são repetidamente destruídas) e em nível nacional quando as estradas, pontes, hospitais, escolas e outras instalações estão danificados. O padrão de tais frequentes tensões, causada por uma grande variedade de mecanismos "naturais" como desencadeadores, tem sido muitas vezes complicado por ação humana, tanto pelos esforços para paliar os efeitos da catástrofe e pela causalidade social da vulnerabilidade (WISNER et al., 2005).

O Relatório do Banco Mundial (2014) aponta que apesar da exposição e vulnerabilidade do Brasil a eventos naturais adversos e desastres recorrentes, os impactos não foram objeto de estudos sistemáticos e aprofundados e assim pouco se sabe sobre os efeitos dos desastres naturais. Todavia, o número de desastres registrados cresceu expressivamente, as perdas humanas e econômicas associadas a eles também vêm aumentando.

Considerando-se este cenário, o Brasil tem buscado se adequar as agendas e diretrizes internacionais, como o Marco de Ação de Hyogo, assinado no ano de 2005 por 168 países-membros da ONU, que tem objetivo de aumentar a resiliência das nações e comunidades, visando a diminuição da vulnerabilidade. A Estratégia de Hyogo propunha a redução dos desastres até o ano de 2015, a partir da necessidade de conhecer o risco e adotar medidas, desenvolver uma maior compreensão e conscientização, reduzir o risco, fortalecer a preparação em desastres para uma resposta eficaz, em todos os níveis. A Estratégia de Hyogo aponta diretrizes para políticas de saúde, de educação, do ordenamento do território e da política de urbanismo, introduzindo códigos de boas práticas de construção e reabilitação, que tornem as edificações mais resistentes a eventos naturais extremos (CORREIA DA SILVA, 2012).

Da mesma forma, grande parte Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, como apontam as conceituações e classificações atualmente utilizadas, é contextualizada à implementação da Estratégia Internacional para a Redução de Desastres (EIRD ou ISDR) no ano de 1999, caracterizada pela mudança da ênfase tradicional na resposta a desastres, para a redução de desastres, procurando promover uma chamada "cultura de prevenção".

De acordo com terminologia da ISDR (UN/ISDR, 2009, p. 27), a expressão “redução do risco de desastres” ou simplesmente “redução de desastres” concentra-se no conceito e na prática de:

(...) reduzir o risco de desastres mediante esforços sistemáticos dirigidos à análise e à gestão dos fatores causadores dos desastres, o que inclui a redução do grau de exposição às ameaças (perigos), a diminuição da vulnerabilidade das populações e suas propriedades, uma gestão prudente dos solos e do meio ambiente e o melhoramento da preparação diante dos eventos adversos (UN/ISDR, 2009, p. 27).

Deste modo, a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) abrange as ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação voltadas à proteção e defesa civil é instituída pela Lei nº 12.608/12 que dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC), o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC) e institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, além de alterar uma série de legislações, associadas à temas relevantes na redução de desastres, como habitação e educação.

É a partir de um sistema que articula órgãos e entidades da administração pública federal, dos estados, do Distrito Federal e dos municípios que está organizada a Proteção e Defesa Civil no Brasil. Esta estruturação da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, se estabelece com o intuito de cumprir os objetivos que se integram às políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, geologia, infraestrutura, educação, ciência e tecnologia e às demais políticas setoriais, tendo em vista a promoção do desenvolvimento sustentável.

Pela Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012, a Defesa Civil passa a ser um 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. Neste sentido ações de prevenção são destinadas a reduzir a ocorrência e a intensidade de desastres, por meio da identificação, do mapeamento e do monitoramento de riscos, ameaças e vulnerabilidades locais, incluindo a capacitação da sociedade em atividades de defesa civil, entre outras ações estabelecidas pelo Ministério da Integração Nacional.

Santoro (2011) coloca que para responder às necessidades de prevenção de desastres associados aos riscos físicos, são desenvolvidos pesquisas, estudos e atividades, em três níveis de abordagem: planejamento, gerenciamento e administração, intervenção e mitigação. O planejamento tem o objetivo de evitar o aparecimento de situações de risco; O gerenciamento o objetivo de permitir uma convivência, em termos aceitáveis com as situações de risco já instaladas. A intervenção ou mitigação tem o objetivo de solucionar os problemas decorrentes das áreas de risco existentes.

O planejamento está associado com a proposição de metas na busca da melhoria de uma determinada situação e chegar a decisões ou a escolhas visando

melhores alternativas para o aproveitamento dos recursos disponíveis. (SANTOS; 2004; ZACHARIAS, 2010).

O gerenciamento remete ao controle e monitoramento, enquanto a gestão é mais abrangente e permite instituir medidas as quais podem ser administrativas, jurídicas ou ambientais (ZACHARIAS, 2010). Para Pojasek (2008), a gestão do risco envolve proativamente identificar e se preparar para o que pode acontecer, em vez de simplesmente reagir a eventos indesejados e dispendiosos.

Da mesma forma, o gerenciamento deve ser diferenciado da gestão de risco conforme aponta Nogueira (2002):

Gerenciamento, na concepção aqui adotada, envolve o conjunto de medidas de organização e operação institucional para o tratamento de situações de risco existentes, no âmbito da competência e atribuição do órgão público que o executa. A gestão dos riscos urbanos, mais abrangente, é parte da gestão do ambiente urbano e compreende, além do gerenciamento de riscos, políticas públicas de habitação e desenvolvimento urbano e de inclusão social e mecanismos de regulação e aplicação dessas políticas (NOGUEIRA, 2002, p. 77).

Portanto, embora possam ser dissociados, estes termos apresentam grande relação na diminuição dos danos associados às inundações, pois as ações tomadas em cada uma destas ações evitam a conversão de novas áreas de risco, o convívio com os riscos de inundação, sendo estes medidos e monitorados ou até a reversão da condição perigosa.

Amaral e Gutjahr (2011) estabelecem etapas que correspondem ao esforço de prevenir a ocorrência do desastre, mitigar as perdas, preparar-se para as consequências, responder às emergências e recuperar-se dos efeitos dos desastres.

Estas etapas são a Prevenção, Mitigação, Preparação e Alerta, dadas antes da ocorrência de um evento adverso. A Resposta, dada durante o evento e as etapas de Reabilitação, Reconstrução e Desenvolvimento, estabelecidas depois do desastre. Sistematizadas compõem gerenciamento dos desastres, podendo ser caracterizadas conforme o Quadro 2.

Quadro 2 - Etapas de gerenciamento de desastres.

Antes do desastre	Durante o desastre	Depois do desastre
Prevenção: objetiva evitar que ocorra o evento. Mitigação: pretende minimizar o impacto do desastre, reconhecendo que muitas vezes não é possível evitar sua ocorrência. Preparação: estrutura a resposta (planejamento das ações emergenciais caso o desastre ocorra). Alerta: corresponde à notificação formal de um perigo iminente.	Atividades de resposta ao desastre: são aquelas que se desenvolvem no período de emergência ou imediatamente após ocorrido o evento. Nesse momento, são acionados imediatamente o Corpo de Bombeiros e a Defesa Civil. Podem envolver ações de evacuação, busca e resgate, de assistência e alívio à população afetada e ações que se realizam durante o período em que a comunidade se encontra desorganizada e os serviços básicos de infraestrutura não funcionam.	Reabilitação: período de transição que se inicia ao final da emergência e no qual se restabelecem os serviços vitais indispensáveis e os sistemas de abastecimento da comunidade afetada. Reconstrução: caracteriza-se pelos esforços para reparar a infraestrutura danificada, restaurar o sistema de produção e revitalizar a economia. Desenvolvimento: busca alcançar ou superar o nível de desenvolvimento prévio ao desastre.

Fonte Amaral e Gutjahr (2011, p. 78).

No gerenciamento de risco de inundações, as medidas de correção e prevenção que visam minimizar os danos das inundações, podem ser classificadas em medidas estruturais e medidas não estruturais, de acordo com a sua natureza. Embora a gestão envolva muitas vezes além que o conhecimento técnico, interesses de atores e agentes atuantes nesta gestão, Canholi (2005) sugere que um planejamento consistente, “[...] deve estar prevista a combinação adequada de recursos humanos e materiais, e um balanceamento harmonioso entre medidas estruturais e não estruturais” (CANHOLI, 2005, p. 25-26).

Para Tucci (2005) as medidas estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial, podendo ser através de obras na bacia (medidas extensivas) ou no rio (medidas intensivas) para evitar o extravasamento do escoamento para o leito maior decorrentes de inundações.

As medidas não estruturais são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes, através de medidas preventivas como o alerta de inundação, seguro contra inundações e medidas de proteção individual, assim como os mapeamentos de risco em áreas já consolidadas a ocupação e o conhecimento de áreas impróprias, evitando a sua ocupação. Tucci (2005) destaca ainda que:

O controle da inundação é obtido por uma combinação de medidas estruturais e não-estruturais que permita à população ribeirinha minimizar suas perdas e manter uma convivência harmônica com o rio. As ações incluem medidas de engenharia e de cunho social, econômico e administrativo. A pesquisa para a combinação ótima dessas ações constitui o planejamento da proteção contra a inundação ou seus efeitos (TUCCI, 2005, p. 54).

Historicamente, os riscos de inundação têm sido geridos através do regulador de proteção contra inundações. As soluções mais comuns incluíram restrições regulatórias em qualquer nível ou o tipo de desenvolvimento permitido em várzeas e obras de engenharia para conter as enchentes através de diques, barragens, açudes ou aterros. A abordagem estrutural nas políticas de controle de inundações permaneceu aceita e predominantemente preponderante em todo o mundo, sendo que a partir segunda metade do século passado se estabeleceu uma sensibilização quanto às preocupações ambientais e se tem um crescimento na implementação de medidas não estruturais, também necessárias (PARKER, 1995; CORREIA et al., 1999; MORI e PERRINGS, 2012).

Dentre as medidas estruturais mais difundidas estão os mapeamentos de risco, que visam a identificação de locais inadequados para determinados tipos de ocupação e podem apontar áreas mais críticas, que devem ser desocupadas. Do mesmo modo, permitem identificar áreas que devem ser convertidas em uso alternativo que minimizam os danos ou ajudam no controle das inundações, como áreas destinadas ao extravasamento das águas na condição de piscinas de contenção ou como áreas verdes e mais permeáveis.

O gerenciamento dos riscos é uma necessidade contínua, devido ao aumento de ameaças e da vulnerabilidade dos territórios, em muitos casos devido à falta de consideração da suscetibilidade a desastres na localização das atividades. Portanto, os mapeamentos de risco de inundação, caracterizados como uma medida de gerenciamento, serão discutidos a seguir.

3.5 MAPEAMENTO E ANÁLISE ESPACIAL DE RISCO DE INUNDAÇÃO

A identificação e o mapeamento das áreas sujeitas à ocorrência de processos naturais que resultem em danos e ameaça a sociedade apresenta-se como uma carência de elevada importância, em função de sua relevância em ações de planejamento e gestão ambiental, territorial e de riscos (SILVEIRA et al., 2014). A

especialização da suscetibilidade caracteriza-se como uma etapa básica diante as inundações e, conforme aponta Cristo (2002, p. 38), esta permite a “realização de pesquisas pontuais e aprofundadas nas áreas suscetíveis identificadas, tanto se referindo a probabilidade de ocorrência de desastres naturais, quanto à intensidade dos processos que os condicionam nestes locais”.

Referindo-se a importância do conhecimento das áreas suscetíveis a inundação enquanto perspectiva de diminuição, ou ainda evitando o aumento da ocupação destas áreas, Figueiredo (2003) lembra que:

O mapeamento de áreas inundáveis representa uma ferramenta importante para direcionamento das expansões urbanas e a ordenação do uso e ocupação do solo, pois se dispondo do zoneamento dessas áreas, pode-se delimitá-las e designá-las para usos adequados (FIGUEIREDO, 2003, p.1791).

Da mesma forma, as áreas sujeitas a inundações, quando ocupadas, devem ser caracterizadas em seus diferentes níveis de risco, hierarquizadas para o estabelecimento de medidas preventivas e/ou corretivas ou administradas por meio de ações de controle de uso e ocupação do solo. Santoro (2011) destaca a importância de se cartografar as áreas de risco, sendo esta medida muito importante no que se refere ao gerenciamento e mitigação dos danos, em áreas onde já instalado o risco.

O adequado conhecimento e a classificação e/ou hierarquização de áreas e situações de risco, é essencial para embasar ações preventivas voltadas a evitar ou enfrentar acidentes, especialmente aqueles com grande potencial de perdas de vidas humanas (SANTORO, 2011, p. 23).

Para Veyret (2007) a cartografia permite, ao mesmo tempo, a objetivação do risco e sua designação enquanto problema público. Podendo ser definida como ferramenta de comunicação e ajudar em uma mobilização social. O conhecimento atualizado das situações de risco no município e o planejamento antecipado de procedimentos para minimizar as consequências dos acidentes e para o atendimento de emergências têm como resultado a redução de vítimas e de danos. (CARVALHO e GALVÃO, 2006).

Tendo em vista a necessidade de introduzir, discutir, analisar e apresentar os dados cartográficos, os SIGs vem ganhando muito destaque. Estas ferramentas são

utilizadas na análise do risco, com diferentes níveis de desenvolvimento, como apontam, Ramirez et al. (2005):

O SIG pode ser usado com diferentes níveis de profundidade no domínio dos riscos naturais: 1) uso de SIG para estudar eventos catastróficos, 2) uso de SIG para alimentar os modelos de avaliação de risco (limitar o uso de SIG para calcular uma das variáveis, tipo espacial, necessárias na análise), 3) a implementação de qualquer das fases da avaliação do risco (geralmente periculosidade) em um SIG, e 4) implementação de todo o processo de avaliação de risco (determinação de perigo, exposição, vulnerabilidade e risco) (RAMÍREZ et al, 2005, p. 260).

Por sua vez, os SIGs remetem a um conjunto de programas ou *softwares* que tornam possíveis o armazenamento e o tratamento de dados cuja natureza é dos mais variados elementos do espaço geográfico. Conforme Silva (2003), os SIGs podem assim ser conceituados:

Os sistemas de informação Geo-referenciadas ou Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são usualmente aceitos como sendo uma tecnologia que possui o ferramental necessário para realizar análises com dados espaciais e, portanto, oferece, ao ser implementada, alternativas para o entendimento da ocupação e utilização do meio físico, compondo o chamado universo da Geotecnologia, ao lado do Processamento Digital de Imagens e da Geoestatística (SILVA, 2003, p. 48).

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) aparece como uma ferramenta do geoprocessamento, através da qual são geradas informações por meio da análise e integração de dados geográficos. Tais dados permitem a criação de diferentes mapas temáticos, onde vários tipos de informações podem ser sobrepostas e interpretadas e permitem uma melhor representação dos fenômenos do espaço geográfico, constituindo-se como ferramentas fundamentais para fins de ordenamento territorial, análise e monitoramento com cunho ambiental. (AQUINO e VALLADARES, 2013)

O geoprocessamento é uma área do conhecimento, onde diversos tipos de informações geográficas são processados por meio de técnicas matemáticas e computacionais. Para Ferreira (2010), o geoprocessamento permite que as informações gerem respostas rápidas e confiáveis que subsidiam a tomada de decisão e com o avanço das geotecnologias os estudos relacionados ao espaço ficaram mais eficientes. A integração dos conceitos de Sensoriamento Remoto, SIG

e Geoprocessamento, interagem a partir da sua utilização, como menciona Pereira Filho (2014):

A expressão “Sensoriamento Remoto” consiste no uso de imagem de satélite para visualização da superfície terrestre e representa um dos avanços tecnológicos mais expressivos no campo da Geografia. Entretanto, a expressão Sensoriamento Remoto não representa todas as situações em que outras informações geográficas são incorporadas em um banco de dados. Surge, então, a expressão Sistema de Informações Geográficas (SIG) como forma de atender a integração com outras estruturas de dados como os presentes em mapas. Em sua origem, o SIG permite a análise integrada de dados oriunda de mapas referentes a diversos temas como os mapas base, de geomorfologia, geologia, hidrografia, entre outros, com os dados oriundos de satélite. A introdução de outras informações como as oriundas de GNSS e planilhas de campo com dados georreferenciados amplia ainda mais o espectro de dados a serem trabalhados em uma única forma de acesso e com isso surge a expressão Geoprocessamento (PEREIRA FILHO, 2014, p. 427).

Deve ser destacado que a terminologia geotecnologia, tem sido cada vez mais difundida no campo Geográfico e de ciências afins, englobando todas as tecnologias que estão associadas a obtenção e trato de informações vinculadas a análise espacial. Segundo Fitz (2008), as geotecnologias correspondem às novas tecnologias ligadas às geociências, as quais trazem avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas, em ações de planejamento, em processos de gestão, manejo e em tantos outros aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico.

Marcelino (2007) considera que as geotecnologias, principalmente em função do Sistema de Informação Geográfica (SIG), Sensoriamento Remoto e Sistema de Posicionamento Global (GPS), apresentam uma série de facilidades na geração e produção de dados e informações para o estudo de fenômenos geográficos, como os desastres naturais. Estas ferramentas permitem produzir informações em pouco tempo e com baixo custo, combinando informações de dados espaciais a fim de analisar as interações existentes entre as variáveis, elaborar modelos preventivos e dar suporte as tomadas de decisões.

Sendo assim, no seu uso mais simples as geotecnologias têm sido utilizadas como sistemas de mapeamento automatizados, configurando como uma ferramenta para introduzir, administrar e representar dados espaciais. No entanto, cada vez mais são aproveitadas suas funções na análise de risco, a partir de alguns ganhos operacionais. Neste sentido, Trentin e Bazzan (2013) destacam que as

geotecnologias permitem o tratamento dos dados oriundos de fontes secundárias e trabalhos de campo, a sua edição, o armazenamento de forma organizada em um banco de dados que permite também a recuperação e consultas de forma rápida e segura e, ainda, as análises por meio da extração das informações registradas nos mapas.

No tratamento dos desastres naturais, os SIGs apresentam-se como um potente recurso para registo, consulta e difusão de informações. Os SIGs e os Bancos de Dados Geográficos (BDGs), proporcionam o armazenamento, gerenciamento e a distribuição de uma grande quantidade de informação que vão desde registos meteorológicos, imagens de satélite, até a localização de danos, por exemplo (COUTINHO, 2010).

Da mesma forma, as geotecnologias representaram um aumento na precisão e capacidade de integrar informações, tanto na construção de diagnósticos quanto na elaboração de cenários e no planejamento. Para Silva (1998), os cenários ambientais ganham grande complexidade e uma enorme aplicabilidade, a partir dos Sistemas de Informações Geográficas. Dentre estas aplicabilidades, as análises de rede de drenagem associada ao uso de modelos tridimensionais para visualização do terreno e estimativas de impactos ambientais são alguns exemplos do uso integrado de conhecimentos geomorfológicos em SIGs.

Assim, um Modelo Digital de Terreno (MDT) consiste em uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. A posição espacial sobre a superfície é representado pelos eixos coordenadas (x,y) e o valor atribuído ao fenômeno é representado pelo eixo z . A modelagem abrange a criação de estruturas de dados e a representação contínua do fenômeno a partir das amostras. Essas estruturas são definidas de forma a possibilitar uma manipulação conveniente e eficiente dos modelos pelos algoritmos de análise contidos no SIG. Os modelos mais utilizados são os modelos de grade regular retangular e os modelos de grade irregular triangular (NAMIKAWA et al., 2003; ECKHARDT, 2008).

É válido ressaltar que a literatura aponta algumas distinções a respeito destas definições, principalmente em função dos métodos de obtenção destes modelos, como apontam Souza et al. (2009), a partir de Felgueiras (1997): Modelo Digital de Terreno (MDT): utilizado para modelagem do relevo e outros tipos de informações que variam de acordo com ele, tal como a temperatura; Modelo Numérico de

Terreno (MNT): quando se utiliza uma variável “z” de uma dada área da superfície terrestre; essa variável pode ser de qualquer natureza, tanto física quanto socioeconômica; Modelo Digital de Elevação (MDE): utilizado exclusivamente para a modelagem de relevo.

A origem dos Modelos Digitais do Terreno remete aos trabalhos desenvolvidos no Instituto de Tecnologia de Massachussets (ITM) entre os anos de 1955 e 1960. Difundiram-se rapidamente no campo da modelagem, tornando-se um instrumento de aplicação genérica (CHRISTOFOLETTI, 1999). Estes tornaram-se peça chave para a compreensão da dinâmica dos geossistemas naturais e de grande utilidade para estudos geomorfológicos e em estudos que utilizam dados com um componente altimétrico, pois facilitam a percepção espacial e permitem a visão tridimensional do espaço a ser estudado (FERREIRA, 2013).

Da mesma forma, os Modelos Digitais do Terreno permitem a observação de informações, de distâncias, áreas e volumes através de uma modelagem tridimensional (SOUZA et al., 2009). Direccionando apontamentos a respeito das características de suas características e a obtenção de informações através destes, Elesbon et al. (2009, p. 3), destacam:

Deve representar o relevo de forma fidedigna e assegurar a convergência do escoamento superficial para a rede de drenagem numérica, garantindo, dessa forma, a sua consistência hidrológica. A eficiência da extração das características físicas medidas em termos de precisão e de exatidão está diretamente relacionada com a qualidade do modelo digital de elevação e dos algoritmos utilizados (ELESBON et al, 2009, p. 3).

Nos estudos de inundações, estes atributos e aplicações dos MDTs são fundamentais, pois permitem espacializar as áreas inundadas, considerando as características do relevo e elevação do nível da água. Para Namikawa et al. (2003), os SIGs permitem a manipulação e análise de dados geográficos que auxiliam a simulação de processos físicos reais, as atividades de planejamentos e análise de tendências e apoio à tomada de decisão.

Da mesma forma, elaboração de mapeamento temáticos, com abordagem dinâmica visando a construção de cenários, podem relevar a análises relativas a dinâmicas temporais. Cada um desses cenários traz uma interpretação particular de um fato, o que é e o que será (cenário tendencial) e o que deve ser (ideal) diante de potencialidades e restrições naturais (ZACHARIAS, 2010). Os fenômenos

tipicamente geográficos podem ser interpretados com mais precisão e compreendidos a partir da geração de modelagens advindas do uso destas técnicas, o que pode vir a auxiliar o poder público na gestão efetiva de inúmeras demandas socioambientais existentes (GUIRAO, 2012).

Neste sentido, Balbi (2008) mapeou as áreas que podem ser inundadas em cenários de ruptura hipotética barragem de Peti (MG), utilizando de modelagem digital do terreno e imagens de satélite, estabelecendo diferentes cotas de inundação. A partir de áreas conhecidas pela frequência das inundações, merece destaque a abordagem de Eckhardt (2008), que utilizou modelagem digital do terreno para estabelecer os locais atingidos pelas inundações em Lajeado (RS). Em metodologias semelhantes, podem ser citados os trabalhos de Oliveira (2010) e Oliveira et al. (2013), onde são projetadas diferentes cotas de inundação do rio Caí, a partir da modelagem digital do terreno, simulando a espacialização dos eventos na área urbana de Montenegro e também de Porto Alegre, realizado por Valenti et al. (2012) e Jaguari realizado por Prina e Trentin (2014).

Como aponta Marcelino (2008), outra vantagem do trabalho em ambiente SIG é a possibilidade de cruzamento de parâmetros para obtenção do mapa de risco final. Cada parâmetro é formado por um conjunto de dados de fontes diversas (mapas, medições em campo, imagens de satélites), que permitem identificar as características do ambiente e o contexto socioeconômico em que podem ocorrer os desastres.

Nesta perspectiva, o uso de Sistemas de Informações Geográficas, em conjuntos com novas geotecnologias, na confecção de mapas de áreas suscetíveis a riscos tem se mostrado uma eficaz ferramenta para prevenção, mitigação e gestão de riscos naturais. A cartografia oriunda dessas rotinas tem alvo a delimitação de áreas com grande probabilidade de ocorrência de eventos catastróficos, o que permite uma gestão mais efetiva do território e um planejamento controlado para impedir danos maiores às populações afetadas. Como apontam Damasco et al. (2014), no tocante às inundações, essas ferramentas permitem o mapeamento de áreas inundáveis às margens do canal de drenagem, bem como das áreas onde há acúmulo de água, o que pode auxiliar os gestores no planejamento da ocupação dos terrenos marginais.

Coutinho e Bandeira (2012) apontam dois tipos de mapeamento e critérios de análise de risco, o zoneamento de risco e o cadastro de risco. Conforme os autores,

no cadastramento, o risco é avaliado de forma pontual, tendo como detalhamento cada uma das moradias, e a representação se dá de forma pontual. É válido destacar que a escolha da forma de mapeamento passa por características de cada área de estudo, objetivos traçados, assim como recursos disponíveis para sua execução. Nestas aplicações podem ser destacados os trabalhos do IPT (2007), de Saueressig (2010), Robaina et al. (2013), Trentin et al. (2013) e Menezes (2014), entre outros que utilizam-se da hierarquização das áreas de risco de inundação.

Neste sentido, o mapeamento e todas as etapas que envolvem a análise da abrangência espacial das inundações, pode ser utilizado para estabelecer estratégias de ação na mitigação de danos, sendo fundamentais na atuação preventiva, junto às áreas suscetíveis por meio do planejamento ou, ainda, no gerenciamento das áreas onde o risco está consolidado.

3.6 VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS NO ESTUDO DE INUNDAÇÕES

As inundações, enquanto processos naturais ou, ainda que, intensificadas pelas atividades antrópicas, estão atreladas a uma série de processos hidrológicos que atuam e de forma relacionada e interdependente. Estas são sujeitas a uma série de variações do ponto de vista espacial e temporal e, que podem relacionar a uma maior severidade a ocorrência de uma inundação.

Portanto, os fenômenos hidrológicos definem os mecanismos de armazenamento e transporte entre as diversas fases do ciclo da água, sendo que as intensidades com que se manifestam, apresentam uma marcante variabilidade ao longo do tempo e do espaço, em decorrência das variações, regulares e irregulares, seja dos climas globais e regional ou, ainda, das particularidades regionais e locais, sob os aspectos meteorológicos, geomorfológicos, de propriedades e uso do solo, entre outros. Da mesma forma, as intensidades com que os fenômenos hidrológicos ocorrem, podem ser postas como funções do tempo e do espaço, em escalas geográficas diversas, que se estendem desde o global até a local, passando pela escala usual da bacia hidrográfica (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

Não obstante a esta complexidade de elementos e características relevantes inter-relacionados em um processo de inundação, soma-se o caráter estocástico dos processos hidrológicos, que sujeitos às leis de probabilidades, são dotados de aleatoriedade. Estes não podem ser precisamente explicitados, embora possam ser

associados às regularidades eventualmente apontáveis, tais como as estações do ano e as suas características gerais de precipitação ou temperatura, por exemplo.

Considerando a aleatoriedade dos processos hidrológicos e por tratar-se de um fenômeno com muitos fatores causais e/ou influentes, e com grande número de variáveis interdependentes, Naghettini e Pinto (2007) enfatizam que tais condições impossibilitam o tratamento puramente determinístico do processo.

Nesse ponto, poder-se-ia inferir, então, que, se todos os fatores causais pudessem ser definidos e medidos com precisão e se todas as possíveis dependências entre eles puderem ser explicitadas e determinadas, as características relevantes das enchentes de uma dada bacia hidrográfica poderiam ser tratadas como relações puramente determinísticas do tipo causa-efeito. Entretanto, tal possibilidade esbarra em restrições práticas associadas ao monitoramento preciso e abrangente dos fatores causais, bem como nos limites do conhecimento humano sobre os processos hidrológicos, muito embora sejam inegáveis os avanços continuados da pesquisa científica e do desenvolvimento tecnológico em tais direções (NAGHETTINI e PINTO, 2007, p. 4).

Sendo assim, o tratamento de um processo como as inundações, expresso sob uma série de variável aleatória, exige primeiramente a sua quantificação. A respeito desta análise quantitativa, Girardi e Silva (1981) apontam que a realidade apresenta ao geógrafo um vasto panorama de informações e dados, que aparentemente desconexos, trazem a necessidade de utilização de técnicas estatísticas para seleção, ordenamento e para torná-las manejáveis, compreensíveis e interpretáveis.

Para a quantificação das diversas fases do ciclo hidrológico, se faz necessário a coleta sistemática de dados básicos, que permitirão análises mais corretas o quanto mais longo e preciso forem os registros de dados hidrológicos. No Brasil, grande parte dos dados hidrológicos e hidrometeorológicos são oriundos da Agência Nacional de Águas (ANA), cuja parte da rede é operada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Outras redes acessórias, de menor extensão, são mantidas por companhias energéticas ou por companhias de serviços de saneamento básico, entre outras (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

Conforme a ANA (2018), o monitoramento das águas no Brasil remonta ao século 19, havendo registros de estações na base da ANA desde o ano de 1855 (estação pluviométrica Morro Velho, em Minas Gerais). Entre 1900 e 1920, o governo federal incorpora o monitoramento como serviço público federal e cria

instituições para abrigá-lo. Desde então, a rede foi coordenada por entidades ligadas ao setor elétrico, passando à responsabilidade da Agência Nacional de Águas em 2000, pela Lei Federal nº 9.984. Atualmente, a ANA é responsável pela coordenação da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), um sistema que abriga mais de 4.600 pontos de monitoramento no país, divididos em 1.874 estações que monitoram variáveis relacionados aos rios, como níveis, vazões, qualidade da água e transporte de sedimentos, e ainda outras 2.767 estações, que monitoram principalmente a pluviometria (ANA, 2018).

Integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), o Portal *HidroWeb* é uma ferramenta e oferece o acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), reunindo dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos. Os dados disponíveis no Portal *HidroWeb* se referem à coleta convencional de dados hidrometeorológicos, ou seja, registros diários feitos pelos observadores e medições feitas em campo pelos técnicos em hidrologia e engenheiros hidrólogos (ANA, 2018).

Outro aspecto importante que tange aos dados obtidos por estações, no estudo de processos hidrológicos, como a cota de um rio ou a precipitação, é que estes apresentam como característica o fato de serem contínuos no tempo e no espaço. A variável que o quantifica assume valores ao longo de qualquer ponto, temporal ou espacialmente, no qual for medido, sendo praxe representar os processos hidrológicos por variáveis aleatórias discretizadas. Por sua vez o termo discretização “significa que são tratados os valores das variáveis obtidos em instantes ou períodos sucessivos do tempo, ou em pontos geográficos definidos no espaço” (LANNA, 1993, p. 81).

Da mesma forma, o conjunto de elementos com alguma característica comum, como todas suas possíveis realizações, em estatística, é designado *população*, podendo ser estas finitas ou infinitas. No entanto, nem sempre é possível a observação de toda a população, sendo o estudo das propriedades dessa população feito sobre um seu subconjunto finito que se supõe ser representativo e se designa por *amostra* (CORREA, 2003). Em complementaridade, corrobora-se com Rogerson (2010) que coloca:

Uma característica fundamental dos dados geográficos que traz a necessidade de análise estatística é que frequentemente eles podem ser considerados como uma amostra de uma população maior. A análise estatística descritiva se refere ao uso de determinados métodos que são aplicados para descrever e resumir as características da amostra, enquanto a análise estatística inferencial refere-se aos métodos utilizados para inferir algo sobre a população da amostra. Métodos descritivos estão inseridos na classe de técnicas exploratórias, enquanto a estatística inferencial encontra-se na classe dos métodos confirmatórios (ROGERSON, 2010, p. 13)

Não obstante, em estudos hidrológicos, trabalha-se comumente com um número limitado de observações e, portanto, com amostras. Conforme colocam Naghettini e Pinto (2007), a respeito de um número limitado de realizações de uma variável observada, é necessário ressaltar:

É certo que a amostra não contém todas as possíveis observações daquela variável, as quais estarão contidas na população que reúne a infinidade de todas as possíveis realizações do processo hidrológico em questão. O objeto principal da hidrologia estatística é o de extrair da amostra, os elementos suficientes para concluir, por exemplo, com que probabilidade a variável hidrológica, em questão, irá igualar ou superar um certo valor de referência, o qual ainda não foi observado, encontrando-se, portanto, fora da amplitude estabelecida pelos limites amostrais (NAGHETTINI e PINTO, 2007, p. 6).

Portanto, deve-se considerar que em estudos que envolvam variáveis hidrológicas não é possível criar uma amostra a partir de experimentos controlados, sendo necessário utilizar amostras observadas historicamente (LANNA, 1993). Esta variabilidade é registrada por meio das chamadas séries temporais, as quais reúnem as observações ou medições de uma variável, organizadas no modo sequencial de sua ocorrência no tempo ou, ainda, no espaço.

Portanto, conhecida uma dada série temporal, que reúnem a amostra a caracterizar um processo hidrológico, o tratamento preliminar dos dados está associado à sua organização e representação, que podem ser por meio de tabelas, ou gráficos, diagramas, polígonos de frequência e histogramas, por exemplo. Estes, juntamente com parâmetros extraídos da série, subsidiam de forma fundamental o cálculo de probabilidades sendo uma necessidade para o estudo da estatística inferencial de uma variável aleatória. A estatística inferencial compreende a estimação de parâmetros populacionais e testes de hipótese a respeito da população.

3.6.1 A análise estatística descritiva em inundações

A descrição numérica de uma variável se dá pela estatística descritiva, que corresponde ao conjunto de técnicas que objetivam coletar, organizar, apresentar, analisar e sintetizar os dados numéricos de uma população, ou amostra. As estatísticas descritivas podem ser agrupadas em três tipos distintos: medidas de tendência central, medidas de dispersão e medidas de assimetria e curtose (CORREA, 2003; ZAVATTINI e BOIN, 2013). Essa caracterização é fundamental para o avanço de análises a partir da estatística inferencial e análise de probabilidades.

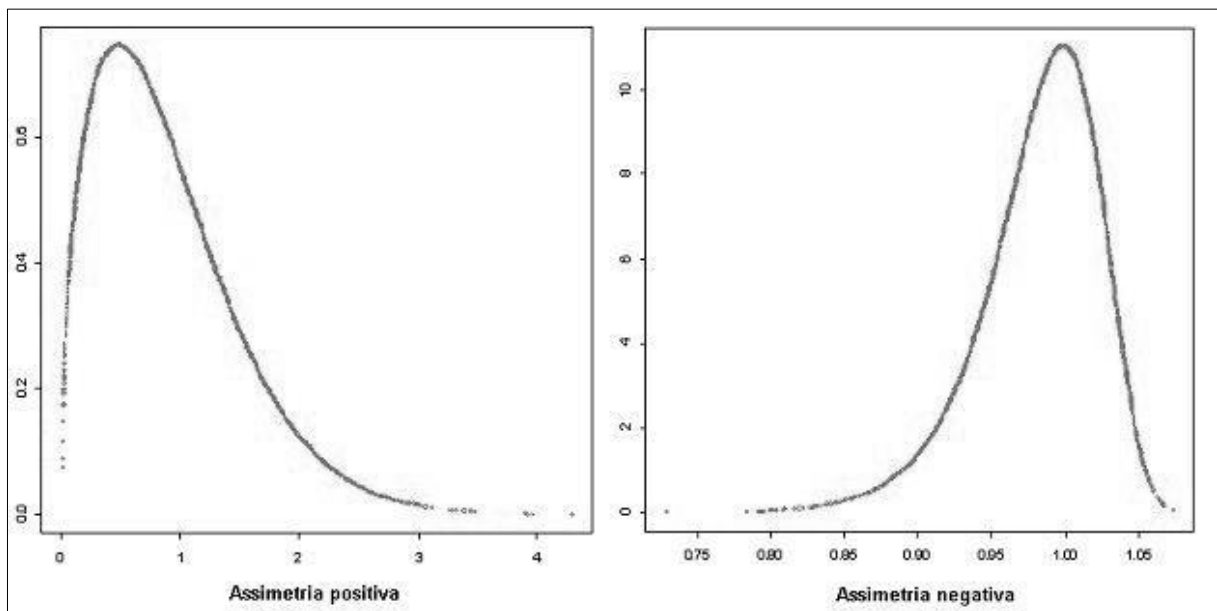
Dentre as medidas de tendência central, comumente, a mais utilizada é média aritmética, que embora expresse o comportamento referente aos valores centrais de uma serie amostral (e não extremos, ou atípicos como no caso de uma grande inundação), se faz necessária para a descrição numérica de uma variável hidrológica. A média aritmética é o resultado da divisão da soma dos valores da variável pelo número deles.

No entanto, para a descrição de um conjunto de dados, a indicação de tendência central (dada pela média, ou ainda pela mediana ou moda) não é suficiente, sendo que as medidas de dispersão ou variabilidade apontam a distribuição, um aspecto importante de variáveis hidrológicas.

Conforme Correa (2003) as medidas de dispersão mais comuns são a amplitude total, o desvio padrão e a variância (absolutas) e ainda o coeficiente de variação (relativa). A Amplitude Total (A) é a diferença entre o maior e o menor dos valores da série. Variância (S^2) leva em consideração os valores extremos e os valores intermediários. A variância relaciona os desvios em torno da média, ou, mais especificamente, é a média aritmética dos quadrados dos desvios. O Desvio Padrão (S) é a medida mais usada na comparação de diferenças entre conjuntos de dados, por ter grande precisão. O desvio padrão determina a dispersão dos valores em relação à média e é calculado por meio da raiz quadrada da variância. O Coeficiente de Variação (CV) é uma medida relativa de dispersão útil para a comparação em termos relativos do grau de concentração e é a relação entre o desvio padrão (S) e a média (X) Erro Padrão tem como referência o erro padrão da média em função do desvio padrão da média obtida com todas as observações e “n” número de amostras.

Assimetria e curtose indicam a forma de um histograma ou do polígono de frequências e apontam como os dados distanciam-se em relação a indicadores de tendência central (LANNA, 1993). Caracterizam-se como um indicador interessante de como comportam-se pluviometria, cotas ou ainda vazão, ao longo da série ou em períodos específicos. A assimetria à esquerda, ou dados assimétricos negativos, são assim chamados porque a "cauda" da distribuição aponta para a esquerda, produzindo um valor de assimetria negativo (Figura 10). Os dados extremos, como as cotas ou vazões máximas de um rio tendem à concentração de valores elevados e são frequentemente assimétricos à esquerda.

Figura 10 - Dados assimétricos positivos e assimétricos negativos.



Org.: Menezes (2018).

Para estudos de inundações que utilizem dados fluviométricos como vazão ou cota do rio, também é possível se estabelecer uma curva de permanência. Conforme Naghettini e Pinto (2007), por meio desta pode-se obter a percentagem de tempo (ou permanência) no qual um determinado evento é superado ou igualado, sendo um indicador de variação e comportamento da variável hidrológica.

Outro aspecto importante referente às inundações é a relação entre a processos hidrológicos e, conseqüentemente, entre as variáveis que podem ser

utilizadas em sua análise. Neste sentido, a relação ou até a dependência estabelecida entre variáveis pode ser expressa a partir da representação gráfica em um diagrama de dispersão e comportamento de respectiva reta ou curva, da análise de regressão linear ou ainda, do ponto de vista numérico, utilizando-se do coeficiente de correlação.

A regressão linear busca prever uma dada variável em função de outra, exprimindo uma em termos de uma função linear da outra. Estão associados a esta o coeficiente de determinação, que indica em porcentagem o quanto a uma variação na variável dependente (y) é associada a uma variação na variável independente (x). São necessárias a análise de resíduos para o cálculo dos desvios dos pontos reais em relação à reta, e também a análise dos limites de confiança em torno da reta, para calcular o erro padrão das estimativas (GIRARDI e SILVA, 1981).

A correlação relaciona um conjunto de dados de uma variável com valores de outra variável, que possa explicar o comportamento da primeira. O coeficiente de correlação de Pearson (r) é o mais utilizado para medir a relação entre variáveis, oscilando entre -1 e 1, sendo que quanto mais próximos a estes valores, maior a relação entre as variáveis. Quando negativo, os valores mais baixos de uma variável estão associados a valores mais altos de outra variável. Quando positivo, as variáveis possuem o mesmo comportamento em termos de crescimento. Quando nula, não há correlação entre as variáveis (ANDRIOTTI, 2013).

3.6.2 O estudo de probabilidades em inundações.

Para Lanna (1993), o fato dos processos hidrológicos serem aleatórios, suas realizações não podem ser conhecidas e estes não podem ser reproduzidos na escala que ocorrem, estabelecendo assim uma série de dificuldades básicas para o planejamento das atividades humanas. De tal condição, desde que o ser humano buscou planejar seus empreendimentos, surgiram preocupações a respeito do tratamento desta aleatoriedade, nos campos da teoria das probabilidades e da estatística.

Neste contexto, Naghettini e Pinto (2007), consideram que estatística matemática permite analisar um conjunto limitado de observações de um fenômeno aleatório e extrair inferências quanto à ocorrência de todas as prováveis realizações do fenômeno em questão e que, o chamado estudo de processos estocásticos,

refere-se à identificação e interpretação da aleatoriedade presente em tais processos, buscando-se estabelecer conexões sequenciais, no tempo e/ou no espaço, entre suas realizações.

As noções de probabilidade estão associadas a uma margem de incerteza e também à generalização. A existência da incerteza se dá pelo fato de que a conclusão, que se pretende obter para o conjunto de todos os indivíduos analisados quanto a determinadas características comuns, baseia-se em uma parcela do total das observações. A medida da incerteza é tratada mediante técnicas e métodos que se fundamentam na teoria da probabilidade, que procura quantificar a incerteza existente em determinada situação (CORREA, 2003).

Sendo a probabilidade expressa como uma medida de incerteza, assumem-se valores que variam de zero a um. Experimentos e processos muitas vezes têm vários resultados possíveis, e um resultado específico é incerto até que seja observado. Quando sabemos que um resultado particular, com certeza não ocorrerá, diz-se que esse resultado tem probabilidade igual a zero (ROGERSON, 2010).

Para Brito et al. (2011), pode-se assumir que a probabilidade de recorrência está diretamente relacionada e, portanto, pode ser deduzida a partir da análise da frequência de ocorrências, considerando-se uma série temporal expressiva e ampla. No entanto, é necessário considerar que os fatores influentes sejam constantes e permaneçam ativos ao longo dos anos.

Em estudos de inundações, estas noções se fazem importantes na determinação do tempo/período de retorno ou recorrência de um dado evento, que pode ser analisado por meio das cotas ou vazões de um rio. O tempo de retorno (TR) consiste no período de tempo médio (medido em anos) em que um determinado evento deve ser igualado ou superado pelo menos uma vez, ou ainda, o inverso da probabilidade de ocorrência (CHRISTOFOLETTI, 1981; TUCCI; BERTONI, 1993).

Esta análise inicial de probabilidade em função da frequência, necessária para inferências a respeito de uma série temporal e suas variáveis aleatórias, é chamada de probabilidade empírica. O cálculo do TR, considerando-se a probabilidade empírica, para cada magnitude de inundação pode obtido a partir da equação abaixo, conforme propõem Christofolletti (1981).

$$TR = \frac{N + 1}{m}$$

Onde, “TR” é o Tempo de retorno, “N” é número de registros na série e “m” é a posição do evento em uma escala ordenada.

É importante, no entanto, diferenciarmos probabilidade de frequência. Esta última está associada ao número de vezes que um determinado evento ocorreu, enquanto que probabilidade refere-se às possíveis situações de ocorrência. (LANNA, 1993).

Sendo assim, para tempos de retorno igual ou maior número de anos de observação, as frequências devem ser ajustadas a uma lei de distribuição de probabilidade teórica com o intuito de estabelecer o cálculo mais correto da recorrência. Da mesma forma, quando aplicado um modelo estatístico teórico na compreensão de um processo hidrológico, verificamos os seguintes componentes principais a serem estimados: os possíveis valores que a variável aleatória X pode assumir; A função de probabilidade associada à variável aleatória X; O valor esperado da variável aleatória X;

Para Bussab e Moretin (2003) uma variável aleatória contínua pode assumir inúmeros valores num intervalo de números reais, medida numa escala contínua, pode definida entre os números reais 0 e 1. Existem duas funções associadas a cada variável contínua X: a função densidade de probabilidade e a função cumulativa de probabilidade (ou função de distribuição de probabilidade).

A função densidade de probabilidade (FDP), ou densidade de uma variável aleatória contínua, é uma função que descreve a probabilidade relativa de uma variável aleatória tomar um valor dado. Por decorrência, observa-se ainda a possibilidade do estabelecimento da função cumulativa de probabilidades, onde podemos estabelecer excedência ou não-excedência de um determinado valor.

Toda distribuição de probabilidade, por sua vez, é descrita pelos seus parâmetros populacionais. Os parâmetros são medidas descritivas de toda uma população que podem ser usadas como entradas para FDP para gerar curvas de distribuição. No entanto, os valores dos parâmetros são normalmente desconhecidos, em função da inviabilidade de inviável medir inteiramente uma população. Naghettini e Pinto (2007) destacam que um conjunto de observações

$\{x_1, x_2 \dots x_N\}$ representam os fatos concretos, a partir dos quais, são obtidas as estimativas das características populacionais, tais como a média, a variância e o coeficiente de assimetria, assim como as inferências sobre a respectiva distribuição de probabilidades e sobre os valores dos seus parâmetros.

Existe uma variedade de distribuições de probabilidade usadas para representar um conjunto de dados. Para variáveis hidrológicas, é comum o uso de modelos de distribuição probabilísticos a partir das distribuições Normal, Log-Normal *Gumbel*, *Weibull* e *Gama*, entre outras.

A distribuição Normal é umas das distribuições mais aplicadas em várias áreas das ciências. Em hidrologia a sua aplicação se dá para variáveis que possuem comportamento bem definido onde os valores tendem à forma simétrica em torno de um valor central. A ampla aplicação dessa distribuição vem em parte devido ao teorema do limite central. Este teorema declara que na medida em que o tamanho da amostra aumenta, a distribuição amostral das médias amostrais tende para uma distribuição normal (TRIOLA, 1998). A distribuição normal possui como parâmetros, média (μ) e o desvio padrão (σ). A função de densidade pode ser expressa por

$$f_x(x) = [1/(\sigma\sqrt{2\pi})] \exp [-(x - \mu)^2 / 2 \sigma^2]$$

Para Santos (2012), muitos processos hidrológicos são positivamente assimétricos e, portanto, não são normalmente distribuídos. Entretanto, em muitos casos para variáveis aleatórias estritamente positivas, seu logaritmo é bem descrito através de uma distribuição normal. Considerando que as máximas podem ter um distribuição logarítmica, utiliza-se a distribuição Log-Normal, cujos parâmetros da distribuição continuam sendo média e desvio padrão, no entanto, garantindo-se que $X > 0$.

Conforme Naghettini e Pinto (2007), assume-se que $Y = \ln(X)$. Deste modo, a função densidade de probabilidade Log-Normal é expressa por:

$$Y = \ln(X) = f_y(y) = [1/(\sigma\sqrt{2\pi})] \exp [-(y - \mu)^2 / 2 \sigma^2]$$

Outra escolha frequente, usada para a estimativa e simulação de dados climáticos e dados hidrológicos é o modelo de distribuição Gama (WILKS, 2006; NAGHETTINI E PINTO, 2007). A distribuição Gama possui como parâmetros Beta

(β) e Alfa (α). A função densidade de probabilidade Gama pode ser definida pela equação abaixo, sendo $\Gamma(\alpha)$ uma função Gama:

$$f(x; \alpha, \beta) = [(\beta^\alpha x^{\alpha-1} e^{-\beta x}) / \Gamma(\alpha)]$$

No estudo das probabilidades de ocorrência de eventos raros, ou mesmo nunca antes observado temos a Teoria de Valores Extremos (TVE) cujo campo é o comportamento estocástico de extremos associados a um conjunto de variáveis aleatórias com distribuição comum F. Dentro da denominação geral de extremos incluímos o máximo e o mínimo, estatísticas de ordem extremas e de limiares altos (ou baixos). As características e propriedades das distribuições desses extremos aleatórios são determinadas pelas caudas extremas (inferior e superior) da distribuição (MENDES, 2004). As primeiras aplicações dos resultados formais de TVE surgiram com a modelagem de fenômenos meteorológicos envolvendo precipitações máximas e níveis anuais de inundações nos Estados Unidos. Contudo, a abrangência de suas aplicações é grande, incluindo uma variedade de fenômenos naturais (MENDES, 2004).

Correlatas ao estudo de probabilidades extremas, temos a distribuição *Gumbel* e *Weibull* que são formas assintóticas de valores extremos segundo (FISHER e TIPPETT, 1928). A distribuição de *Gumbel* é muito empregada na análise de variáveis hidrológicas, sendo largamente utilizada na análise de inundações (NAGHETTINI e PINTO, 2007). A distribuição *Gumbel* também tem a média e desvio padrão como parâmetros, porém o coeficiente de assimetria é fixado em 1,1396. A função densidade de probabilidade *Gumbel* pode ser definida pela equação abaixo:

$$f_x(x) = 1/\sigma \exp [-(x-\beta)/\alpha] - \exp [-(x-\beta)/\alpha]$$

O modelo proposto originalmente por W. Weibull (1951), assim como a distribuição *Gama* e a *Lognormal*, não tem um formato definido. Esta assume o formato que se adeque melhor aos dados experimentais, de acordo com os parâmetros definidos. Logo, a distribuição de *Weibull* tem um papel muito importante dentro do campo de análise estatística de dados experimentais e a sua grande adaptabilidade tem sido aproveitada para aplicar o modelo em diversos campos de

estudo (ALLAN e BILLINTON, 1992). A distribuição *Weibull* possui como parâmetros Beta (β) Alfa (α) e pode ser definida pela equação abaixo:

$$f_x(x) = \sigma/\beta \left((x/\beta)^{\alpha-1}\right) \exp \left[-(x/\beta)^\alpha\right]$$

Portanto, considera-se que os modelos de distribuição de probabilidades caracterizam formas matemáticas abstratas, cujas características particulares de variabilidade e conformação, devem ser capazes de representar, de modo essencial as flutuações possíveis de uma variável aleatória, a partir de seus parâmetros, cujos valores definem o comportamento para uma desta variável ao longo de uma série temporal. Da mesma maneira, as séries anuais de valores máximos fornecem elementos para a interpretação dos processos de inundação estabelecendo-se comparações entre a curva teórica com os valores de frequência relativa das amostras.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo tem o intuito de descrever os procedimentos que foram traçados, no intento de cumprir o objetivo geral e os objetivos específicos estabelecidos para esta pesquisa. Neste, estão descritas todas as etapas, que englobam desde a apropriação de conceitos-chave atrelados ao tema, bem como o conhecimento da área de estudo e, como foram estabelecidas as análises, que remetem às inundações na área urbana de Alegrete.

Para Rogerson (2010) os cientistas sociais e os cientistas físicos, fazem uso do método científico nas suas tentativas de compreender o mundo, ou um problema, a partir de tentativas iniciais de organizar as formulações sobre um assunto, até a construção de uma teoria. Deste modo, os resultados gerados através do processo de descrição, naturalmente nos levam para uma próxima etapa, gerando hipóteses sobre o processo descrito.

Nesta perceptiva, “uma definição rigorosa do termo hipótese é de uma proposição cuja verdade ou falsidade é suscetível de ser testada” (ROGERSON, 2010, p. 2). Da mesma forma, para testar a hipótese, se faz necessário de um modelo, um artifício destinado a simplificar a realidade para que a relação entre as variáveis possa ser melhor estudada. Assim, enquanto a hipótese pode sugerir uma relação entre duas variáveis, um modelo é mais detalhado, sugere a natureza da relação entre as variáveis e este é validado pela comparação de dados observados com o que se espera. Se o modelo é uma boa representação da realidade, haverá uma correspondência entre os dois.

No contexto da ciência geográfica, o autor coloca ainda que a análise espacial, no contexto do método científico, é utilizada de duas maneiras distintas: a abordagem exploratória de análise, usada para sugerir hipóteses e, a abordagem confirmatória, para validar as hipóteses. O uso de métodos exploratórios tem sido facilitado e difundido, em função de uma combinação da disponibilidade de grandes bases de dados e de *softwares* sofisticados (incluindo SIG) e um reconhecimento de que os métodos estatísticos confirmatórios são adequados (ROGERSON, 2010). Logo, um método de visualização ou descrição que leve a padrões espaciais pode ser um método exploratório, enquanto um método estatístico que confirme que tal arranjo espacial, é improvável de ocorrer acidentalmente, caracteriza um método confirmatório.

A partir destas concepções metodológicas e abordagens é que foram estabelecidos procedimentos coerentes com a área de estudo e com o problema de pesquisa levantado, em cada um dos passos que compuseram a realização da pesquisa e que são descritos a seguir:

4.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

4.1.1 Delimitação e caracterização da bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã

Esta etapa compreende a organização da base cartográfica e levantamento de informações que subsidiaram a análise espacial de características físicas, tais como geomorfologia, caracterização climática e, ainda, parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã, apresentadas na parte inicial desta pesquisa. Estas informações tiveram o intuito de auxiliar a tarefa de compreender a área de estudo da pesquisa (sítio urbano de Alegrete) sob a ótica de um recorte mais amplo, que é a bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã.

Na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã, foram analisados parâmetros hidrográficos e de relevo, considerando-se a área, hipsometria, declividade, hierarquia da rede fluvial. Estes parâmetros foram obtidos a partir de um MDE da BHRI oriundo de imagens Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) Os dados SRTM foram obtidos a partir do *website* do USGS, pelo endereço <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Para a BHRI foram necessárias as imagens s30_w055_1arc_v3 / s30_w056_1arc_v3 / s30_w057_1arc_v3 / s31_w055_1arc_v3 / s31_w056_1arc_v3 / s31_w057_1arc, de cobertura da Banda C, 1" arco de segundo (aprox. 30 metros de resolução), do SRTM.

Para o manuseio destas informações foram utilizadas funções do módulo *Spatial Analyst* do *software* ArcGIS® versão 10.1 (ESRI, 2012). Os arquivos são disponíveis no sistema de Coordenadas Geográficas, Datum WGS84 e tiveram de ser convertidos para o Sistema de Coordenadas UTM - 21S, Datum horizontal Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), de acordo com a Resolução do IBGE P.PR - 1/2005 de 25/02/2005.

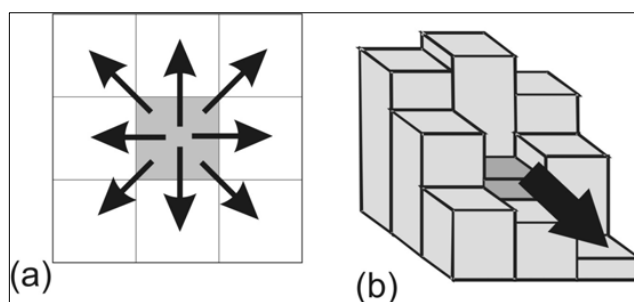
Para derivar a delimitação da bacia hidrográficas a partir do MDE, foi seguido as propostas de Jensen e Domingue (1988) e ainda as aplicações de Paz e Collischonn (2008), Buarque (2008), Medeiros (2009), entre outros estudos de caso.

Assim, foram utilizadas funções do módulo *Spatial Analyst - Hydrology* do software ArcGIS® versão 10.1 (ESRI, 2012).

Dentre as primeiras operações, tem-se a remoção de erros no MDE, onde são aplicados filtros que removem valores de pixel discrepantes do entorno, ou ainda ausência de dados. Este processo garante um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) e se dá pela ferramenta *Fill Sinks*.

A segunda etapa corresponde a obtenção da direção de fluxo, considerando que há no máximo oito células vizinhas para cada célula dentro do MDE (Método D8), gera-se um dado em estrutura matricial definindo um valor de direção, para cada célula sendo obtido pela ferramenta *Flow Direction* (Figura 11).

Figura 11 - (a) Direções de fluxo possíveis para um determinado pixel. (b) Direção de fluxo escolhida em função da maior declividade entre o pixel central e os vizinhos



Fonte: Paz e Collischonn (2008).

A próxima etapa correspondeu à obtenção do fluxo acumulado obtido pela ferramenta *Flow Accumulation*, considerando a quantidade de células que confluem ou convergem para cada célula. Células com valores altos são áreas de concentração de fluxo e caracterizam os canais de drenagem. A rede de drenagem é gerada a partir de um valor de limiar de acumulação de fluxo.

A delimitação da bacia hidrográfica foi realizada a partir da ferramenta *Watershed*, onde é analisado o *raster* de direção de fluxo e para um dado ponto. Ressalta-se que a literatura aponta como rotina para delimitação a identificação de um *pour point*, como ponto de controle identificando a área de contribuição até este ponto. Delimitada a bacia hidrográfica, o novo *raster* gerado, foi convertido em polígono a partir da ferramenta *raster to features*.

A amplitude altimétrica foi obtida a partir da consulta às estatísticas geradas do arquivo *raster*. Considerados os valores máximos e mínimos de altitude, o resultante da diferença destes dois valores, corresponde à amplitude. Foi utilizada a Base Cartográfica Vetorial Contínua do Estado do Rio Grande do Sul, com escala 1:50.000, organizada por Hasenack e Weber (2010), para caracterizar a drenagem da bacia hidrográfica. A ordem das drenagens foi estabelecida de acordo com Strahler (1952), utilizando-se do banco de dados do mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do rio Ibicuí elaborado por Robaina et al (2010). O comprimento total das drenagens foi obtido de forma automática a partir da rotina *calculate geometry* realizada diretamente na tabela de atributos do arquivo vetorial da rede de drenagem, sendo utilizada a unidade de medida km. O mesmo procedimento se deu para a obtenção da área da bacia hidrográfica.

O mapa hipsométrico teve suas classes definidas através da fórmula de Sturges, sendo:

$$K = 1 + 3.33 \log(n)$$

Onde, “K”: número de classes e “n”: amplitude altimétrica.

Considerando a amplitude altimétrica de 320 metros, foram obtidas nove classes compostas de altitudes contínuas considerando a equidistância de 40 metros. Foram estabelecidas as classes: 54 - 80m; 80 - 120m; 120 - 160m; 160 - 200m; 200 - 240m; 240 - 280m; 280 - 320m; 320 - 360m; > 360. Neste mapa, se fez uso da variável visual cor, com a abordagem ordenativa, sendo adotadas cores que representassem respectivamente maiores altimetrias, conforme a intensidade das cores, variando de tons de verde (menor altitude) a tons de vermelho (maiores altitudes).

O mapa de declividade foi elaborado, a partir da ferramenta *slope*, dividindo-se o terreno em seis classes: Áreas com declives inferiores a 2%, às áreas planas onde predominam processos de acumulação; 2% - 5% de declividade, áreas de acumulação; 5% - 15% sendo que a partir desta predominam os processos erosivos, além de ser considerado limite para mecanização agrícola; adaptadas do IPT (1981). A classe de 15-30%, tem o limite máximo de acordo com a Lei nº 6766/79 que define como o limite máximo para urbanização sem restrições. A classe de declividade entre 30-47% e >47% são baseadas no Novo Código Florestal (Lei nº 12.651), que

estabelece como áreas de uso restrito áreas com inclinação de até 25° (47%). As cores foram utilizadas com o objetivo de dar ordem as classes de declividade.

Para a caracterização da BHRI quanto à geomorfologia foi utilizado o mapeamento temático disponível a partir da classificação de Robaina et al (2010) na escala 1:50.000. A descrição e a espacialização das características climáticas gerais da bacia hidrográfica se deram conforme a tipologia estabelecida para o Rio Grande do Sul por Rossato (2011), conforme sintetizadas em mapeamento na escala 1:250.000. Após vetorizadas as informações dos mapas digitais, foram realizadas os ajustes dos arquivos em relação à geometria da bacia hidrográfica e então quantificadas as distribuições espaciais.

4.1.2 Informações socioeconômicas e históricas

As informações que permitiram estabelecer uma cronologia quanto à formação histórica do município de Alegrete foram obtidas junto ao IBGE, a partir do histórico municipal que a fundação disponibiliza para cada um dos municípios brasileiros e, junto à Prefeitura Municipal de Alegrete.

A caracterização socioeconômica do município e informações referentes à demografia geral foram obtidas a partir dos dados do IBGE e a partir da plataforma Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) e da Fundação de Economia e Estatística (FEE), sendo organizados, compilados e representados a partir do *software* Excel 2010.

4.2 ANÁLISE DA DINÂMICA TEMPORAL DAS INUNDAÇÕES

4.2.1 Inventário de registro de eventos

O levantamento temporal das inundações ocorridas nas últimas décadas se deu a partir de um refinamento de investigações já realizadas por Reckziegel (2007), Menezes e Scoti (2013), e ainda levantamentos de caráter espacial, como os realizados por Silva (2011) e também Robaina et al. (2013).

Os registros do Banco de Dados de Registro de Desastres/Secretaria Nacional de Defesa Civil (SNDC) e Defesa Civil do Rio Grande do Sul e a Defesa Civil Municipal de Alegrete, permitiram estabelecer um inventário de caráter espacial

das áreas onde as inundações são mais recorrentes. Foram considerados os eventos ocorridos até o ano de 2017 (estatisticamente eventos até 2014). Metodologicamente, foi adotado para eventos registrados por mais de uma das fontes, entretanto em uma mesma data, a computação como um único evento.

Estas informações buscaram caracterizar eventos quanto à periodicidade, data e área atingida e direcionam a atenção para momentos específicos da série temporal analisada, com o intuito de se estabelecer relações de magnitude, área atingida e frequência dos eventos ocorridos.

Direcionadas pelo inventário, foram corroboradas análises espaço-temporais, visando entender como se comporta a dinâmica hidrológica, diante dos processos de inundação e, como se estabelece a sua relação com as cotas registradas junto ao rio Ibirapuitã, na área urbana de Alegrete. Esta etapa, ainda que preliminar, foi crucial no momento do tratamento dos dados, direcionamento e verificação de inconsistências, além do calibre de quaisquer extrapolações, sejam temporais ou espaciais, oriundas dos dados obtidos.

O material fotográfico utilizado na análise e na apresentação dos resultados tem origem primária e secundária. O primeiro grupo foi obtido por meio dos trabalhos de campo realizados na área de estudo. O segundo corresponde aos registros de eventos, obtidos junto ao acervo da Defesa Civil de Alegrete e a partir de jornais locais de grande circulação ou portais de notícias, disponibilizados em versão online.

4.2.2 Análise da série histórica das cotas do rio Ibirapuitã

Por meio de observações ou medições, em geral, executadas de modo sistemático e de acordo com padrões nacionais ou internacionais, as flutuações das variáveis hidrológicas, ao longo do tempo ou do espaço, podem ser quantificadas, ou categorizadas (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Desta forma, os dados hidrológicos foram consultados a partir do Sistema de Informações Hidrológicas (*HidroWeb*) da ANA. Estes dados tiveram o intuito de caracterizar as cotas do rio Ibirapuitã registradas junto à área urbana de Alegrete.

A análise desta variável do rio Ibirapuitã foi estabelecida por meio dos registros da estação fluviométrica “ALEGRETE” (código 76750000) de responsabilidade da Agência Nacional das Águas (ANA) e operação da Cia. de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), ilustrada na Figura 12.

Figura 12 - Estação fluviométrica “ALEGRETE” (código 76750000).



Org.: Menezes (2018).

Esta fica localizada junto à margem esquerda do rio, na porção norte da área urbana (coordenadas -29,7686 e -55,7872), instalada à altitude de 66,25 metros e possui área de drenagem de 5867,84 km², considerando-se à porção montante da bacia hidrográfica a partir da estação. Foram considerados os registros diários entre os anos de 1941 e 2014, contabilizando um período total de 74 anos analisados. Os dados correspondem aos coletados por meio de uma estação fluviométrica convencional, com observação dos níveis d'água por meio de réguas linimétricas, instaladas em alinhamento perpendicular ao eixo do rio e cuja leitura é realizada diariamente as 07:00 e as 17:00 horas.

O primeiro tratamento aos dados da série histórica esteve associado à sua organização, compilação e estruturação. Foi averiguado que as duas leituras não eram realizadas ou registradas ao longo de toda série, sendo comum o registro de um único valor, replicado para as duas leituras diárias (07:00hs e 17:00hs). Deste modo, optou-se pela padronização da utilização de somente um valor diário. Nas

medições a partir de 01/06/1995, onde existiram duas leituras, passou-se a utilizar o valor máximo diário.

A segunda etapa na análise dos dados esteve atrelada à verificação de inconsistências e falhas ao longo da série. O total de dias agregados foi de 27.028, correspondendo às medições para a série de 74 anos (considerando 18 anos bissextos). Foram apontadas inconsistências do tipo “ausência de dados” e estes dias foram agrupados para análise individual, quanto ao número de dias e distribuição na série, com o intuito de verificar se poderiam ser corrigidos e, principalmente, se estavam associados a períodos de inundação (a partir do inventário geral). A análise permitiu verificar 522 inconsistências, que foram classificadas considerando a possibilidade de utilização em nível diário ou mensal, conforme a Tabela 1.

Quando considerados o número de dias que constituem a falha e o comportamento do rio em períodos próximos, teve-se o intuito de verificar se a estimativa de valores corrigidos poderiam comprometer a análise ou esta falha estar atrelada a um evento de inundação. Apontadas falhas superiores a 15 dias, em um único mês, este foi desconsiderado da análise de médias e máximas mensais. Quando não atendido o critério acima, foram considerados os dias com registros válidos para análises mensais para média e máxima.

Tabela 1 - Inconsistências verificadas na estação fluviométrica 76750000 nas medições diárias no período 1941 a 2014.

Ano	Mês	Período	Inconsistência (número de dias)	Consistido diário	Consistido mês
1979	Jan	01/01/1979 - 31/01/1979	31	não	não
1979	Fev	01/02/1979 - 28/02/1979	28	não	não
1979	Mar	01/03/1979 - 05/03/1979	5	não	não
1979	Mar	15/03/1979 - 31/03/1979	17	não	não
1979	Abr	01/04/1979 - 14/04/1979	14	não	não
1979	Abr	22/04/1979 - 30/04/1979	9	não	não
1980	Jan	01/01/1980 - 15/01/1980	15	não	não
1986	Out	01/10/1986 - 31/12/1986	92	não	não
1987	Jan	09/01/1987 - 26/01/1987	18	não	não
1987	Mar	31/03/1987	1	sim	não
1987	Abr	08/04/1987 - 13/04/1987	6	sim	não
1987	Jul	01/07/1987 - 12/07/1987	12	não	sim
1988	Fev	06/02/1988 - 29/02/1988	24	não	não

1993	Mar	31/03/1993	1	sim	não
1993	Maio	13/05/1993	1	sim	não
1993	Jul	30/06/1993	1	sim	não
1994	Abr	01/04/1994 - 30/04/1994	30	não	não
1994	Jul	01/07/1994 - 30/09/1994	92	não	não
1995	Out	30/10/1995 - 31/10/1995	2	sim	não
1995	Dez	01/12/1995 - 31/12/1995	31	não	não
1996	Nov	01/11/1996 - 31/12/1996	61	não	não
2009	Out	01/10/2009 - 31/10/2009	31	não	não
Total			522	-	-

Org.: Menezes (2018).

Portanto, para o mês de julho de 1987 foram considerados os dias válidos (18 dias) e desconsiderados os 12 dias faltantes do período de 01/07/1987 a 12/07/1987. Quando identificada falha inferior ou igual uma semana, utilizou-se médias móveis considerando o comportamento da série nos períodos próximos. Corrigidos os dados, estes foram considerados aptos para as análises estatísticas em nível diário e também mensal, para média e máxima. Este critério atendeu os períodos de 31/03/1987 (1 dia), 08/04/1987 a 13/04/1987 (6 dias), 31/03/1993 (1 dia), 13/05/1993 (1 dia), 30/06/1993 (1 dia) e 30/10/1995 a 31/10/1995 (2 dias), permitindo corrigir 12 inconsistências.

Considerando que muitas das falhas apresentaram-se extensas e até mensalmente consecutivas, foram iniciadas algumas rotinas de ajuste a partir de uma estação secundária, principalmente em períodos cujo inventário apontou a presença de processos de inundação de grande magnitude.

As estações principais são os locais a partir de registros cujo os resultados do estudo hidrológico em questão são obtidos e identificadas a partir de algumas características consideradas básicas, como: localização adequada na bacia para os propósitos do estudo; grande extensão do período de observação (em geral, maior ou igual a 25 anos); poucos períodos de interrupção; presumivelmente bem operada com pouca ou nenhuma alteração na instalação (BRASIL, 1984; TUCCI, 2001).

As estações secundárias têm como finalidade principal verificar a existência de erros de observação ou transcrição nos dados das estações principais. De uma forma geral, as estações secundárias ou de apoio, devem ser selecionadas tendo como base, dentre outros, os seguintes aspectos: maiores coeficientes de

correlação (no mínimo igual a 0,8); menores distâncias entre as estações (quando possível, com distâncias máximas de 200 km); períodos de dados coincidentes; e altitudes semelhantes entre as estações (ANA, 2012).

Dentre as estações fluviométricas convencionais que compõem a Rede Hidrométrica da ANA, com monitoramento do rio Ibirapuitã, além da estação de Alegrete (76750000) e que poderia ser caracterizada como uma estação secundária, foi cogitado o uso da estação Passo dos Britos (76700000). Esta fica localizada a uma distância aproximadamente de 25 km, direção a montante do rio (coordenadas -29,9731 e -55,7478), instalada à altitude de 80 metros. Atualmente desativada, possui registros históricos de 01/11/1939 a 01/07/2000, no entanto a análise dos dados disponíveis apontou longas falhas de registros e inconsistências e não permitiram aferir a acurácia das informações.

O fato de serem comum às duas estações, falhas no ano de 1986 (registro de inundação apontado no inventário) e, o deságue dos arroios Caverá e Pai Passo, tributários importantes, respectivamente às margens direita e esquerda do rio, processos que alteram significativamente cotas, vazão e geomorfologia do rio, em trecho correspondente às duas estações, não permitiu estabelecer correlação ou modelo de regressão para preenchimento de longas falhas ou estimar cotas associadas à grandes inundações na estação de Alegrete. Sendo assim, foram consideradas 98,11% das medições diárias no período de 74 anos, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Cotas diárias no período 1941 a 2014 na estação fluviométrica 76750000.

Medições	Número de dias	%
Medições diárias coletadas	27.028	100
Falhas	522	1,93
Correções	12	0,04
Medições válidas após correções	26.518	98,11

Org.: Menezes (2018).

O próximo passo no tratamento aos dados da série histórica correspondeu à sua organização e representação, por meio de tabelas, e de um polígono de

frequência e histogramas. Tendo em vista que os registros são diários, estes dados também foram sistematizados e agrupados em perspectiva mensal e sazonal, com o intuito de realizar descrições mais gerais quanto ao comportamento do rio em relação as suas cotas. Este foi seguido da análise estatística descritiva, sendo estabelecidas medidas de tendência central (média, mediana ou moda), medidas de dispersão (amplitude total, o desvio padrão e a variância) e ainda o coeficiente de variação (relativa) e ainda medidas de assimetria e curtose.

Esta etapa estatística descritiva permitiu estabelecer como se comportam as cotas do rio Ibirapuitã ao longo da série ou em períodos específicos, como durante as inundações. A partir disto foi possível estabelecer o nível médio das águas ao longo da série, cotas máximas e mínimas registradas, além da análise dos dados também considerando-se as variações mensais e sazonais.

A análise estatística descritiva também foi estendida, considerando uma medida linimétrica de 8,40 m como referência para inundação. Este valor foi estabelecido considerando-se o levantamento de campo realizado junto à estação linimétrica, e também informações da Coordenadoria de Defesa Civil do Município de Alegrete, que monitora a estação para ações de alerta e remoção.

Ao atingir 8,40 m nas réguas linimétricas é possível caracterizar o processo de extravasamento das águas do rio Ibirapuitã para a sua planície de inundação, atingindo as primeiras residências. Portanto, em termos de análise de risco, passam a ser consideradas inundações os processos que caracterizam eventos de perigo à população.

A sistematização, tratamento estatístico descritivo e inferencial dos dados, se deu por meio do pacote estatístico “Projeto R para Computação Estatística” (ou Ambiente R) versão 5.3.1, o *software* “*Paleontological Statistical(PAST)*” versão 2.17, além do editor de planilhas *Microsoft Office Excel* (2010).

O R é um *software* de domínio público, livre, utilizado para análise de dados em geral, que pode ser obtido gratuitamente em versões de acordo com o sistema operacional LINUX, *Windows* ou *Macintosh* e é uma importante ferramenta na análise e na manipulação de dados, com testes paramétricos e não paramétricos, modelagem linear e não linear e análise de séries temporais. Por sua vez, o PAST é um *software* livre para análise de dados, que permite manipulação, plotagem, estatística univariada e multivariada, análise ecológica, séries temporais e análise espacial, morfometria e estratigrafia (HAMMER et al., 2001).

4.2.3 Determinação do Tempos de Retorno (TR) das inundações

A partir da análise estatística descritiva da série histórica, foram obtidos os valores e parâmetros que permitiram a etapa de inferência estatística, expressa a partir de determinação de tempos de retorno (TR). A partir da seleção e ordenação das máximas anuais registradas no rio Ibirapuitã, foi possível estabelecer diferentes tempos de retorno para processos de inundação e a cota fluviométrica associada a cada TR.

A primeira análise inferencial se deu pela análise de frequência. Esta consiste na avaliação, a partir de uma série de dados homogêneos, do número de vezes que um evento (cota) é observado, supera ou é menor que determinado valor de referência. Assim, o tempo de retorno foi expresso primeiramente associado à frequência e em decorrência da probabilidade de superação de um determinado valor, considerando a série histórica.

Portanto, a partir da análise de frequência, foram estabelecidos a probabilidade empírica de ocorrência e, conseqüentemente, o tempo de retorno empírico para as máximas anuais registradas junto ao rio Ibirapuitã. Esta relação é satisfatória para tempos de retornos até o número de anos de observação, neste caso correspondendo até 74 anos. Para tempos de retorno mais elevados e que superem o número de anos da série, são utilizadas funções de distribuição de probabilidade teórica, objetivando encontrar o melhor ajuste ao comportamento dos dados à distribuição de frequência.

Foram estabelecidas funções de densidade e cumulativas de probabilidades para as distribuições *Normal*, *LogNormal*, *Gumbel*, *Weibull* e *Gama*. As funções de probabilidade foram estimadas em vista de parâmetros estatísticos da série temporal, como média, desvio padrão, coeficiente de assimetria, ou ainda, metodologias específicas como o método da máxima verossimilhança. Cada distribuição é inteiramente definida por seus parâmetros específicos, normalmente entre um e três. Os valores dos parâmetros determinam o local e a forma da curva da distribuição do gráfico e cada combinação específica de valores de parâmetro produz uma curva de distribuição.

Assim, se fez necessário estabelecer os parâmetros populacionais de cada distribuição de probabilidade. No entanto, como geralmente estes parâmetros não são conhecidos, foi preciso desenvolver procedimentos para estimar cada um

destes. As estimativas dos parâmetros populacionais das distribuições foram realizadas a partir dos resultados (dados estatísticos) da variável aleatória “*cotas máximas anuais do rio Ibirapuitã*”, considerando-se de como amostra representativa o período de 74 anos.

A análise estatística inferencial compreendeu a estimativa de parâmetros estatísticos e testes de hipótese e aderência para cada modelo de distribuição de probabilidade de inundações. A estatística inferencial formou a base das atividades de análise temporal das inundações e na tomada de decisão de qual modelo probabilístico melhor representa o tempo de retorno para o rio Ibirapuitã. O Quadro 3 fornece os parâmetros (ϕ) necessários para as cinco distribuições, as quais as cotas máximas do rio Ibirapuitã foram modeladas probabilisticamente.

Quadro 3 - Métodos para obtenção dos parâmetros das distribuições de probabilidade.

Distribuição	Variável	Método	Técnica/software	Parâmetro ϕ		
				Posição	Escala	Forma
Normal	X	Obtenção da estatística descritiva	Funcionalidades do software Microsoft Excel e Past	Média μ_X	Desvio-padrão σ_X	-
Log-Normal	$Y = \ln(X)$	Obtenção da estatística descritiva de $\ln(X)$	Funcionalidades do software Microsoft Excel	Média μ_Y	Desvio-padrão σ_Y	-
Gumbel	X	Obtenção da estatística descritiva e tabela de variáveis reduzidas de Gumbel. Proposta de Subramanya (2008)	Funcionalidades do software Microsoft Excel e Tabela de variáveis reduzidas	Beta β	Alfa $\alpha(>0)$	-
Weibull	X	Máxima verossimilhança	Funcionalidade do software R	-	Beta β	Alfa $\alpha(>0)$
Gama	X	Máxima verossimilhança	Funcionalidade do software R	-	Beta β	Alfa $\alpha(>0)$

Org.: Menezes (2018).

Na obtenção dos parâmetros da distribuição Normal foram calculados os parâmetros de posição μ_X (média) e de escala σ_X (desvio-padrão), de forma direta a partir do resumo estatístico do *software Microsoft Excel*. O mesmo se repetiu para a distribuição e Log-Normal, sendo os parâmetros de posição μ_Y (média) e de escala

σ_y (desvio-padrão) obtidos a partir do logaritmo natural da variável X (cotas máximas anuais).

Por sua vez, a distribuição Gumbel tem seus parâmetros de posição (β) e escala (α) obtidos por meio de parâmetros de média e desvio padrão, no entanto, em função dos valores tabelados y_n (média reduzida em função do tamanho da amostra N) e S_n (desvio padrão reduzido em função do tamanho da amostra N). Os valores tabelados para N =74 foram obtidos a partir da compilação (SUBRAMANYA, 2008).

Diferentemente das distribuições anteriores, para as distribuições Weibull e Gama os parâmetros Beta (β) Alfa (α) são previamente desconhecidos ou não são tabelados, devendo, portanto, serem estimados por algum método específico. Assim, a obtenção dos parâmetros se deu a partir do pacote estatístico R. A inferência estatística no *software* busca o melhor ajuste de parâmetros. No caso das duas distribuições, se deu por meio do Método da Máxima-Verossimilhança.

Estabelecidos os parâmetros, as distribuições de probabilidade foram geradas a partir do *software Microsoft Excel*, onde estão implementadas as funções (DIST. NORM, DIST. LOGNORMAL.N, DIST. WEIBULL e DIST. GAMA). Para a distribuição Gumbel, foram calculadas as operações matemáticas correspondentes às equações do modelo teórico também via *software Microsoft Excel*.

Naturalmente, estimam-se diferentes valores para estes parâmetros, e faz-se necessário o uso de testes de aderências para verificar qual a distribuição usada pode ser aplicada ao conjunto de dados da variável em análise. Estes testes procuram medir e avaliar os desvios entre a distribuição amostral e a teórica (REIS et al., 2010). A verificação da qualidade do ajuste, de cada um dos modelos propostos, em relação às cotas máximas anuais foi feita de forma gráfica (gráficos QQ-Plot) e também através do teste de *Kolmogorov-Smirnov*. Estes constituem testes não paramétricos (ou testes de distribuição livre, que não supõem uma distribuição específica para a população) e são especialmente úteis em amostras assimétricas, como no caso de eventos extremos.

O gráfico Q-Q (quantil-quantil) corresponde a um gráfico de probabilidades, sendo um método gráfico para comparar duas distribuições de probabilidade, traçando seus quantis de forma a confrontá-los. Se as duas distribuições em comparação são semelhantes, os pontos no gráfico Q-Q irão sobrepor a linha $y = x$, aproximadamente.

A análise do gráfico Q-Q traz indicativos de como medidas de tendência central, dispersão e assimetria se assemelham ou diferem nas distribuições comparadas e pode ser usado para verificar a aderência do conjunto de dados empíricos às distribuições teóricas. Em uma análise inicial, fornece uma avaliação de qualidade do ajuste, de forma gráfica, sem prejuízos a uma avaliação numérica.

Realizadas as análises gráficas, foi aplicado o teste de aderência não paramétrico de *Kolmogorov-Smirnov*, com um nível de significância de 95% (valor crítico tabelado = 0,05 α). O nível de significância α é a probabilidade de 5% de se tomar uma decisão incorreta (rejeitar H_0 ajustando-se bem o modelo distributivo). Ao complementar do nível de significância α , ou seja, a $(1-\alpha)$ atribuiu-se a designação de nível de confiança. Tradicionalmente, o valor de limite para rejeitar a hipótese nula é de 0,05. Isto significa que, um valor tão extremo para a estatística de teste é esperado em menos de 5% das vezes e portanto, indica o ajuste entre probabilidade empírica e teórica em 95% das vezes.

A estatística de *Kolmogorov-Smirnov* quantifica a distância entre a função distribuição empírica da amostra e a função distribuição acumulada da distribuição de referência. A distribuição nula desta estatística é calculada sob a hipótese nula de que as amostras seguem uma dada distribuição teórica. Em cada caso, as distribuições consideradas sob a hipótese nula são distribuições contínuas, mas não restritas.

Metodologicamente, considera-se $F(x)$ a proporção dos valores esperados menores ou iguais a (x) , a partir da distribuição teórica e $F_n(x)$, a proporção dos valores observados menores ou iguais a (x) , a partir da distribuição empírica, em que D_n é o módulo do desvio máximo (ou distância) observado, dado por:

$$D_n = \max(D_{MAX} - D_{MIN})$$

Compara-se D_n com D_{tab} (D_{tab} é o desvio máximo tabelado, vide valores críticos para a estatística do teste de *Kolmogorov-Smirnov*). Se D_n for menor que este valor crítico temos a aceitação da hipótese nula e, existe concordância entre as frequências observadas e esperadas, a amostra provém de uma população que segue a distribuição de probabilidade a qual o teste está sendo aplicado (CATALUNHA et al., 2002).

Portanto, foi obtida a diferença máxima, para as cinco distribuições, entre os valores teóricos e a probabilidade empírica, comparando os resultados com um valor crítico tabelado (Quadro 4). Quando a diferença máxima supera o valor crítico, existem indícios de que um determinado modelo de distribuição, não se ajusta à distribuição probabilística da variável cota máxima anual. Considerando a significância de 5% e, que para a série temporal analisada, N corresponde a 74 anos, foi estabelecido o valor crítico utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Valor Crítico} = 1,36/\sqrt{74}$$

Quadro 4 - Valores críticos da estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov em função da dimensão da amostra, N, e do nível da significância, α , DN, α .

N	DN, 0.10	DN, 0.05	DN, 0.02	DN, 0.01	N	DN, 0.10	DN, 0.05	DN, 0.02	DN, 0.01
10	0.369	0.409	0.457	0.489	26	0.233	0.259	0.290	0.311
11	0.352	0.391	0.437	0.468	27	0.229	0.254	0.284	0.305
12	0.338	0.375	0.419	0.449	28	0.225	0.250	0.279	0.300
13	0.325	0.361	0.404	0.432	29	0.221	0.246	0.275	0.295
14	0.314	0.349	0.390	0.418	30	0.218	0.242	0.270	0.290
15	0.304	0.338	0.377	0.404	31	0.214	0.238	0.266	0.285
16	0.295	0.327	0.366	0.392	32	0.211	0.234	0.262	0.281
17	0.286	0.318	0.355	0.381	33	0.208	0.231	0.258	0.277
18	0.279	0.309	0.346	0.371	34	0.205	0.227	0.254	0.273
19	0.271	0.301	0.337	0.361	35	0.202	0.224	0.251	0.269
20	0.265	0.294	0.329	0.352	36	0.199	0.221	0.247	0.265
21	0.259	0.287	0.321	0.344	37	0.196	0.218	0.244	0.262
22	0.253	0.281	0.314	0.337	38	0.194	0.215	0.241	0.258
23	0.247	0.275	0.307	0.330	39	0.191	0.213	0.238	0.255
24	0.242	0.269	0.301	0.323	40	0.189	0.210	0.235	0.252
25	0.238	0.264	0.295	0.317	>40	$1.07/\sqrt{N}$	$1.36/\sqrt{N}$	$1.52/\sqrt{N}$	$1.63/\sqrt{N}$

Org.: Menezes (2018).

Desta maneira, a partir do teste de *Kolmogorov-Smirnov* e adotando-se valor crítico de 0,1580 como critério, foram avaliadas as hipóteses:

- ✓ H0: Os dados seguem a distribuição probabilística
- ✓ H1: Os dados não seguem a distribuição probabilística

O teste de *Kolmogorov-Smirnov*, juntamente como a análise gráfica, permitiram observar a máxima diferença absoluta entre as funções de distribuição

acumuladas assumidas e a função de distribuição empírica dos dados, sendo então adotado o melhor modelo probabilístico para determinação de diferentes tempos de retorno para as inundações.

4.3 OBTENÇÃO DO MODELO DIGITAL DO TERRENO DA ÁREA URBANA DE ALEGRETE

A obtenção de um MDT teve o intuito de abordar espacialmente a ocorrência de inundações na área urbana de Alegrete. A partir da manipulação da base cartográfica em ambiente de SIG, foi possível o reconhecimento da distribuição espacial dos processos de inundação na área em estudo.

A aquisição e obtenção da modelagem digital de terreno pode ser estabelecida em três etapas, a iniciar pela aquisição das amostras ou amostragem, seguida da geração do modelo ou modelagem e, finalmente, utilização do modelo ou aplicações (NAMIKAWA et al., 2003). Assim, o MDT foi gerado a partir da interpolação de curvas de nível com equidistância de 5 metros, rede hidrográfica (em feições do tipo polígono e do tipo linha), limite da área urbana, além dos pontos obtidos em levantamento planialtimétrico nas áreas que margeiam o rio Ibirapuitã.

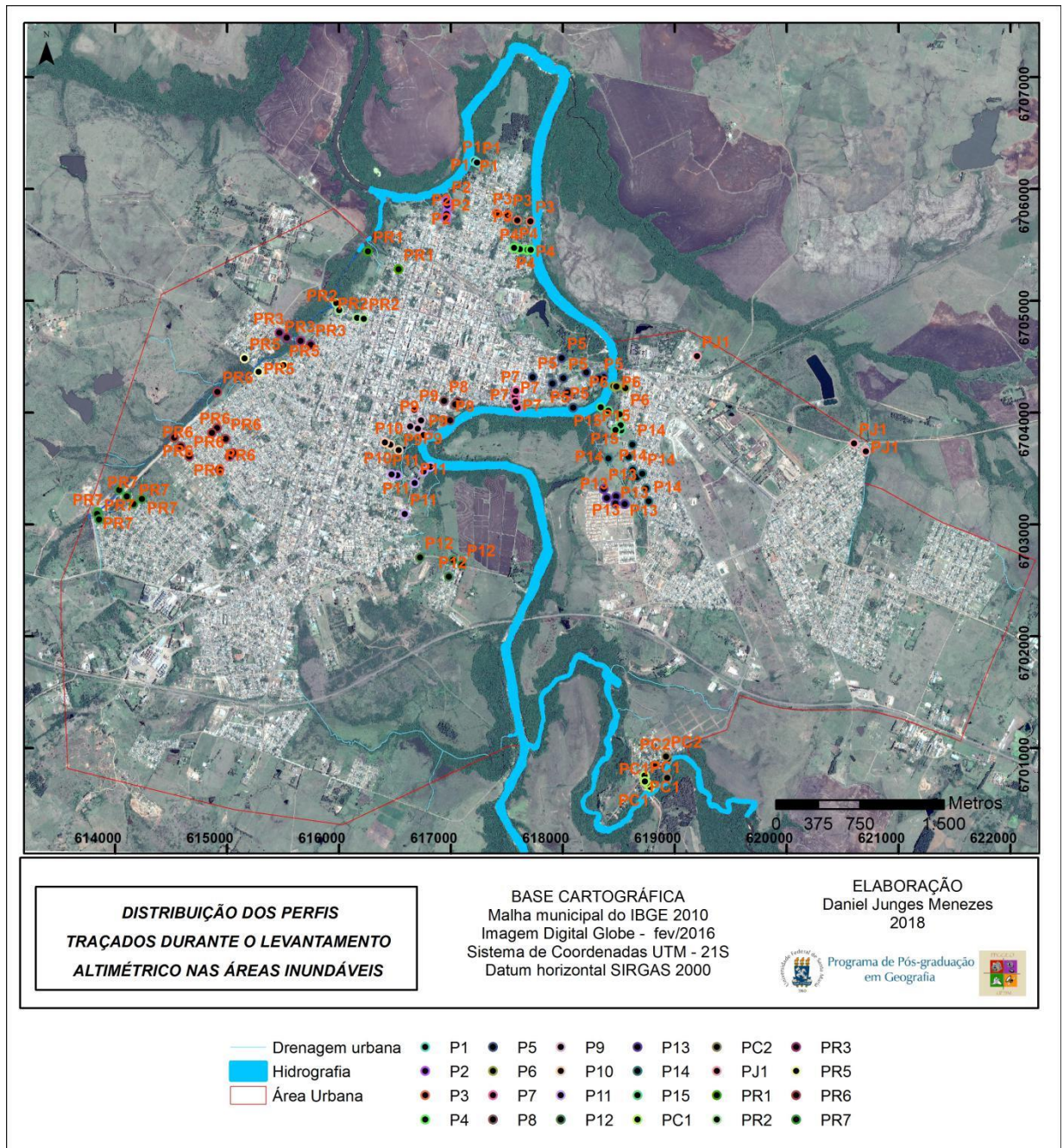
As curvas de nível, hidrografia e o limite da área urbana, foram obtidos junto ao setor de topografia da Prefeitura Municipal de Alegrete, disponibilizados na extensão *dwg* e, portanto, para o manuseio em programas do tipo CAD, foi necessária a sua conversão para o formato *shapefile* e também a atribuição do sistema de coordenadas métricas (UTM) e projeção no *Datum* horizontal SIRGAS 2000 aos arquivos. Este ajuste pode ser realizado a partir das ferramentas do grupo *Projections and Transformations* do *Arc Toolbox*, disponível no *software* ArcGIS® (*Arc Map*) 10.1 (ESRI, 2012).

O levantamento planialtimétrico foi realizado durante trabalhos de campo nos meses de outubro de 2015 e janeiro de 2016, sendo complementado por trabalho de campo no ano de 2018. Foram percorridas áreas adjuntas ao rio Ibirapuitã, e tributários (arroyos Regalado, Jararaca e Caverá), totalizando a coleta de aproximadamente 150 pontos. A rotina do levantamento planialtimétrico se deu por meio de perfis transversais à rede de drenagem. Deste modo, o primeiro ponto é sempre obtido junto às áreas mais baixas ou junto da drenagem, indo em direção às porções mais altas e ao encontro da linha de inundação máxima registrada numa

dada secção. O número de pontos deve ser sempre igual ou superior à três, considerando-se características de inclinação do terreno ou ainda indicadores importantes na caracterização do processo de inundação, como alvos específicos atingidos ou o registro da altura de inundação junto à alguma estrutura ou moradia.

Em situações, cujo rastreamento GPS/GNSS foi impossível de ser realizado devido à ocorrência de obstruções físicas (árvores, edificações, locação em meio às vias, etc.), o ponto de referência das inundações foi alocado em um local mais apropriado e livre de obstruções, sendo essa informação considerada na análise e interpretação dos dados. Isso garante uma maior fidelidade ao levantamento e, conseqüentemente, demarcação dos limites horizontal e vertical de inundação e representação das áreas sujeitas a este processo. A Figura 13 apresenta a distribuição dos pontos levantados em campo, agrupados por perfis.

Figura 13 - Mapa dos perfis traçados na obtenção do levantamento altimétrico das áreas inundáveis.



Org.: Menezes (2018).

Foram utilizados equipamentos do Laboratório de Geologia Ambiental (LAGEOLAM/UFSM) os receptores GNSS *Ruide R90T* (precisão horizontal de 5 mm + 0,5 ppm e precisão vertical de 10 mm + 0,5 ppm, quando pós-processado) e *Promark 3 - Ashtech* (precisão horizontal e vertical de 5 mm + 1 ppm, quando pós-

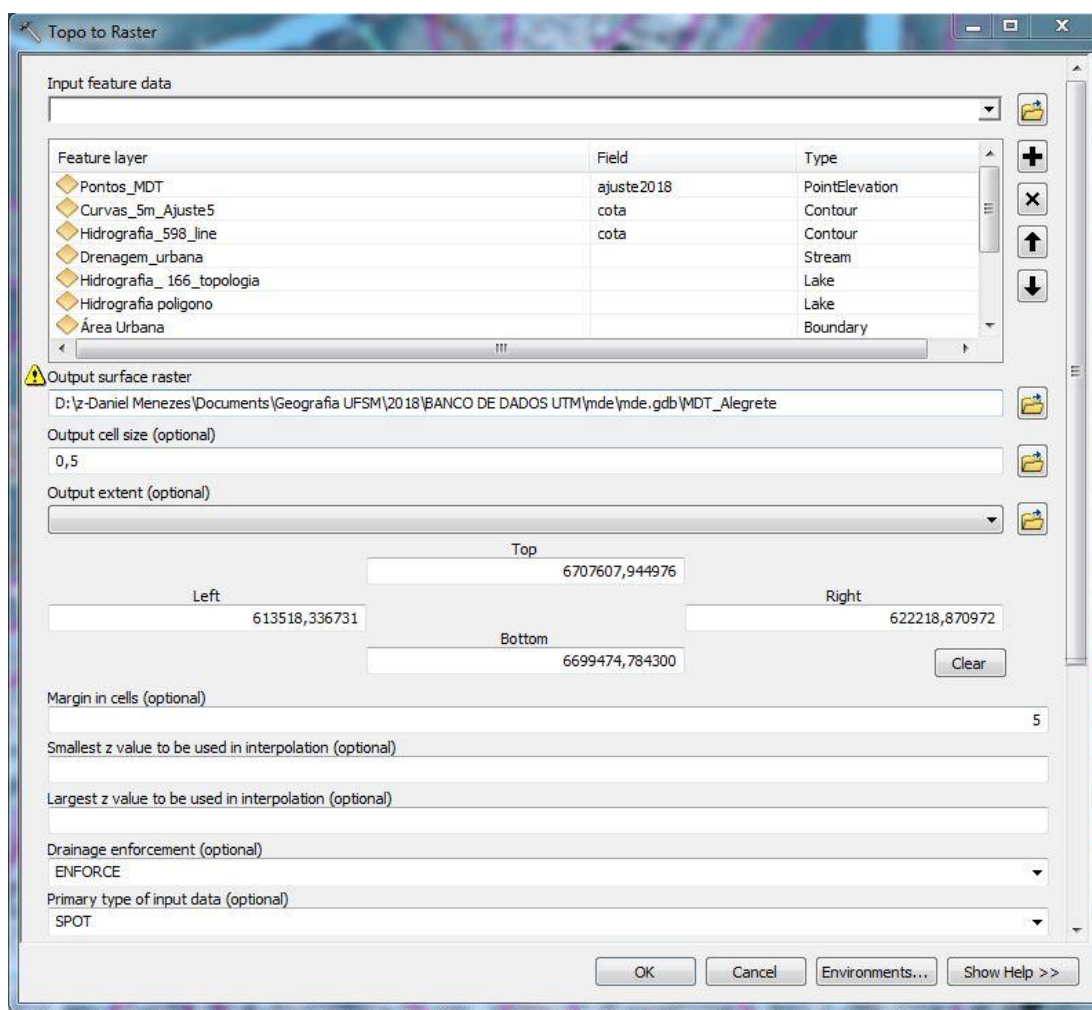
processado). O modo de coleta foi o estático rápido, sendo estabelecido o tempo mínimo de dez minutos para determinação da linha de base e rastreamento dos satélites. A utilização de um navegador portátil (*Garmin Gpsmap 64s*) acompanhou os levantamentos de alta precisão, com o intuito de controle e registro de informações não altimétricas, obtenção de referências espaciais em campo e associação aos registros fotográficos.

A etapa seguinte consistiu no pós-processamento dos pontos coletados, a partir do *software GNSS Solutions (V. 3.80.8) - Ashtech*. A estação base para o pós-processamento dos pontos utilizada foi a estação de Alegrete/RS (RSAL, Código Internacional 94048) localizada nas coordenadas $-29^{\circ} 47' 22,0036''$ S e $-55^{\circ} 46' 7,8230''$ W, altitude elipsoidal de 117,21 m e altura ortométrica de 105,22 m, fazendo parte Rede Incra de Bases Comunitárias do GNSS (RIBaC). Para este processamento, foram necessárias informações gerais, tais como as coordenadas e relativas precisões dos receptores, altura da antena e data e horário de levantamento. Os pontos pós-processados foram convertidos para o formato *shapefile*.

Considerando-se que o levantamento planialtimétrico foi realizado a partir de métodos geodésicos, a altitude registrada é a elipsoidal e teve de ser convertida para altitude ortométrica, buscando-se o ajuste ao plano cartesiano (UTM). Esta conversão foi realizada por meio do aplicativo MAPGEO2015 desenvolvido pelo IBGE, que permite a importação de uma planilha com os pontos coletados a serem ajustados.

Realizadas as etapas de campo e pós-processamento do levantamento planialtimétrico e ajustadas as curvas de nível, hidrografia e limite da área urbana, o MDT foi gerado a partir do interpolador *Topo to Raster* (Figura 14) disponível no *Arc Toolbox* do *software ArcGIS® 10.1* (ESRI, 2012) que é baseado no programa ANUDEM desenvolvido por Michael Hutchinson (1988, 1989, 1996, 2000, 2011). Através desta ferramenta, é gerado um Modelo Digital do Terreno Hidrologicamente Consistente.

Figura 14 - Interpolador *Topo to Raster* e feições Interpoladas.



Org.: Menezes (2018).

O processamento a partir deste interpolador, permite a inserção de informações topológicas. Foram interpolados os pontos altimétricos, as curvas de nível para determinação de altimetria, drenagens no formato linha e corpos d'água no formato polígono como áreas de fluxo preferencial e áreas rebaixadas. O rio Ibirapuitã foi associado a uma feição que representa um caudal baixo (de 166 mm) no formato polígono, e também à uma feição do tipo linha associada à cota altimétrica estimada para o rio no nível de 598 mm. Ambas foram obtidas a partir da interpretação e vetorização de imagens de satélite, demarcando o rio em seu leito menor, garantindo suavização do modelo em relação ao extravasamento das águas. A área urbana caracterizou o limite da área interpolada no processamento.

O arquivo gerado foi do formato “*raster*” e o tamanho de *pixel* foi de 0,5 m, considerando-se que com equidistância das curvas de nível é de 5 m, não foram apontados melhores resultados com o aumento desta resolução. O dado primário para entrada foi do tipo “*spot*”, dando ênfase aos pontos na configuração do modelo.

A validação do MDT foi realizada quanto a sua precisão altimétrica através da comparação de 30 pontos de altitude ortométrica em relação valor do *pixel* gerado no MDT, estabelecendo a diferença entre a altimetria do modelo e os pontos do levantamento topográfico. Este grupo de pontos foi oriundo de levantamento no ano de 2018, com esta finalidade de validação e, também, pontos obtidos anteriormente e que não foram modelados, distribuídos por áreas adjuntas ao rio Ibirapuitã e tributários, localizados na área urbana de Alegrete.

A interpolação das curvas de nível com equidistância de 5 m estabeleceu previamente a escala do produto gerado em 1:10.000, conforme o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), oriundo da Especificação Técnica dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-PCDG) (BRASIL, 2011), que avalia os produtos digitais produzidos e complementam os estabelecidos, para produtos impressos, no Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984.

O Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos, onde “90% dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica”. Conforme o § 4º do item 2. do Art. 8º do Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, os termos Desvio Padrão (DP), Erro Padrão (EP) e Erro Quadrático Médio (EQM) devem ser considerados como sinônimos, embora estatisticamente indiquem diferentes parâmetros de dispersão.

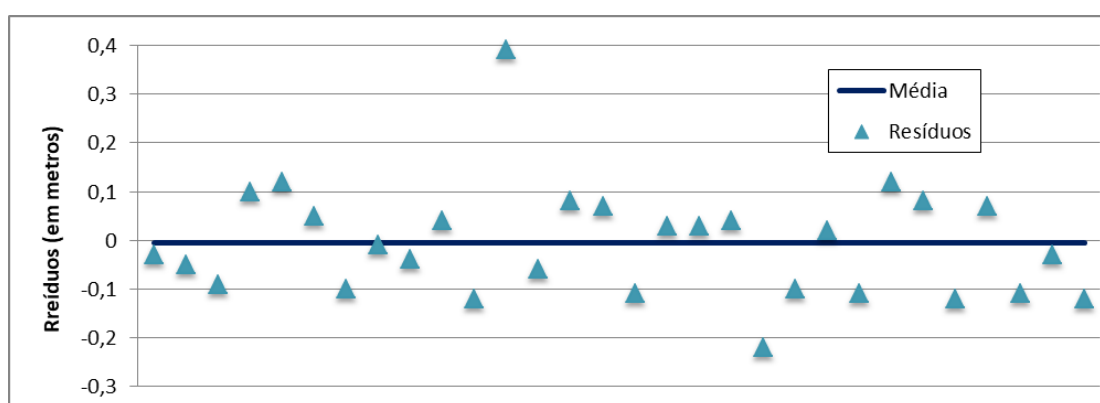
Segundo Oliveira (2015), o erro estimado em um MDT pode ser expresso como o valor obtido oriundo da raiz quadrática do erro médio (RMSE) (ou erro médio quadrático). Esta medida é tida como um padrão para as estimativas de precisão dos modelos e apresenta vantagens por ser facilmente calculada e internacionalmente padronizada. Esta é calculada pela fórmula:

$$RMSE = \sqrt{\sum(Z_{est} - Z_{obs})^2 / n}$$

Onde “Zest” é o valor de altitude estimado no MDT, “Zobs” é a altitude observada no levantamento, e “n” é o número de pontos de validação utilizados.

Deste modo, o Erro Quadrático Médio (RMSE) obtido, assim como desvio padrão, foram de 0,11 m. 21 pontos (69 % do total) apresentaram erro menor que 0,10 m, a média dos erros foi de -0,01 m e as maiores diferenças, respectivamente, negativa e positiva, foram de -0,39 m e de 0,22 m podendo ser consideradas *outliers*, conforme mostra a Figura 15.

Figura 15 – Dispersão de erros/resíduos do MDT em relação à média.



Org.: Menezes (2018).

Ressalta-se que o levantamento altimétrico, assim como a sua validação, foram espacialmente restritos e com a finalidade de estimar áreas sujeitas aos processos de inundação, estiveram associados às porções circundantes ao rio Ibirapuitã e seus tributários na área urbana. Da mesma forma, estas áreas têm como características geomorfológicas e morfométricas, a pouca declividade e altimetrias não superiores aos 85 m e não inferiores aos 70 m, em quase sua totalidade. Apresentam porções urbanizadas e com a presença de estruturas físicas como vias e pontes, que implicam em restrições de modelagem na escala adotada.

De maneira geral, nota-se uma boa aderência do MDT aos dados de campo, sendo estabelecida uma correlação alta ($R^2 = 0,99$). Os resultados obtidos quando comparados com a “PEC-PCD para os Modelos Digitais de Elevação (MDE), Terreno (MDT) ou de Superfície (MDS) e para os Pontos Cotados”, na escala

1:10.000, permitiram qualificar o modelo no padrão classe A, onde o EP obtido é menor que 0,84 m.

4.4 ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DAS INUNDAÇÕES

A análise da dinâmica espacial das inundações se deu a partir da projeção dos níveis d'água sobre o MDT, estabelecendo-se uma relação entre cota registrada no rio e cota altimétrica no terreno modelado, sendo então estimadas as áreas atingidas e estabelecidas como suscetíveis a inundação. A análise das variáveis obtidas e os levantamentos de campo também compuseram essa etapa.

4.4.1 Relação cota e área inundada

Esta relação foi feita a partir de medições altimétricas junto ao rio Ibirapuitã em pontos distintos e ao longo de suas margens, além da medição junto à régua linimétrica (Figura 16). Os levantamentos junto ao rio e a estação foram realizados durante dois dias, com o intuito de estimar um intervalo de confiança para essa relação cota - altimetria e também aferir (empiricamente) o quanto pode ser significativo e, conseqüentemente implicar na estimativa de níveis do rio, o processo de “discretização da variável contínua”, que se dá em função da estação convencional registrar uma única medição diária.

Figuras 16 - (a) Medições dos níveis do rio na estação e (b) junto às margens.



Assim, a estimativa da relação nível linimétrico e cota altimétrica foi realizada inicialmente junto à estação no dia 11/01/2016, obtendo-se a atitude da régua onde é marcado o nível de 10 m, utilizada para estimativas e também junto ao rio, que registrou neste dia o nível de 7,53 m, sendo obtidos as altimetrias de 79,49 m e 73,99 m, respectivamente. A partir da estação foram obtidos mais 3 pontos junto ao rio em posição montante e 2 à jusante, totalizando 5 pontos para conferência no primeiro dia. Durante os primeiros levantamentos, observou-se que o rio estava em processo de recuo do seu caudal em relação ao dia anterior, sendo coletados mais 5 pontos no dia 12/01/2016 e posteriormente aferido que o registro de nível foi de 5,99 metros, totalizando 11 pontos de controle.

A partir da régua com nível de 10 m foram estimadas cotas altimétricas correlatas para as os níveis de 7,53 e 5,99 m e comparadas com as cotas altimétricas medidas em campo e calculadas as diferenças entre dados observados e medidos (resíduos), conforme a mostra a Tabela 3. Observou-se que a diferença dos dois primeiros pontos (régua a 10 m e nível do rio) foi de apenas 3 cm, considerando-se o que e foram obtidos juntos à estação e em intervalo de tempo curto entre uma medição e outra, sendo registradas maiores diferenças em outros pontos no dia 11/01/2016 e todos com variação negativa. Já no dia 12/01/2016, as variações foram todas positivas e o erro foi maior que 10 cm em todas as comparações, estimando-se as altimetrias a partir da régua linimétrica.

Tabela 3 - Resíduos obtidos na relação nível linimétrico e cota altimétrica.

Data	Posição	Nível (m)	Cota Padronizada (m)	Cota medida(m)	Resíduo
11/1/2016	Estação	10,00	76,49	76,49	-
11/1/2016	Estação – rio	7,53	74,02	73,99	-0,03
11/1/2016	Jusante	7,53	74,02	73,95	-0,07
11/1/2016	Jusante	7,53	74,02	73,89	-0,13
11/1/2016	Montante	7,53	74,02	73,96	-0,06
11/1/2016	Montante	7,53	74,02	73,97	-0,05
11/1/2016	Montante	7,53	74,02	73,99	-0,03
12/1/2016	Montante	5,99	72,48	72,62	0,14
12/1/2016	Montante	5,99	72,48	72,61	0,13
12/1/2016	Montante	5,99	72,48	72,61	0,13
12/1/2016	Montante	5,99	72,48	72,62	0,14
12/1/2016	Montante	5,99	72,48	72,58	0,10
Média	-	-	-		0,02

Org.: Menezes (2018).

Utilizando funcionalidades do *Excel* e *Past*, resíduos foram analisados e assim, foram obtidas medidas de dispersão sendo estabelecido o intervalo de confiança de 95% (a 0,05) de *t-student*, estatística utilizada para pequenas amostras. As cotas medidas e as cotas padronizadas a partir da régua apresentaram Correlação (R^2) de 0,999 e análise a dos resíduos (Tabela 4) apontou um erro médio de 0,02 m, erro padrão de 0,03 m e um desvio padrão de cerca de 0,10 m.

O intervalo de confiança de 95% de *t de Student*, para 11 amostras foi de 0,069 m, apontando resíduos entre -0,045 e 0,09 m, respectivamente, como limites inferior e superior. Estes se referem aos pontos finais do intervalo de confiança, estabelecendo uma faixa de 0,138 m como medida dessa incerteza em relação à média.

Tabela 4 - Sumário estatístico -Relação nível linimétrico e cota altimétrica.

Estatística	Valores (m)
Variância	0,011
Desvio Padrão	0,103
Erro Padrão	0,031
Int de Confiaça 95%	0,069
Média	0,025
Limite +	0,094
Limite -	-0,045
Amplitude (+-)	0,138

Org.: Menezes (2018).

A análise permitiu aferir de forma satisfatória a estimativa de cotas altimétricas associadas a níveis linimétricos que são registrados junto à estação da ANA, considerando-se que o rio recuou mais de 1,5 m entre os dias de coleta dos dados e os registros foram sensíveis ao processo. Destaca-se, no entanto, que elementos como a morfologia do canal e distanciamento da estação tendem a implicar nesta relação, principalmente durante eventos extremos, onde muitas vezes o limite vertical da inundação não é registrado na estação convencional ou a dinâmica do processo e sua magnitude promovem a variação significativa e rápida no nível do caudal do rio.

4.4.2 Espacialização das áreas inundadas

Estabelecido o levantamento altimétrico, obtendo o MDT da área urbana de Alegrete e definida a associação das cotas do rio Ibirapuitã com as respectivas cotas altimétricas, foi possível espacializar as inundações projetadas sobre o terreno modelado considerando-se diferentes magnitudes e frequências. Para tal, foi realizada a conversão dos *layers* de inundação gerados no formato *raster* para o formato vetorial, por meio da ferramenta *Raster to polygon* disponível no conjunto *Conversion tools* do *Arc Toolbox* do *software* ArcGIS® 10.1 (ESRI, 2012). Este processo permitiu estimar as áreas afetadas, consideradas e mapeadas como suscetíveis a inundação e posteriormente associar a cada tempo de retorno, os respectivos limites: horizontal (extensão da área inundada) e vertical (altura alcançada pelas águas em relação ao plano), em diferentes partes do terreno.

Constituídas estas etapas que subsidiaram tecnicamente a modelagem espacial, a definição das áreas sujeitas a inundações levaram em conta duas tipologias de atributos principais, genericamente denominados, como atributo prévio e atributo condicionante, que integrados, permitiram espacializar as dinâmicas e processos de inundação na área de estudo.

Como atributo prévio para espacialização das áreas inundáveis, tomou-se a cota de 82 m na área urbana de Alegrete, em acordo com o Plano Diretor, Lei nº 2.679, de 05 de junho de 1996 do município de Alegrete, que foi atualizado para se adequar as diretrizes contidas no Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001). Essa atualização, implementada por uma equipe multidisciplinar do Poder Executivo Municipal, representantes da Câmara de Vereadores e demais segmentos da sociedade, Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento do Município de Alegrete (Lei Complementar nº 021 de 16 de outubro de 2006).

Em seu Art. 19º, da presente Lei, a respeito do zoneamento de áreas com exigências diferenciadas concernentes ao uso dos espaços, determina que “toda a zona inundável (abaixo da cota 82) é considerada imprópria para edificação cabendo ao Poder Público implementar com a possível urgência a remoção e o reassentamento das pessoas ali localizadas”.

Da mesma forma, no Art. 13, são diretrizes para a Política de Habitação do Município “II - prevenir as ocupações em áreas de risco ambiental e não edificáveis;” e, “VI - buscar alternativas para a remoção de famílias que estejam residindo em áreas de risco, em locais de interesse ambiental ou em locais de interesse urbanístico, buscando alternativas habitacionais para essas famílias.” Em complementaridade, no Art. 17, onde constam estratégias para ordenar a expansão urbana no município, temos: “I - prevenir a expansão urbana nas áreas de risco e de preservação ambiental”.

Segundo a Prefeitura Municipal, a cota máxima registrada para inundações é de 81,8 m, no ano de 1959. Portanto, há uma cota prévia de inundação de 82 m, já adotada no texto e, conseqüentemente, nos dispositivos legais, para a área urbana de Alegrete. Considerou-se adequado utilizar este instrumento legal, assim como sua referida cota, como atributo prévio para espacialização das áreas inundáveis.

Denominou-se atributo condicionante, toda interferência antrópica ou natural, que dinamizam ou condicionam as inundações em áreas correlatas ao rio Ibirapuitã na área urbana de Alegrete. Nestas, estão inclusas as áreas sujeitas aos processos

de inundação atreladas ao tributários Caverá, Jararaca e Regalado, sendo este último ainda condicionado à processos de intervenção estrutural direta, na sua porção montante.

Estes atributos tiveram sua identificação *in loco*, sendo possível determinar processos associados que implicam em suscetibilidade a inundações. Caracterizados pelo levantamento de campo, atributos como distância da drenagem, grandes aclives em relação à margem e a influência dos tributários do rio Ibirapuitã, cuja sensibilidade, poderiam não ser inferidas pelo MDT, foram considerados para o traçado espacial de uma linha de suscetibilidade à inundação.

O contexto deste levantamento esteve associado à inundação de dezembro do ano de 2015, considerada um evento extremo, em termos de magnitude e recorrência pela Defesa Civil e moradores. O Relatório Gerencial de Danos Informados do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) estimou 1.159 desabrigados, 3.841 desalojados, em um total de 5.000 afetados diretos.

A inundação de 2015 tem sua máxima elevação do caudal na noite de 24 de dezembro e, segundo moradores, teve como característica a rápida evolução, ocorrendo o extravasamento das águas e aumento dos níveis, em dois dias e, retorno à calha principal e recuo das águas, em três dias (Figura 17). O registro do processo junto à estação da ANA remete a cota de 10,55 m, ainda ao final do dia 23 de dezembro, sendo que não foram registrados os picos máximos junto à régua linimétrica, o que impossibilitou estimar inferências a partir deste dado.

Figura 17 - Águas do rio Ibirapuitã avançam sobre da área urbana de Alegrete - dezembro de 2015.



Fonte: Prefeitura Municipal de Alegrete (2015).

Os levantamentos de campo, realizados na primeira quinzena do mês de janeiro de 2016, permitiram verificar os danos ainda presentes, junto às vias e residências, onde foram identificados 24 pontos que caracterizam a linha máxima de inundação do rio Ibirapuitã neste evento, sendo identificados ainda 10 pontos além da área inundada, que registravam a altura máxima da lâmina d'água (ou limite vertical) do processo.

A partir do levantamento por perfis, foram estimadas cotas altimétricas para o alcance máximo das águas no evento de 2015 sendo obtido uma cota média de 81,75 m. Foram obtidas medidas de dispersão, sendo estabelecido o intervalo de confiança de 95% (σ 0,05) de *t-student* para a média (Tabela 5). As cotas medidas apresentaram variância de 0,05 e erro padrão de 0,04 m. O desvio padrão indicou dispersão de 0,22 m dados com relação à média, no entanto, o intervalo de confiança de 95% para as 24 amostras foi de 0,09 m, apontando valores entre 81,65 e 81,84 m, respectivamente, como limites inferior e superior. Estes se referem aos pontos finais do intervalo de confiança, estabelecendo uma faixa de 0,19 m como medida dessa incerteza em relação à cota média.

Tabela 5 - Sumário estatístico - linha de inundação ano de 2015.

Estatística	Valor (m)
Variância	0,05
Desvio Padrão	0,22
Erro Padrão	0,04
Int de Confiaça 95%	0,095
Média	81,75
Limite +	81,84
Limite -	81,65
Amplitude (+-)	0,19

Org.: Menezes (2018).

Tendo em vista a verificação da linha de inundação estabelecida pela cota média e, a identificação de locais cujo nível da água foi possível de ser aferido, foram estabelecias estimativas da cota de inundação, acrescentando-se à altimetria do ponto e o nível de submersão no mesmo ponto. Assim, o produto do somatório da altimetria em um dado ponto e o nível da inundação, estabeleceu as cotas de inundação estimadas. No intuito de comparar as cotas medidas e estimadas, foram confrontados os valores e obtidas médias dos dois conjuntos de dados (Tabela 6).

Tabela 6 - Linha de inundação medidas e estimadas em função do nível de inundação.

Perfil	Lat.UTM	Long.UTM	Nível inundação(m)	Cota inundação medida (m)	Cota inundação estimada (m)	Diferença
P15	618471	6703844	2,90	81,81	81,46	-0,35
P5	618005	6704305	1,54	81,91	81,92	0,01
P7	617577	6704096	1,74	81,63	81,38	-0,25
P10	616460	6703711	1,63	81,98	81,83	-0,15
P12	617019	6702681	1,74	81,70	82,11	0,40
P14	618666	6703421	1,35	81,84	81,74	-0,10
P4	617617	6705461	1,45	81,50	81,28	-0,22
P5	618212	6704357	1,30	81,80	81,86	0,06
P5	617908	6704258	1,50	81,80	81,93	0,13
P5	617992	6704486	2,30	81,80	81,68	-0,12
Média	-	-	-	81,78	81,72	-0,03

Org.: Menezes (2018).

Os níveis de inundação variaram entre 1,30 e 2,90 m, enquanto as diferenças entre cota medida e estimada estiveram entre -0,35 e 0,40 m. Observa-se que, tanto as cotas medidas, oriundas do grupo de 24 medições, e também as estimadas,

apresentaram uma variação de 0,03 m em relação à média. Quando observado o sumário estatístico de ambos os conjuntos (Tabela 7), tem-se que as medidas de dispersão, assim como os limites superiores e inferiores que se referem aos pontos finais do intervalo de confiança, aumentaram para os dados estimados.

Tabela 7 - Sumário estatístico - linha de inundação.

Estatística	Cota inundação medida (m)	Cota inundação estimada (m)
Variância	0,01	0,07
Desvio Padrão	0,13	0,26
Erro Padrão	0,04	0,08
Int de Confiaça 95%	0,09	0,19
Média	81,78	81,72
Limite +	81,87	81,90
Limite -	81,67	81,52
Amplitude (+-)	0,19	0,38

Org.: Menezes (2018).

Considera-se que o conjunto de dados estimado está sujeito a uma maior dispersão, em função que este integra mais fatores, que incluem obtenção da altimetria no terreno, medição do nível d'água atingido pela inundação e, por fim, a comparação à outra medida esperada. Com o intuito de verificar se a diferença entre os valores médios é significativa, foi utilizado o teste *t* de significância para dados pareados sendo estabelecido o intervalo de confiança de 95% ($1-\sigma=0,05$). As amostras foram pareadas com o intuito de determinar as diferenças e relações para a cota média da linha de inundação e consiste em determinar, a diferença entre cada par de valores e então testar se a média das diferenças é igual a zero. Isto indica, considerando-se um intervalo de confiança, o quão próximo são as estimativas, considerando-se que representam o mesmo processo. Este teste é baseado na estatística *t*, calculado através da expressão:

$$t = \bar{d} / Sd \sqrt{n}$$

Onde, $\bar{d}$ é a média das diferenças das observações *Sd*, a variância das diferenças obtida com todas as observações e “*n*” é o número de amostras.

Desta maneira a partir do teste, foram avaliadas as hipóteses:

- ✓ $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ (a diferença é significativa)
- ✓ $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$ (diferença não é significativa)

A hipótese nula é rejeitada quando $|t| > |t_{crítico}|$ em função do nível de significância adotado. A Tabela 8 apresenta o resultado do teste t para os dados pareados.

Tabela 8 - Teste t de significância para os dados pareados para cotas de inundação.

Estatística	Cota medida (m)	Cota estimada (m)
Média	81,770	81,718
Variância	0,018	0,0714
Observações	10	10
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	13	
t calculado	0,617	
t crítico	2,160	

Org.: Menezes (2018).

Portanto, como $t = 0,617 < t_{crítico} = 2,160$, conclui-se que a diferença entre as cotas de inundação medidas e estimadas não é significativa, ao nível de significância de $\alpha = 0,05$. A amostragem e procedimentos não forneceram evidência estatística de diferença entre as medidas, sendo aceita a cota média de 81,75 predefinida durante os levantamentos de campo, como linha de inundação para o evento de 2015.

A utilização de medidas de dispersão e de intervalos de confiança objetivou além da análise estatística da acurácia dos dados levantados, teve intuito de evidenciar a presença de elementos geomorfológicos e hidrológicos, que em uma área urbanizada e na escala adotada, não puderam ser totalmente quantificados em função da complexidade. O gradiente altimétrico natural, cuja variação negativa se dá da porção sul para a porção norte da área urbana, a conformação meandrante do rio Ibirapuitã que configura margens erosivas e deposicionais e, conseqüentemente, implicações em diferenças de energia, retenção e fluxo do caudal, são características naturais da área afetada. Sendo considerados estes elementos

típicos de uma planície inundável, é a partir destes que se dão as variações na dinâmica e na extensão do processo de inundação na área urbana de Alegrete.

Faz-se ainda, a ressalva procedimental condizente à técnica de delimitação da área máxima atingida utilizada, onde grande parte das amostras é obtida em locais públicos, como parques e vias, sendo comum e necessário em dados momentos, o deslocamento horizontal (preferencialmente para além da área atingida), em função do desvio de obstáculos ou da melhor operacionalidade e funcionamento dos equipamentos. Buscou-se o ajuste conforme as observações de campo, sendo excluídas da análise, informações onde a discrepância não pode ser minimamente aferida. Informações obtidas nas áreas atingidas, junto aos moradores e que remetem a magnitude dos eventos, foram validadas em campo.

Sendo assim, a definição desta linha de inundação subsidiou a caracterização de processos e um melhor ajuste à delimitação prévia, considerando-se os intervalos de confiança e observações realizadas. Considerando-se também as observações *in loco*, foram acrescidas áreas em relação à cota de 82 m em porções junto ao arroio Caverá, tributário mais à jusante ao rio Ibirapuitã, cuja geomorfologia e topografia conferem diferenças positivas em relação à cota de inundação prévia. Para estabelecer relações de recorrência, foram utilizadas neste caso específico, cotas associadas aos eventos registrados nos dias 25/11/2009 e 18/09/2017, além do evento de 2015.

Quanto ao arroio Jararaca, observou-se que o distanciamento do curso do arroio em relação ao perímetro urbano, na sua porção montante que somada à presença das vias, implicaram em uma menor magnitude dos eventos em algumas áreas. O mesmo se deu em relação ao arroio Regalado, cuja porção montante atualmente apresenta significativas intervenções sendo retelinizada e redimensionada, em função da construção de uma via. O projeto, ainda em execução, altera a dinâmica de escoamento e represamento das águas do arroio e de pequenos canais de drenagem pluvial e fluvial, afetando área mais rebaixadas e próximas às drenagens.

Da mesma forma, a presença de dinâmicas diferentes em função de critérios espaciais, geomorfológicos e intervenções estruturais, permitiu apontar duas grandes tipologias de dinâmica hídrica que causam eventos adversos na área urbana de Alegrete: Processo Ibirapuitã/tributários, passível de análise em função

das cotas linimétricas, e com grande abrangência espacial; Processo Regalado/montante, mais restrito em termos de área e recorrência.

Deste modo, os processos de inundação do rio Ibirapuitã, foram divididos em sete trechos, a serem citados: trecho meandro Norte, trecho meandro Oeste, trecho meandro Leste, trecho Sul, trecho Caverá, trecho Jararaca e trecho Regalado/jusante. Esta distinção de trechos teve o intuito de melhor compreender as dinâmicas e processos e também permitiram a apresentação mais detalhada dos resultados da pesquisa, sob o ponto de vista espacial.

4.5 DETERMINAÇÃO DO PERIGO DE INUNDAÇÃO

A determinação do perigo constituiu o primeiro nível de análise da dinâmica espaço-temporal de inundações, tendo em vista a proposta metodológica deste trabalho. Consideram-se aqui duas dimensões espaciais do perigo, onde este tem primeiramente um aspecto qualitativo e são definidas áreas perigosas e não perigosas. A segunda dimensão é quantitativa, pois são determinados graus de perigo, sendo classificadas o quanto são perigosas as áreas umas em relação as outras. Assim, após definido o melhor modelo probabilístico para estimativa de tempos de retorno, simulados os processos de inundação e extensão horizontal e vertical, passou-se à espacialização das áreas ocupadas.

Por meio do cruzamento das áreas denominadas suscetíveis e imagens orbitais da área urbana de Alegrete, foi possível identificar as áreas sujeitas ao processo de inundação que são ocupadas. As imagens de satélite que foram utilizadas nesta etapa foram obtidas gratuitamente a partir do aplicativo *SAS.Planet*, sendo exportadas imagens *GeoEye*, datadas de agosto de 2016 e fevereiro de 2018, com resolução espacial de 0,5 m, já mosaicadas e georreferenciadas no sistema de coordenadas UTM - 21S.

Metodologicamente e conceitualmente, foram denominadas áreas de perigo, as áreas urbanizadas que incorporam diversas tipologias de assentamentos humanos edificados, considerando-se áreas de ocupação consolidadas (área arruada e efetivamente ocupada por uso residencial, industrial, comercial ou de serviços, caracterizada pela presença de ruas, casas e prédios; assentamento precário; loteamento desocupado; indústria e equipamento urbano) e também,

quando identificadas edificações isoladas, não fisicamente integradas (ocupações dispersas), mas que se mostram representativas na escala de interpretação visual.

A área urbanizada e o sistema viário foram interpretados com base nas imagens de alta resolução (cor verdadeira) e aplicação de técnicas de fotointerpretação que mesclam a distinção e associação visual de formas, cores e texturas. A obtenção de um arquivo de estrutura vetorial, se deu por meio da criação de poligonais utilizando-se as ferramentas de vetorização e edição disponíveis no *software* ArcGIS 10.1.

Foram delimitadas as áreas de edificações visíveis na escala de 1:2000 e que apresentam continuidade física, até serem cessadas por terrenos ou áreas cuja ocupação não seja permanente ou de uso não urbano (cobertura vegetal, campo natural e antrópico, culturas e corpos d'água). Para a representação na cartografia síntese, adota-se a designação genérica de área urbanizada/edificada, que compreende os vários tipos identificados.

Os graus de perigo foram estabelecidos em função dos tempos de retorno (probabilidade de ocorrência) e cotas que marcam estas inundações (severidade). Assim, entende-se que o grau de perigo é inversamente proporcional à distância das moradias em relação ao rio e, por sua vez, diretamente proporcional à recorrência.

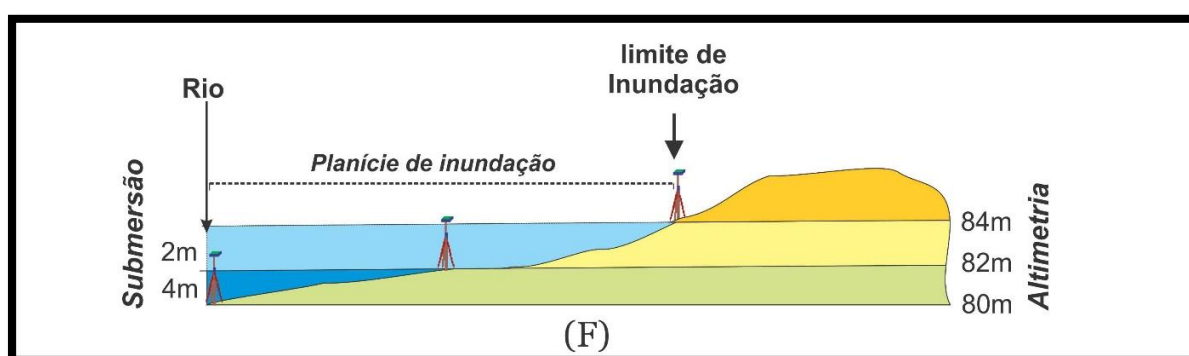
A análise de tempos de retorno das inundações, estabelecida a partir da série histórica de cotas do rio Ibirapuitã, permitiu hierarquizar a ocorrência conforme a probabilidade cumulativa e consequente probabilidade de excedência, sendo então estimados os valores entre 0 a 1 para ocorrência de inundações (onde 1 é probabilidade máxima de ocorrência e 0 a de não ocorrência). Estes índices foram estabelecidos para os seguintes tempos de retorno: TR2, TR5, TR20, TR50 e maior que 50 anos.

Considera-se *severidade* a capacidade do evento para geração de perdas e danos avaliada, por meio de parâmetros de magnitude do evento, como área atingida e altura da lâmina d'água. Tendo em vista estas duas grandezas, limite máximo de inundação e a elevação do nível d'água em metros registrado nas réguas linimétricas, estimativas de submersão das áreas afetadas puderam ser obtidas. Assim, a diferença entre a cota altimétrica numa dada área e a cota atingida por uma inundação, caracterizam o quanto a água se elevou em dado recorte espacial.

O esquema abaixo (Figura 18) representa um perfil simplicado (F), onde conforme medições de campo, a inundação tem o seu limite na cota de 84 m,

associadas a um rio cuja calha está na cota de 80 m. A amplitude entre estes dois pontos, rio e cota máxima, marcam a planície de inundação. Projetando-se o valor de 84 metros para todo o terreno até o rio, para toda e qualquer medida altimétrica entre estes dois pontos, a diferença em metros entre essa medida, em relação ao limite de inundação, terá como resultante o nível de submersão ou a altura da lâmina da água naquele ponto.

Figura 18 - Cálculo do nível de submersão de áreas inundáveis.



Org.: Menezes (2016).

Deste modo, a severidade das inundações para a área urbana de Alegrete esteve associada à altimetria mínima de uma máxima anual, 71,83 m (correspondente à cota linimétrica de 5,34 m, o menor valor dentre as máximas anuais registradas) e à altimetria de 81,7 (linha de inundação medida). A amplitude destes valores (9,92 m), corresponde à amplitude do limite vertical de uma inundação e então a severidade deste processo. Da mesma forma, a amplitude destes valores foi padronizada para valores de 0 a 1 (onde 1 é a altura máxima da inundação e 0 a mínima), correspondendo à severidade.

Deste modo, estabeleceu-se para as inundações um índice de perigo (entre 0 e 1), considerando como elementos o tempo de retorno (expresso em probabilidade) e magnitude (severidade). Esta proposta metodológica pode ser expressa a partir da seguinte fórmula:

$$P = [p(TR)] + [Sp]$$

Onde, o Perigo “P” é a soma da probabilidade “p” associada a um determinado Tempo de Retorno “TR” e da severidade padronizada “Sp”, sendo $P = (0 \leq P \leq 1)$.

Este índice foi estabelecido para os tempos de retorno: TR2, TR5, TR20, TR50 e TR maior que 50 anos. Valores que venham a extrapolar esta análise de perigo foram observados em cálculos de TR inferior a 2 anos e, portanto, de inundações cuja probabilidade é elevada (como a cota linimétrica de 840 mm). Este tempo de retorno caracteriza áreas cujo perigo é de fato elevado e, conforme sugerem Tucci e Bertoni (2003), a água escoar pelo leito menor durante todo o ano, sendo comum o leito maior inundar em um período aproximado de 1,5 a 2 anos.

Critério semelhante foi adotado para as áreas junto ao arroio Caverá, onde não existindo medições linimétricas, foram estimadas recorrências em função de observações de campo, sendo estimadas probabilidades para as inundações com magnitude igual aos eventos recentes, dos anos de 2009 e 2017. Foram consideradas para severidade a cota altimétrica de 76,5 m, junto ao arroio e a cota de inundação de 2015 média no perfil Caverá, de 83,75 m. A amplitude de 7,25 m foi padronizada para o índice de severidade e incorporada às probabilidades correspondentes as inundações referentes aos anos de 2017 (TR4) e 2009 (TR13). Para os processos associados à porção montante do arroio Regalado, foram utilizados índices arbitrários de 0,1 à 0,35, conforme a distância do canal, onde de maneira geral, os processos caracterizam-se pela grande recorrência, mas pouca severidade, em relação às inundações do rio Ibirapuitã.

A análise do perigo está, portanto, associada à magnitude dos eventos e a sua frequência de ocorrência. As áreas mais próximas do rio estão mais sujeitas as inundações que probabilisticamente acontecem em menores intervalos de tempo, sendo frequentes, embora possam ter menor magnitude. No entanto, naturalmente estão de forma concomitante, sujeitas a inundações cuja frequência é baixa, mas tornam-se mais severas por caracterizarem grandes elevações do nível d'água em porções mais próximas ao rio.

4.6 DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE

A análise espacial da vulnerabilidade é sobretudo quali-quantitativa. Entende-se que é premissa para a presença de elemento vulnerável, a qualificação anterior

de uma área perigosa. No entanto, o quanto são vulneráveis os elementos expostos, é fator fundamental na concepção do risco. Para análise da vulnerabilidade das áreas afetadas por processos de inundação na área urbana de Alegrete, foram considerados características dos usos e atividades expostas, padrão das construções, além de informações socioeconômicas da população. A estimativa de um índice de vulnerabilidade foi estabelecida em função de três grupos de informações, que variam quanto à origem, representação espacial e método de obtenção, a serem detalhadas na Tabela 9

Tabela 9 - Informações utilizadas para análise da e vulnerabilidade.

Tipo	Fonte	Abrangência espacial	Variável de vulnerabilidade	Classe vetorial
Secundária	Censo do IBGE - 2010	Setores censitários	Renda per capita por número de salários mínimos por domicílios	Polígonos
Secundária	Cadastro Alegrete "Geo Alegrete"	Lotes cadastrados na escala 1:2000	Tipo de uso/padrão das edificações	Pontos
Primária	Levantamento de Campo e vetorização de feições via interpretação de imagens orbitais	Edificações afetadas	Tipo de uso/padrão das edificações	Pontos

Org.: Menezes (2018).

O uso de várias fontes se deu em função de que o levantamento *in loco*, por meio de trabalhos de campo, tanto da estimativa do contingente afetado assim como características socioeconômicas desta população, configurou-se inviável no contexto desta pesquisa. Assim, a avaliação da vulnerabilidade socioeconômica das áreas afetadas se deu por meio da análise dos dados oriundos dos setores censitários do IBGE (2010).

No entanto, o número de edificações e o uso destas, foram dados primeiramente em função de um cadastro disponibilizado pela Prefeitura Municipal. Estabelecido via contratação de serviços, o levantamento prevê um cadastro dos lotes urbanos na escala de 1:2000. Tendo em vista que a execução do serviço estava sendo realizada e em vias de ser entregue ao Órgão Público, não foram obtidas informações completas deste cadastro, sendo necessário a sua ampliação e ajustes, tendo em consideração as necessidades, métodos e escala desta pesquisa.

Portanto, a vulnerabilidade foi determinada em função de dois parâmetros: característica socioeconômica das áreas afetadas, obtidas via setores censitários e, característica dos usos e padrão das estruturas expostas, considerando-se um cadastro prévio e, a sua atualização realizada via análise de campo e fotointerpretação. Estes dois critérios são descritos a seguir:

4.6.1 A vulnerabilidade por setor censitário

Disponibilizado pelo IBGE, o arquivo “Base de Informações por Setores Censitários” de cada Unidade da Federação está subdividido em 18 planilhas. Para a análise da vulnerabilidade, foi utilizado o arquivo “DomicílioRenda_UF.xls” que fornece informação sobre os rendimentos dos domicílios, onde UF1 é a sigla da Unidade da Federação. Os registros (ou linhas) de cada planilha estão classificados em ordem crescente de código do setor censitário (Cod_setor) e cada coluna corresponde a uma variável, descrita em código numérico, relacionadas ao setor.

Deste modo, foram selecionados 51 setores cuja área intercepta porções sujeitas a inundações, do total de 129 setores que configuram o censo para a área urbana de Alegrete. Dentre o conjunto de variáveis disponíveis, foram selecionadas as variáveis de renda per capita, estratificadas por faixas de salário mínimo, tendo como unidade de quantificação da variável o número de domicílios, conforme a Tabela 10.

Esta escolha se deu em função de que este dado, sendo organizado por classes e tendo como referência o salário mínimo, não demanda de ajustes para sua aplicação, como a renda nominal ou total, que obtidas no ano de 2010, precisariam ter seus valores corrigidos para sintetização e apreciação na análise. Outro fato que motivou o uso da renda per capita por faixas para estabelecer a vulnerabilidade dos setores, foi a seguinte relação: quanto maior o percentual de domicílios com baixo rendimento per capita em um setor, maior tende a ser a vulnerabilidade diante as inundações dos domicílios presentes naquele setor.

Tabela 10 - Informações utilizadas para análise da vulnerabilidade por setores censitários.

Variáveis	Descrição
V005	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de até 1/8 salário mínimo.
V006	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/8 a 1/4 salário mínimo
V007	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/4 a 1/2 salário mínimo
V008	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/2 a 1 salário mínimo
V009	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1 a 2 salários mínimos
V010	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 2 a 3 salários mínimos
V011	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 3 a 5 salários mínimos
V012	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 5 a 10 salários mínimos
V013	Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 10 salários mínimos
V014	Domicílios particulares sem rendimento nominal mensal domiciliar per capita

Org.: Menezes (2018).

Para a quantificação desta relação, foi realizada uma reorganização das variáveis para cinco classes, atribuindo-se pesos em relação à vulnerabilidade para cada uma destas novas classes, conforme o Tabela 11.

Tabela 11 - Agrupamento e pesos utilizados para análise da vulnerabilidade por setores censitários.

Variável	Agrupamento/Descrição	Peso em relação à vulnerabilidade
V014 V005 V006 V007	Percentual de domicílios particulares sem rendimento nominal mensal domiciliar per capita ou com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de até 1/2 salário mínimo.	1
V008	Percentual de domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/2 a 1 salário mínimo	0,8
V009	Percentual de domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1 a 2 salários mínimos.	0,6
V010	Percentual de domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 2 a 3 salários mínimos.	0,4

V011 V012 V013	Percentual de domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 3 salários mínimos.	0,2
----------------------	--	-----

Org.: Menezes (2018).

O cálculo se deu partir do percentual de domicílios em cada uma das classes de renda, multiplicado pelo respectivo peso, sendo o somatório dos percentuais ponderados, o índice de vulnerabilidade para o setor (V_s), conforme a fórmula:

$$V_s = \sum (\%)1 + (\%)0,8 + (\%)0,6 + (\%)0,4 + (\%)0,2$$

A partir desta relação, foi estabelecido um índice que pode variar de 0,2 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior a vulnerabilidade. Não foi ponderado o valor “0” pois, entende-se que todos os domicílios em áreas inundáveis, apresentam alguma vulnerabilidade diante ao processo.

4.6.2 A vulnerabilidade em função do uso

O segundo critério a ser considerado na análise da vulnerabilidade, foram condicionantes de uso e ocupação, que podem representar maiores ou menores danos diante inundações e complementam o indicativo obtido por meio das variáveis de renda. As tipologias de uso foram inicialmente discretizadas em uso residencial e uso comercial/serviços.

Em complementariedade a estas categorias, foram obtidas mais duas classes de uso que são consideradas agravantes quanto à vulnerabilidade, denominadas moradias de baixo padrão e infraestruturas. A atribuição dos valores para a vulnerabilidade em função do uso foi denominada “ V_u ” e se deu considerando-se que os valores e respectivas grandezas ajustam-se aos distintos graus de vulnerabilidade à inundação da área de estudo.

Foram atribuídos valores que variam de 1 a 0,5 para cada categoria, considerando uma maior ou menor exposição às inundações e a maior ou menor significância na avaliação da vulnerabilidade. Deste modo, foi aplicado um valor de vulnerabilidade para cada edificação, que variam conforme a Tabela 12.

Tabela 12 - Agrupamento e pesos utilizados para análise da vulnerabilidade por setores uso.

Categoria	Agrupamento/Descrição	Peso em relação à vulnerabilidade
Residencial	Uso residencial formado por moradias regulares e urbanização ordenada ou semi-ordenada.	0,75
Comércio e serviços	Edificações destinadas à serviços e comércio, públicas ou privadas.	0,5
Residência de baixo padrão	Associadas a ocupações irregulares construídas pelos próprios moradores de maneira rústica e com a presença de um ou dois cômodos. Padrão urbano desordenado	1
Infraestrutura	Serviços públicos de infraestrutura muito vulneráveis. Redes de gás e telefone. Estações de abastecimento de água e de tratamento de esgoto, subestações de energia elétrica. Hospitais, clínicas, postos de saúde.	1

Org.: Menezes (2018).

Foi atribuída uma maior vulnerabilidade à tipologia de uso residencial, tendo em vista que os danos são mais severos à população, que tem suas moradias atingidas pelas águas, em relação ao comércio e serviços. A análise do padrão das construções traduz elementos da vulnerabilidade física, econômica e social da população. Esta se associa à capacidade de intervenção e proteção individual da população na minimização de danos e também resiliência. Nesta categoria estão moradias construídas com madeira ou restos de material com baixa capacidade de resistir ao impacto de processos hidrológicos e, portanto, mais vulneráveis em relação às moradias construídas em alvenaria com melhor capacidade de resistir ao impacto de processos hidrológicos.

O baixo padrão de moradia geralmente está associado à ocupação irregular, construídas pelos próprios moradores de maneira rústica e com a presença de um ou dois cômodos. Estas moradias costumam ser as mais danificadas ou até mesmo destruídas em eventos de inundação e a população que as habitam apresenta pouca resiliência aos processos, voltando seguidamente a habitar áreas de alto perigo.

No setor de serviços as infraestruturas sujeitas a danos de inundações podem vir a tornar os processos mais severos para toda população, tendo em vista a interrupção de serviços que podem ter maior demanda durante os eventos, como os serviços de saúde, equipamentos como a rede elétrica, gás e telefone ou elementos

como estações de tratamento de água e de esgoto, que podem agravar os danos de forma mais significativa.

O levantamento foi realizado por meio do cadastro municipal de imóveis de Alegrete e dos trabalhos de campo nas áreas inundadas, onde foram avaliados os usos atribuídos às edificações e o padrão geral das mesmas e que pudessem indicar maior ou menor resistência aos processos de inundação. A análise do padrão urbano e o quanto este é ordenado ou desordenado, em função da distribuição dos lotes e vias, foi analisado via interpretação de imagens orbitais e apoio de campo.

Os lotes obtidos via Prefeitura Municipal tinham representação vetorial do tipo polígono e muitos destes eram ausentes de informações de uso, existindo o mapeamento de lotes vazios ou terrenos não edificadas, que não são categorizados como áreas de perigo. Da mesma forma, verificou-se a ausência de informações em áreas inundadas e com a presença de aglomerados desordenados. Para a atualização desta base e para fins desta análise, outras edificações foram inseridas pela vetorização de pontos. Optou-se pela conversão de toda base vetorial de polígonos para pontos (centróides). Embora tenha caracterizado uma generalização cartográfica, esta rotina permitiu a padronização das informações e o cruzamento com as áreas de perigo, com a vulnerabilidade por setores e posteriormente atribuir o risco para cada edificação.

4.6.3 Índice de Vulnerabilidade

A partir dos valores oriundos da vulnerabilidade por setor censitário (V_s) e de uso e ocupação (V_{us}) foi estabelecido um único Índice de Vulnerabilidade, considerando que os dois valores complementam-se, tendo em vista que aspectos quanto à vulnerabilidade dos domicílios são indicados pelas variáveis de renda, características que podem atribuir maiores danos são indicadas por padrão das moradias e uso. Desta forma, o somatório dos dois valores, dividido por dois, resultou na Vulnerabilidade (V), conforme a fórmula:

$$V = (V_s + V_{us}) / 2$$

O cálculo do Índice de Vulnerabilidade foi realizado partir de um banco de dados georreferenciado, onde para as edificações foi conferida uma tabela de

atributos contendo em suas colunas os critérios analisados e respectivas ponderações. Foi utilizada a ferramenta *Field Calculator*, disponível no ArcGIS® 10.1 (ESRI, 2012), que permite operações com valores das variáveis disponíveis na tabela de atributos dos arquivos vetoriais. Ambas as informações foram ajustadas à geometria de áreas de perigo, considerando-se a regra topológica, onde a feição de perigo contém a vulnerabilidade por setores (polígono) e também as edificações (pontos).

Para a representação espacial e análise descritiva dos resultados, foram atribuídas classes para o índice de vulnerabilidade, sendo os intervalos estabelecidos considerando-se os resultados obtidos em uma escala de 0,4 a 1. Assim foram atribuídos os seguintes graus de vulnerabilidade: Muito Alta, Alta, Média Moderada e Baixa, conforme o Quadro 5.

Quadro 5 - Graus de vulnerabilidade.

Classe	Índice de Vulnerabilidade
V1 - Vulnerabilidade Baixa	0,40 - 060
V2 - Vulnerabilidade Moderada	0,60 - 070
V3 - Vulnerabilidade Média	0,70 - 0,80
V4 - Vulnerabilidade Alta	0,80 - 0,85
V5 - Vulnerabilidade Muito Alta	> 0,85

Org.: Menezes (2018).

4.7 ANÁLISE DO RISCO DE INUNDAÇÃO

A determinação de risco consiste em um nível analítico da dinâmica espaço-temporal das inundações. Nessa etapa são integradas de forma qualitativa e quantitativa as dinâmicas físicas e sociais dos processos, que se distribuem no tempo e no espaço, configurando diferentes cenários de risco. Diante deste pressuposto, a metodologia de mapeamento das áreas de risco associadas a inundações parte da análise da dinâmica temporal e da magnitude dos processos em função dos danos esperados.

Quando identificadas ocupações nas áreas denominadas suscetíveis e estabelecidos tempos de retorno, foi possível estimar quais áreas afetadas e

diferencia-las conforme graus de perigo. A integração do perigo com os condicionantes de vulnerabilidade da área afetada permitiram a hierarquização de riscos. Assim, a identificação e avaliação de risco (R) se deu a partir da análise dos perigos (P) em função do estudo da vulnerabilidade (V), sendo esta relação expressa por:

$$R = P \times V$$

A compilação sistemática de diferentes frequências e abrangência espacial dos processos hidrológicos associados ao rio Ibirapuitã, hierarquizados a partir de diferentes tempos de retorno e severidade, estabeleceram graus de perigo que, colocados em função de elementos de vulnerabilidade indicado por variáveis de renda e tipologias de uso, propiciaram um índice de risco de inundação, estimado em valores com peso de 0 a 1. Este valor, escalonado, resultou na estimativa de danos potenciais para uma dada probabilidade de ocorrência de inundação. A partir das interações possíveis entre valores de perigo e vulnerabilidade, foi estabelecida uma matriz de risco de inundação, sendo que quanto mais elevado o índice resultante da combinação de variáveis, maior o risco. O índice é apresentado em valores agrupados em classes. Desta forma, para a área urbana de Alegrete foram estabelecidos os seguintes graus de risco: Risco baixo ($R1 < 0,05$), Risco moderado ($R2 \ 0,05 - 0,10$), Risco médio ($R3 \ 0,10 - 0,30$), Risco alto ($R4 \ 0,30 - 0,60$) e Risco muito alto ($R5 > 0,60$), conforme o Quadro 6:

Quadro 6 - Graus de risco de inundação em função do perigo e vulnerabilidade.

Vulnerabilidade	Perigo a partir de diferentes tempos de retorno - TR				
	TR 2 (0,918)	TR 5 (0,045)	TR 20 (0,185)	TR 50 (0,101)	TR >50 (0,073)
+alta					
0,96	0,877	0,433	0,178	0,097	0,070
0,91	0,763	0,376	0,154	0,084	0,061
0,86	0,648	0,320	0,131	0,071	0,052
0,81	0,803	0,397	0,163	0,088	0,064
0,76	0,689	0,340	0,139	0,076	0,055
0,71	0,574	0,283	0,116	0,063	0,046
0,66	0,689	0,340	0,139	0,076	0,055
0,61	0,574	0,283	0,116	0,063	0,046
0,56	0,459	0,227	0,093	0,051	0,037
0,51	0,606	0,299	0,123	0,067	0,048

0,46	0,491	0,242	0,099	0,054	0,039
0,41	0,376	0,186	0,076	0,041	0,030
+baixa	+alto	Perigo		+baixo	
Graus de Risco					
MUITO ALTO	ALTO	MÉDIO	MODERADO	BAIXO	

Org.: Menezes (2018).

Para cada grau de perigo se estabeleceu um cenário de inundação, com variabilidade na área afetada e consequentes danos. Assim, para cada tempo de retorno, existirão variações na estimativa da área e do número de residências afetadas, com características distintas de vulnerabilidade, acarretando, consequentemente em distintos cenários de risco de inundação na área urbana de Alegrete.

A estruturação destas informações em um banco de dados espacialmente organizado, permitiu a configuração de um cadastro, sendo possível verificar pontualmente situações de risco, por edificações. A espacialização do número de residências, tendo em vista o risco, permitiu estimar o contingente atingido por inundações, considerando o setor censitário que contém cada moradia.

Esta informação foi obtida a partir do arquivo *Basico_UF.xls* do Censo demográfico que contém os códigos e nomes das subdivisões geográficas e a informação básica do cadastro de áreas (totais, médias e variâncias). Foram utilizadas as variáveis “número de moradores por setor” e ainda a “média de moradores por domicílio”, permitindo estimar a população atingida em diferentes graus de risco. Nesta etapa considerou-se definição genérica de domicílio, a partir do IBGE (2010), sendo considerado domicílio o local estruturalmente separado e independente que se destina a servir de habitação a uma ou mais pessoas, ou que estejam sendo utilizado como tal.

Esta rotina, que permite estimar o contingente por classe de risco, foi calculada a partir de um banco de dados georreferenciado, onde a cada uma das residências foram atribuídas colunas na tabela de atributos contendo o grau de perigo de inundação e critérios analisados na vulnerabilidade, além da população estimada por residência, conforme o setor censitário. Foi utilizada a ferramenta *Field Calculator*, disponível no ArcGIS® 10.1 (ESRI, 2012), que permite operações com valores das variáveis disponíveis na tabela de atributos de arquivos vetoriais.

A avaliação da metodologia proposta para a análise de risco foi realizada tendo em vista observações de campo, sendo verificadas as respostas de critérios ou ponderações utilizados, em observância com a área de estudo e hipóteses iniciais a respeito da espacialização do risco e seus componentes relacionados à dinâmica das inundações e elementos expostos.

5 A DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DAS INUNDAÇÕES NA ÁREA URBANA DE ALEGRETE

Este capítulo integra as análises realizadas em caráter exploratório, como as rotinas para espacialização das inundações e a ocupação de áreas sujeitas a estes processos, os levantamentos de dados e as hipóteses prévias realizadas a respeito das áreas inundáveis na área urbana de Alegrete. São apresentados os produtos e suas respectivas sínteses, oriundas do uso de técnicas estatísticas, a sua integração com geotecnologias e demais técnicas e procedimentos que subsidiam a análise espaço-temporal da dinâmica das inundações, em abordagem confirmatória destas aproximações iniciais.

Aqui são estabelecidas contribuições inicialmente descritivas, que vão avançando em um primeiro momento ao encontro da compressão da dinâmica temporal das inundações na área de estudo e se estendem para sua quantificação, discretização, e finalmente, inferências quanto à intensidade e frequências dos processos sob contexto da sua distribuição probabilística. Logo, nos aproximamos da compreensão do “quando” ocorrem inundações.

Este caminho de síntese passa pela inserção da compreensão da dinâmica espacial dos processos, onde os valores estabelecidos juntos a serie temporal e, modelados estatisticamente, passam a figurar como abrangência e extensão das inundações. É estabelecida a distinção básica entre os eventos e o quanto estes são perigosos, em função do tempo de retorno. Por sua vez, a análise espacial da vulnerabilidade, expressa o arranjo das estruturas físicas e contexto socioeconômicos na exposição a estes processos.

Deste modo, a determinação de risco consiste em um nível analítico da dinâmica espaço-temporal das inundações. As percepções a respeito do risco associados às inundações figuram, portanto, relações entre elementos externos à população, como a probabilidade de ocorrência e, internos, intrínsecos da ocupação do espaço e de seu padrão socioeconômico. Por fim, é caracterizada uma visão geral a respeito dos riscos, seguida de um detalhamento das áreas, de modo a fornecer entendimento do risco sob a ótica da distribuição dos processos de inundação no sítio urbano de Alegrete.

5.1 AS INUNDAÇÕES A PARTIR DA SÉRIE HISTÓRICA DO RIO IBIRAPUITÃ

As inundações como um processo natural, vista a existência de uma condição prévia de suscetibilidade somada às demais interferências em função da ocupação de áreas próximas aos cursos d'água, caracterizam-se, entre outras grandezas, pela sua distribuição no tempo. A análise da série histórica do rio Ibirapuitã, por meio de observações executadas de modo sistemático apontou como este fenômeno hidrológico se apresentou ao longo do tempo, sendo quantificado e categorizado.

Os registros diários coletados por meio de uma estação fluviométrica convencional, entre os anos de 1941 e 2014, contabilizando um período total de 74 anos analisados, permitiram aferir o quanto são recorrentes as inundações associadas ao rio Ibirapuitã, primeiramente a partir da descrição da análise da série e, posteriormente, por meio de inferências a partir dos registros diários. O sumário estatístico (Tabela 13) aponta como máxima a cota de 1445 mm, mínima de 20 mm, e uma média de 293,4 mm. A assimetria indicou um coeficiente positivo, com valor de 1,752, em função das diferenças para a mediana e moda com valores, respectivamente de 186 mm de 110 mm.

Tabela 13 - Sumário estatístico - Cotas diárias do rio Ibirapuitã.

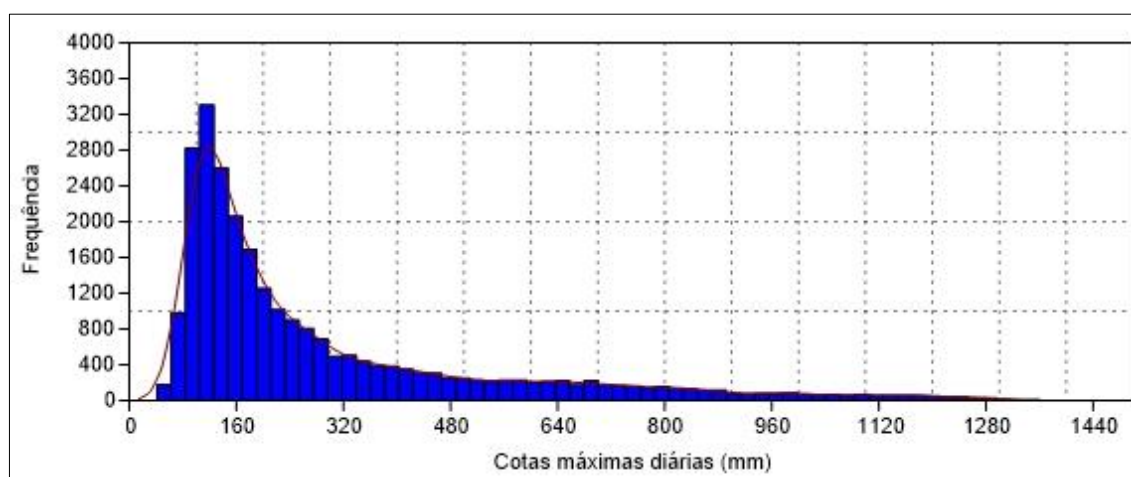
Estatística	Valores (mm)
Média	293,4
Mediana	186
Moda	110
Desvio padrão	255,8
Curtose	2,578
Assimetria	1,752
Mínimo	20
Máximo	1445
Contagem	26518

Org.: Menezes (2018).

Este comportamento é visível a partir do histograma de frequência (Figura 19) onde observamos que os registros diários apresentam um comportamento assimétrico positivo, estando concentrados mais próximos da moda (110 mm). Este padrão de distribuição com a maior quantidade de dados à esquerda indica a concentração da presença de cotas diárias pouco expressivas em termos de

inundações, que são os eventos hidrológicos significativos, em termos de cota registrada. Este é também um parâmetro importante na medida em que avalia se os dados apresentam distribuição normal (com assimetria próxima ou igual a zero) e como estão distribuídos em relação à média.

Figura 19 - Histograma de frequências do registro de cotas máximas diárias.

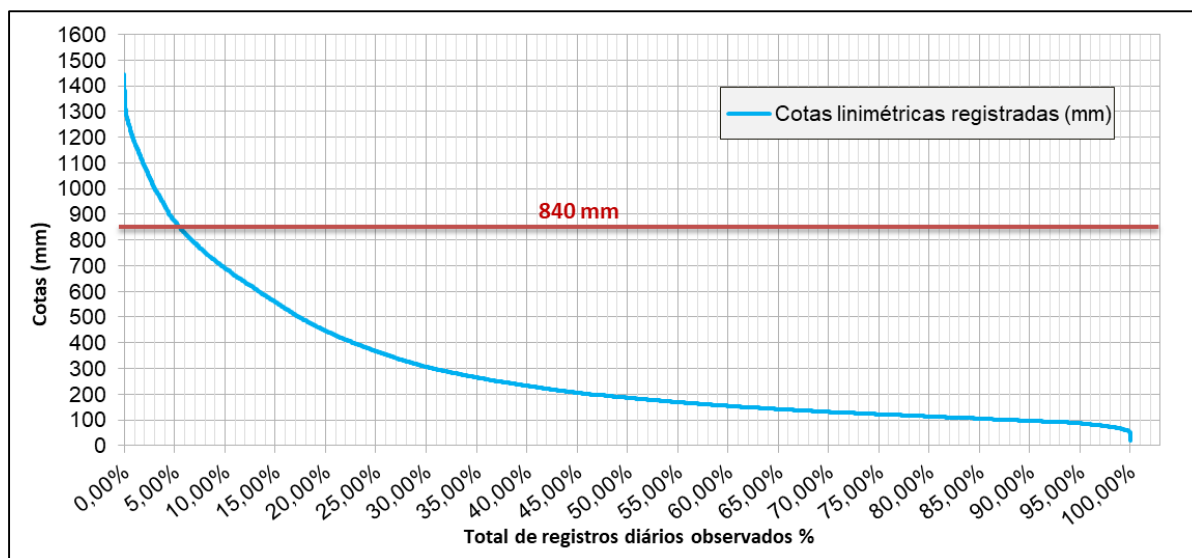


Org.: Menezes (2018).

A análise inicial da série também permite verificar que os eventos de grande magnitude e que consequentemente poderiam causar inundações, estão associados às menores frequências do histograma. Tendo em vista estas características da série, foi direcionada a análise de frequência dos dados hidrológicos, para a ocorrência de inundações, considerando o valor de 840 mm como referência para a sua ocorrência. Ao atingir a cota de 840 mm na régua linimétrica, caracteriza-se o processo de extravasamento das águas do rio Ibirapuitã para a sua planície de inundação, atingindo as primeiras residências.

Tendo em vista a análise da frequência deste processo podemos observar a curva de permanência para as cotas diárias do rio (Figura 20). A partir desta, temos um percentual com o qual uma determinada cota pode ser maior que um dado valor, indicando a frequência de excedência, obtida diretamente de uma série histórica de dados. Desta maneira observamos a percentagem de tempo (ou permanência) no qual a cota de 840 mm é superada ou igualada.

Figura 20 - Curva de permanência para as cotas máximas diárias do rio Ibirapuitã.



Org.: Menezes (2018).

O gráfico acima indica que, para cada valor de cota temos uma porcentagem de tempo com que esta medida é igualada ou superada, ou seja, a sua permanência. Assim, extraímos da curva de permanência que a cota linimétrica no valor 840 mm é igualada ou superada em 5,6% do tempo. Deste modo, foram totalizados 1501 dias de registros de cotas linimétricas que atingiram ou superaram o valor 840 mm ao longo dos 74 anos (Tabela 14).

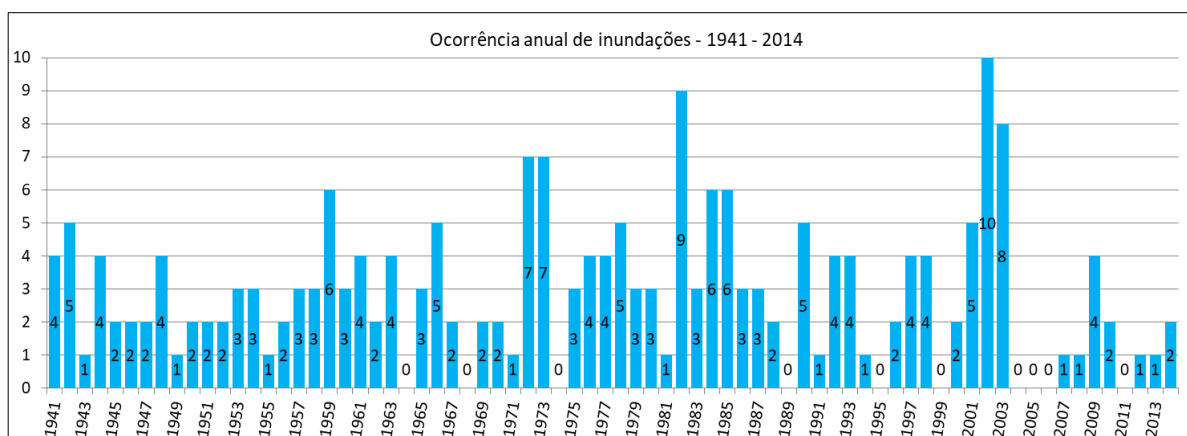
Tabela 14 – Inundações/registros de cotas maiores ou iguais a 840 mm.

Informação	Quantidade	Unidade
Registros na série	26.518	dias
Registros $\geq$ 840 mm na série	1501	dias
Registros $\geq$ 840 mm na série	5,6	%
Número de inundações	211	processos
Cota de inundação - mínimo	840	mm
Cota de inundação - média	1046	mm
Cota de inundação - máximo	1445	mm
Duração do processo - mínimo	1	dias
Duração do processo - média	7	dias
Duração do processo - máximo	28	dias

Org.: Menezes (2018).

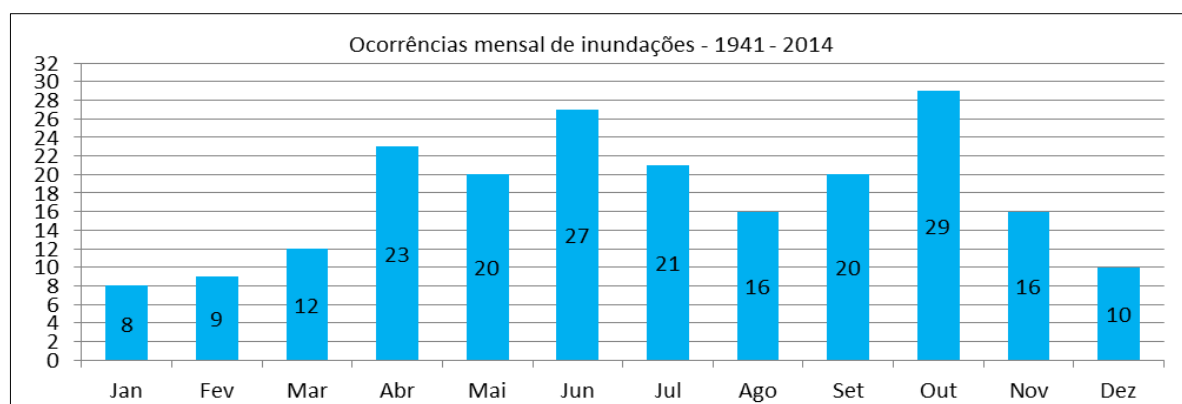
Da mesma maneira, a partir da série de dados, foi possível estabelecer a caracterização da duração dos eventos de inundação já registrados, considerando-se o processo de elevação do nível da água até a cota de 840 mm e seu rebaixamento e retorno à calha principal ou leito menor. Considerando esta característica, foram registrados 211 processos de inundação que ocorreram ao longo da série, que podem ser analisados primeiramente analisados quanto a sua distribuição anual (Figura 21) e mensal (Figura 22).

Figura 21 - Ocorrência anual de inundações de 1941 a 2014.



Org.: Menezes (2018).

Figura 22 - Ocorrência mensal de inundações de 1941 a 2014



Org.: Menezes (2018).

Quando analisada a distribuição das inundações ao longo do período de 74 anos, observamos que estas ocorrem em 64 destes, em ao menos uma oportunidade. Da mesma forma não são apontadas grandes concentrações de frequências, caracterizando um fenômeno com distribuição homogênea, embora destacam-se os anos de 1982, com 9 registros e o ano de 2002 com 10 registros, como períodos de maior recorrência anual e, ainda os três anos consecutivos de 2004 a 2006, cujo período de estiagem no Rio Grande do Sul implicou em baixos caudais dos rios em toda fronteira oeste.

A análise mensal dos eventos também aponta relativa sazonalidade determinante para a ocorrência dos processos, indicando concentração de eventos entre os meses de abril e outubro, faixa que comporta os meses mais frios do ano e cujos extremos caracterizam estações intermediárias. Deste modo, 87% dos registros ocorrem no inverno (27%), primavera (29%) e outono (31%), períodos de presença intensa de chuvas frontais no Rio Grande do Sul.

Estes resultados corroboram com as distribuições para “inundações graduais” de Menezes e Scoti (2013) para o estado do Rio Grande do Sul. No entanto, destaca-se que o registro de inundações, no estado, está diretamente atrelado à posição subtropical em que este situa-se, onde a presença da atuação das massas de ar Polar Atlântica, Tropical Atlântica e ainda a massa Tropical Continental garantem um regime de chuvas que variam entre 1200 a 2000 mm anuais (ROSSATO, 2011).

Da mesma forma, a variabilidade das precipitações é influenciada ainda, pelas alterações da circulação atmosférica nas escalas regional e zonal, provocadas pelos fenômenos *El Niño* e *La Niña* que ocasionam mudanças significativas de precipitações com inundações e estiagens, respectivamente, como apontam os trabalhos de Wollman (2014) para Rio Grande do Sul e de Sanches, Verdum e Fisch (2014) que analisaram a variabilidade das precipitações anuais no período de 1928 a 2009 em Alegrete, utilizando o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) e compararam os resultados com os anos sob ação do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENOS).

Quanto à duração dos eventos, temos em média sete dias de permanência nos processos de inundação. O mínimo registrado está relacionado a eventos cujo registro se restringe a um único dia, alcançando a medida de 840 mm. O máximo de 28 dias caracteriza uma grande inundação ocorrida no ano de 1987, onde o rio se

manteve com os caudais elevados do final do mês de março a quase toda extensão do mês de abril e alcançou a medida de 1328 mm. No entanto, a partir do histograma abaixo (Figura 23), observamos que grande parte dos eventos, naturalmente, tende a ter duração em torno ou abaixo da média de sete dias.

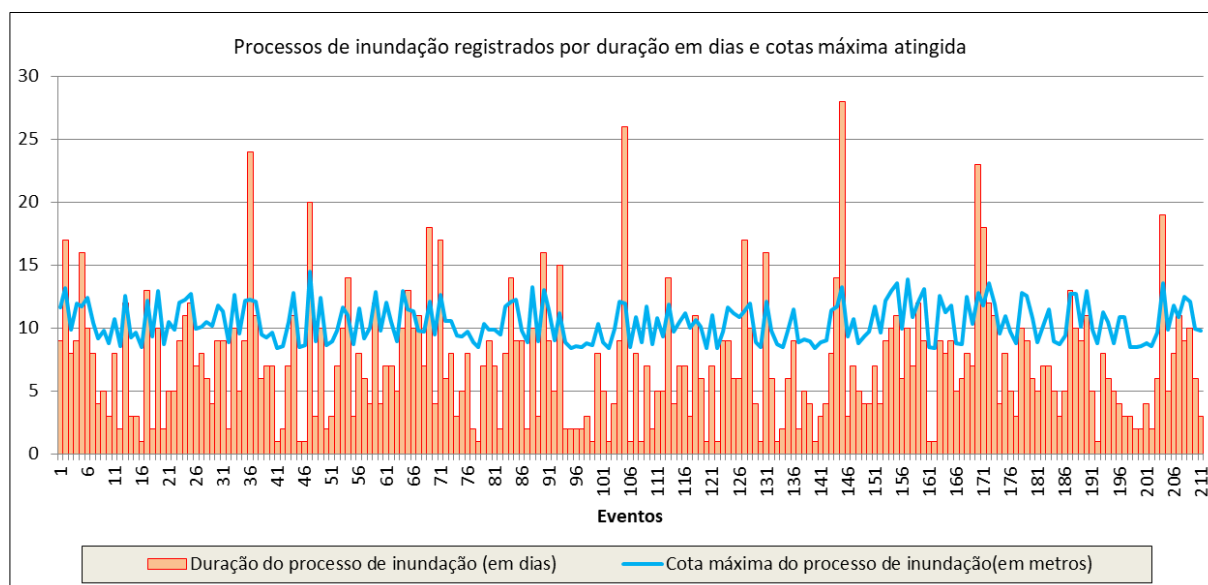
Figura 23 - Histograma de frequência da duração dos processos de inundação em dias.



Org.: Menezes (2018).

Empiricamente se estabelece uma relação natural entre magnitude do processo (elevação máxima do caudal do rio) e duração do processo (que inclui a elevação e retorno à calha principal). A Figura 24 permite observar o comportamento destas duas grandezas ao longo da série, sendo as cotas transformadas para unidade métrica, no intuito de proporcionar uma melhor escala no gráfico.

Figura 24 - Duração dos processos de inundação em dias e cotas máximas atingidas.



Org.: Menezes (2018).

O índice de correlação (r^2) de 0,79 entre a duração do processo de inundação (em dias) e a cota máxima do processo de inundação (em metros) indica uma correlação forte entre estas duas grandezas. No entanto, destaca-se que podem existir processos no qual o rio apresenta uma maior permanência em uma dada cota durante um processo de inundação, quando de maior magnitude principalmente, onde elementos como o balanço hídrico e duração, frequência e distribuição espacial da pluviometria à montante, naturalmente influenciam na velocidade de evolução do processo e retorno das águas ao leito normal.

Em síntese, a análise da série histórica das cotas máximas diárias registradas permitiu verificar propriedades importantes quanto ao regime do rio Ibirapuitã, principalmente no que tange ao entendimento do seu comportamento regular e principalmente perante processos de inundação. Da mesma forma, estabelecido um valor como a cota mínima para a caracterização de uma inundação com danos considerados, o apontamento inicial assumido é de que há possibilidade de mais de 5% desta cota ser superada e, neste caso, remeter a perigos associados a inundações. Esta frequência de excedência ao longo da série é um indicativo inicial da suscetibilidade temporal das inundações junto à área urbana de Alegrete, cuja probabilidade anual de ocorrência é modelada e discutida a seguir.

5.2 O ESTUDO DAS MÁXIMAS ANUAIS E ESTIMATIVA DE TEMPOS DE RETORNO

As máximas anuais obtidas a partir dos registros diários entre os anos de 1941 e 2014 subsidiam verificar como se comporta esta variável em seus extremos e também como se distribuem os valores máximos anuais, de interesse fundamental para análise de inundações e dos quais são estimados os tempos de retorno.

O sumário estatístico das máximas anuais (Tabela 15) aponta como valor extremo a cota de 1445 mm, menor valor 534 mm e uma média de 1005 mm. A assimetria, diferentemente da série diária, indicou um coeficiente negativo, com valor de -0,781 em função das diferenças para a mediana e moda com valores, respectivamente de 1171 mm de 880 mm.

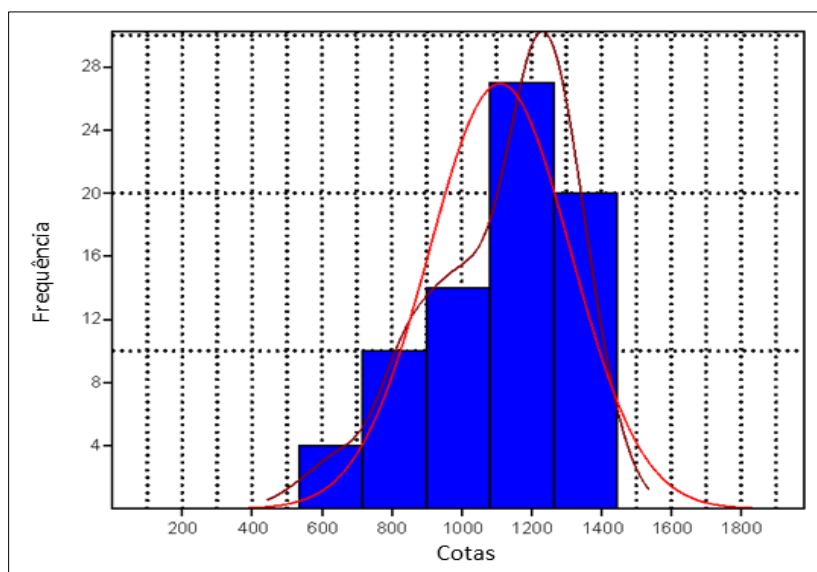
Tabela 15 - Sumário estatístico - Cotas máximas do rio Ibirapuitã.

Estatística	Valores (mm)
Média	1105,5
Mediana	1171
Moda	880
Desvio padrão	201,97
Curtose	-0,052
Assimetria	-0,781
Mínimo	534
Máximo	1445
Contagem	74 anos

Org.: Menezes (2018).

Destaca-se que as três medidas de tendência central superam o valor de 840 mm, embora nem todas as máximas anuais indiquem a presença de inundações na área de estudo. Este comportamento é visível partir do histograma de frequência (Figura 25) onde observamos que os registros anuais apresentam um comportamento assimétrico negativo, concentrados mais próximos da mediana (1117 mm).

Figura 25 - Histograma de frequências do registro de cotas máximas anuais.



Org.: Menezes (2018).

Este padrão de distribuição com a maior quantidade de dados à direita indica a presença significativa de cotas máximas anuais que podem ser considerada expressivas em termos de inundações. O Quadro 7 demonstra às máximas anuais em ordem crescente de valor para os 74 anos da série.

Quadro 7 - Cotas máximas anuais registradas justo ao rio Ibirapuitã no período 1941 a 2014.

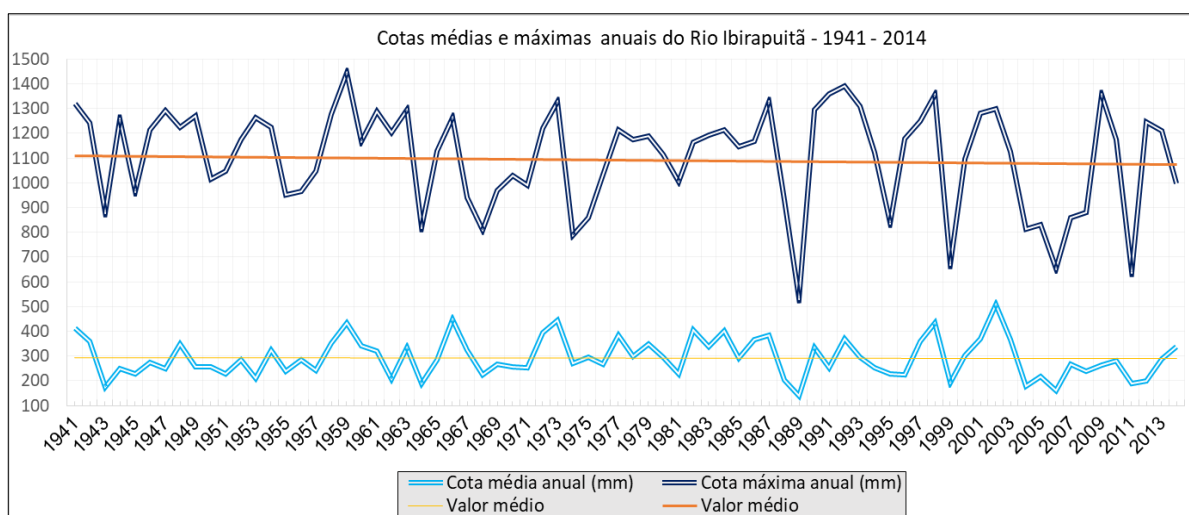
Ano	Cota	Ano	Cota	Ano	Cota
1989	534	1976	1034	1954	1224
2011	640	1951	1048	1942	1242
2006	654	1957	1048	2012	1245
1999	670	2000	1095	1997	1250
1974	790	1980	1115	1944	1258
1968	808	1994	1123	1953	1263
2004	812	2003	1124	1966	1264
1964	821	1965	1130	1949	1272
2005	832	1985	1146	1958	1278
1995	837	1982	1163	2001	1282
2007	858	1960	1166	1961	1289
1975	859	1986	1168	1947	1292
1943	880	1978	1174	1963	1294
2008	880	1952	1176	1990	1295
1988	930	2010	1176	2002	1298
1967	940	1996	1180	1993	1311
1955	950	1979	1189	1941	1320

1945	966	1983	1194	1973	1326
1956	966	1962	1204	1987	1328
1969	968	2013	1210	1998	1354
1971	991	1984	1212	2009	1356
2014	996	1977	1213	1991	1358
1981	1005	1946	1215	1992	1390
1950	1014	1972	1222	1959	1445
1970	1031	1948	1223	-	-

Org.: Menezes (2018).

Quando passamos a analisar os dados agrupados anualmente (Figura 26), conseguimos observar as flutuações no que tange ao comportamento temporal das cotas registradas ao longo da série.

Figura 26 - Cotas e médias e máximas rio Ibirapuitã ao longo da série 1941 - 2014.



Org.: Menezes (2018).

Neste caso temos o intuito de verificar como oscila esta variável em relação à média dos valores e, também, como se distribuem os valores de interesse para análise de inundações. A média da série, como observado anteriormente, é dada pelo valor de 293,4 mm, valor cujos registros médios anuais oscilam tendo como valor máximo de 507 mm e mínimo de 138 mm. Por sua vez, as máximas anuais apresentando média de 1015,5 mm, também apresentam uma amplitude maior, em função do maior registro no valor de 1445 mm e menor de 534 mm.

No entanto, temos em comum o caráter estocástico que as cotas médias e máximas apresentam, sendo um comportamento tipicamente aleatório e significativamente mais flutuante na série das máximas anuais. Deste modo, podemos associar aos valores máximos, um caráter probabilístico envolvendo estes fenômenos e, a partir da observação dos eventos, modelar frequências de ocorrência, considerando possibilidade de um dado evento hidrológico ser superior ou inferior a um dado valor, em função do histórico já registrado. Isto é essencial para o entendimento dos processos e permite aferir o quanto são recorrentes as inundações associadas ao rio Ibirapuitã, a partir de diferentes tempos de retorno.

O tempo de retorno indica o inverso da frequência com que um evento pode ser igualado ou superado, refletindo a probabilidade com que uma cota possa ser igualada ou superada, pelo menos uma vez, num ano qualquer. A primeira análise para se modelar a ocorrência foi a frequência de excedência, calculada a partir da probabilidade empírica, seguida da função de distribuição acumulada que estima a probabilidade de não-excedência das cotas para cada modelo de distribuição.

Na Tabela 16 temos os valores das máximas anuais e os valores da probabilidade de não-excedência, probabilidade de excedência e tempos de retorno, calculados a partir da probabilidade empírica e os modelos Normal, Log Normal, Gumbel, Weibull e Gama, a partir da série das máximas anuais.

Tabela 16 - Sumário estatístico - Cotas diárias do rio Ibirapuitã.

COTA MÁXIMA	Dist. Empírica			Dist. Normal			Dist. log-Normal			Dist. Gumbel			Dist. Weibull			Dist. Gama		
	N.E	P.E	TR	N.E	P.E	TR	N.E	P.E	TR	N.E	P.E	TR	N.E	P.E	TR	N.E	P.E	TR
534	0,01	0,99	1,0	0,00	1,00	1,0	0,00	1,00	1,0	0,00	1,00	1,0	0,00	1,00	1,0	0,00	1,00	1,0
640	0,03	0,97	1,0	0,01	0,99	1,0	0,01	0,99	1,0	0,00	1,00	1,0	0,01	0,99	1,0	0,01	0,99	1,0
654	0,04	0,96	1,0	0,01	0,99	1,0	0,01	0,99	1,0	0,00	1,00	1,0	0,02	0,98	1,0	0,01	0,99	1,0
670	0,05	0,95	1,1	0,02	0,98	1,0	0,01	0,99	1,0	0,00	1,00	1,0	0,02	0,98	1,0	0,01	0,99	1,0
790	0,07	0,93	1,1	0,06	0,94	1,1	0,06	0,94	1,1	0,03	0,97	1,0	0,06	0,94	1,1	0,06	0,94	1,1
808	0,08	0,92	1,1	0,07	0,93	1,1	0,08	0,92	1,1	0,04	0,96	1,0	0,07	0,93	1,1	0,07	0,93	1,1
812	0,09	0,91	1,1	0,07	0,93	1,1	0,08	0,92	1,1	0,04	0,96	1,0	0,07	0,93	1,1	0,07	0,93	1,1
821	0,11	0,89	1,1	0,08	0,92	1,1	0,09	0,91	1,1	0,05	0,95	1,0	0,07	0,93	1,1	0,08	0,92	1,1
832	0,12	0,88	1,1	0,09	0,91	1,1	0,10	0,90	1,1	0,06	0,94	1,1	0,08	0,92	1,1	0,09	0,91	1,1
837	0,14	0,86	1,2	0,09	0,91	1,1	0,10	0,90	1,1	0,06	0,94	1,1	0,08	0,92	1,1	0,10	0,90	1,1
858	0,15	0,85	1,2	0,11	0,89	1,1	0,13	0,87	1,1	0,09	0,91	1,1	0,10	0,90	1,1	0,12	0,88	1,1
859	0,16	0,84	1,2	0,11	0,89	1,1	0,13	0,87	1,1	0,09	0,91	1,1	0,10	0,90	1,1	0,12	0,88	1,1
880	0,18	0,82	1,2	0,13	0,87	1,2	0,15	0,85	1,2	0,11	0,89	1,1	0,12	0,88	1,1	0,14	0,86	1,2
880	0,19	0,81	1,2	0,13	0,87	1,2	0,15	0,85	1,2	0,11	0,89	1,1	0,12	0,88	1,1	0,14	0,86	1,2
930	0,20	0,80	1,3	0,19	0,81	1,2	0,23	0,77	1,3	0,20	0,80	1,2	0,17	0,83	1,2	0,21	0,79	1,3
940	0,22	0,78	1,3	0,21	0,79	1,3	0,24	0,76	1,3	0,22	0,78	1,3	0,18	0,82	1,2	0,22	0,78	1,3
950	0,23	0,77	1,3	0,22	0,78	1,3	0,26	0,74	1,3	0,24	0,76	1,3	0,19	0,81	1,2	0,24	0,76	1,3
966	0,24	0,76	1,3	0,24	0,76	1,3	0,29	0,71	1,4	0,27	0,73	1,4	0,21	0,79	1,3	0,27	0,73	1,4
966	0,26	0,74	1,3	0,24	0,76	1,3	0,29	0,71	1,4	0,27	0,73	1,4	0,21	0,79	1,3	0,27	0,73	1,4
968	0,27	0,73	1,4	0,25	0,75	1,3	0,29	0,71	1,4	0,28	0,72	1,4	0,21	0,79	1,3	0,27	0,73	1,4
991	0,28	0,72	1,4	0,29	0,71	1,4	0,33	0,67	1,5	0,32	0,68	1,5	0,25	0,75	1,3	0,31	0,69	1,4
996	0,30	0,70	1,4	0,29	0,71	1,4	0,34	0,66	1,5	0,34	0,66	1,5	0,26	0,74	1,3	0,32	0,68	1,5
1005	0,31	0,69	1,4	0,31	0,69	1,4	0,35	0,65	1,6	0,35	0,65	1,5	0,27	0,73	1,4	0,33	0,67	1,5
1014	0,32	0,68	1,5	0,33	0,67	1,5	0,37	0,63	1,6	0,37	0,63	1,6	0,28	0,72	1,4	0,35	0,65	1,5
1031	0,34	0,66	1,5	0,36	0,64	1,6	0,40	0,60	1,7	0,41	0,59	1,7	0,31	0,69	1,5	0,38	0,62	1,6
1034	0,35	0,65	1,5	0,36	0,64	1,6	0,41	0,59	1,7	0,42	0,58	1,7	0,32	0,68	1,5	0,39	0,61	1,6
1048	0,36	0,64	1,6	0,39	0,61	1,6	0,43	0,57	1,8	0,45	0,55	1,8	0,34	0,66	1,5	0,41	0,59	1,7
1048	0,38	0,62	1,6	0,39	0,61	1,6	0,43	0,57	1,8	0,45	0,55	1,8	0,34	0,66	1,5	0,41	0,59	1,7
1095	0,39	0,61	1,6	0,48	0,52	1,9	0,52	0,48	2,1	0,54	0,46	2,2	0,44	0,56	1,8	0,50	0,50	2,0
1115	0,41	0,59	1,7	0,52	0,48	2,1	0,55	0,45	2,2	0,58	0,42	2,4	0,48	0,52	1,9	0,54	0,46	2,2
1123	0,42	0,58	1,7	0,53	0,47	2,1	0,57	0,43	2,3	0,60	0,40	2,5	0,49	0,51	2,0	0,55	0,45	2,2
1124	0,43	0,57	1,7	0,54	0,46	2,2	0,57	0,43	2,3	0,60	0,40	2,5	0,50	0,50	2,0	0,55	0,45	2,2
1130	0,45	0,55	1,8	0,55	0,45	2,2	0,58	0,42	2,4	0,61	0,39	2,6	0,51	0,49	2,0	0,56	0,44	2,3
1146	0,46	0,54	1,8	0,58	0,42	2,4	0,61	0,39	2,5	0,64	0,36	2,7	0,54	0,46	2,2	0,59	0,41	2,4
1163	0,47	0,53	1,9	0,61	0,39	2,6	0,63	0,37	2,7	0,66	0,34	3,0	0,58	0,42	2,4	0,62	0,38	2,6
1166	0,49	0,51	1,9	0,62	0,38	2,6	0,64	0,36	2,8	0,67	0,33	3,0	0,59	0,41	2,4	0,63	0,37	2,7
1168	0,50	0,50	2,0	0,62	0,38	2,6	0,64	0,36	2,8	0,67	0,33	3,1	0,59	0,41	2,5	0,63	0,37	2,7
1174	0,51	0,49	2,0	0,63	0,37	2,7	0,65	0,35	2,9	0,68	0,32	3,1	0,61	0,39	2,5	0,64	0,36	2,8
1176	0,53	0,47	2,1	0,64	0,36	2,7	0,65	0,35	2,9	0,68	0,32	3,2	0,61	0,39	2,6	0,64	0,36	2,8
1176	0,54	0,46	2,1	0,64	0,36	2,7	0,65	0,35	2,9	0,68	0,32	3,2	0,61	0,39	2,6	0,64	0,36	2,8
1180	0,55	0,45	2,2	0,64	0,36	2,8	0,66	0,34	2,9	0,69	0,31	3,2	0,62	0,38	2,6	0,65	0,35	2,8

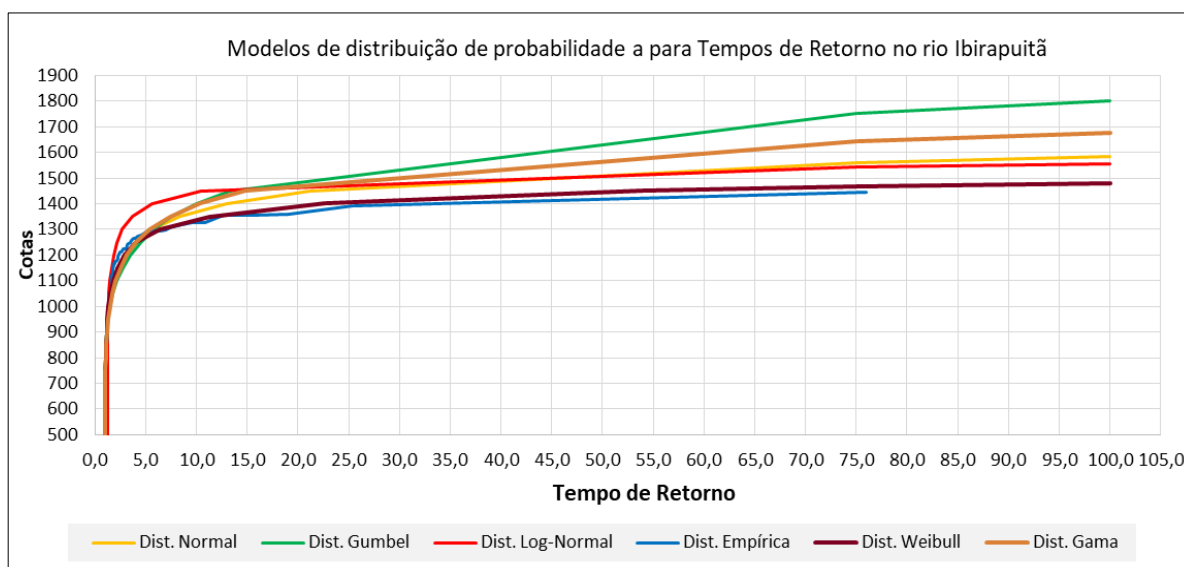
1189	0,57	0,43	2,3	0,66	0,34	2,9	0,67	0,33	3,1	0,70	0,30	3,4	0,64	0,36	2,8	0,66	0,34	3,0
1194	0,58	0,42	2,3	0,67	0,33	3,0	0,68	0,32	3,1	0,71	0,29	3,5	0,65	0,35	2,9	0,67	0,33	3,0
1204	0,59	0,41	2,4	0,69	0,31	3,2	0,69	0,31	3,3	0,73	0,27	3,6	0,67	0,33	3,0	0,69	0,31	3,2
1210	0,61	0,39	2,5	0,70	0,30	3,3	0,70	0,30	3,4	0,73	0,27	3,7	0,68	0,32	3,2	0,70	0,30	3,3
1212	0,62	0,38	2,6	0,70	0,30	3,3	0,71	0,29	3,4	0,74	0,26	3,8	0,69	0,31	3,2	0,70	0,30	3,3
1213	0,64	0,36	2,7	0,70	0,30	3,4	0,71	0,29	3,4	0,74	0,26	3,8	0,69	0,31	3,2	0,70	0,30	3,3
1215	0,65	0,35	2,8	0,71	0,29	3,4	0,71	0,29	3,4	0,74	0,26	3,8	0,69	0,31	3,3	0,70	0,30	3,4
1222	0,66	0,34	2,9	0,72	0,28	3,5	0,72	0,28	3,6	0,75	0,25	4,0	0,71	0,29	3,4	0,71	0,29	3,5
1223	0,68	0,32	3,0	0,72	0,28	3,6	0,72	0,28	3,6	0,75	0,25	4,0	0,71	0,29	3,5	0,72	0,28	3,5
1224	0,69	0,31	3,1	0,72	0,28	3,6	0,72	0,28	3,6	0,75	0,25	4,0	0,71	0,29	3,5	0,72	0,28	3,5
1242	0,70	0,30	3,3	0,75	0,25	4,0	0,75	0,25	3,9	0,77	0,23	4,4	0,75	0,25	4,0	0,74	0,26	3,9
1245	0,72	0,28	3,4	0,75	0,25	4,1	0,75	0,25	4,0	0,78	0,22	4,5	0,75	0,25	4,1	0,75	0,25	3,9
1250	0,73	0,27	3,6	0,76	0,24	4,2	0,76	0,24	4,1	0,78	0,22	4,6	0,76	0,24	4,2	0,75	0,25	4,1
1258	0,74	0,26	3,8	0,77	0,23	4,4	0,77	0,23	4,3	0,79	0,21	4,8	0,78	0,22	4,5	0,76	0,24	4,2
1263	0,76	0,24	3,9	0,78	0,22	4,6	0,77	0,23	4,4	0,80	0,20	4,9	0,79	0,21	4,7	0,77	0,23	4,4
1264	0,77	0,23	4,2	0,78	0,22	4,6	0,77	0,23	4,4	0,80	0,20	4,9	0,79	0,21	4,8	0,77	0,23	4,4
1272	0,78	0,22	4,4	0,79	0,21	4,9	0,78	0,22	4,6	0,81	0,19	5,2	0,80	0,20	5,1	0,78	0,22	4,6
1278	0,80	0,20	4,7	0,80	0,20	5,1	0,79	0,21	4,7	0,81	0,19	5,3	0,81	0,19	5,4	0,79	0,21	4,7
1282	0,81	0,19	5,0	0,81	0,19	5,2	0,79	0,21	4,8	0,82	0,18	5,4	0,82	0,18	5,6	0,79	0,21	4,9
1289	0,82	0,18	5,4	0,82	0,18	5,5	0,80	0,20	5,0	0,82	0,18	5,6	0,83	0,17	6,0	0,80	0,20	5,1
1292	0,84	0,16	5,8	0,82	0,18	5,6	0,80	0,20	5,1	0,83	0,17	5,7	0,84	0,16	6,2	0,81	0,19	5,1
1294	0,85	0,15	6,3	0,82	0,18	5,7	0,81	0,19	5,1	0,83	0,17	5,8	0,84	0,16	6,3	0,81	0,19	5,2
1295	0,86	0,14	6,8	0,83	0,17	5,7	0,81	0,19	5,2	0,83	0,17	5,8	0,84	0,16	6,4	0,81	0,19	5,2
1298	0,88	0,12	7,5	0,83	0,17	5,9	0,81	0,19	5,2	0,83	0,17	5,9	0,85	0,15	6,6	0,81	0,19	5,3
1311	0,89	0,11	8,3	0,85	0,15	6,5	0,82	0,18	5,6	0,84	0,16	6,4	0,87	0,13	7,5	0,83	0,17	5,8
1320	0,91	0,09	9,4	0,86	0,14	6,9	0,83	0,17	5,9	0,85	0,15	6,7	0,88	0,12	8,3	0,84	0,16	6,1
1326	0,92	0,08	10,7	0,86	0,14	7,3	0,84	0,16	6,1	0,85	0,15	6,9	0,89	0,11	8,9	0,84	0,16	6,3
1328	0,93	0,07	12,5	0,86	0,14	7,4	0,84	0,16	6,2	0,86	0,14	7,0	0,89	0,11	9,1	0,84	0,16	6,4
1354	0,95	0,05	15,0	0,89	0,11	9,1	0,86	0,14	7,2	0,88	0,12	8,0	0,92	0,08	12,5	0,87	0,13	7,6
1356	0,96	0,04	18,8	0,89	0,11	9,3	0,86	0,14	7,2	0,88	0,12	8,1	0,92	0,08	12,9	0,87	0,13	7,7
1358	0,97	0,03	25,0	0,89	0,11	9,5	0,86	0,14	7,3	0,88	0,12	8,2	0,92	0,08	13,2	0,87	0,13	7,8
1390	0,99	0,01	37,5	0,92	0,08	12,6	0,89	0,11	8,8	0,90	0,10	9,8	0,95	0,05	20,9	0,90	0,10	9,6
1445	1,00	0,00	75,0	0,95	0,05	21,5	0,92	0,08	12,4	0,93	0,07	13,4	0,98	0,02	53,8	0,93	0,07	14,3

Org.: Menezes (2018).

Com base neste estudo buscou-se a distribuição de probabilidades que obteve o melhor ajuste (menores diferenças entre as frequências observadas e estimadas) dentre as modeladas. Para se ajustar uma distribuição de probabilidades aos dados de frequência da série histórica, inicialmente foram comparadas probabilidade empírica ao estimar tempos de retorno com os modelos de distribuição. A análise da tabela e a observação dos tempos de retorno estimados

até 100 anos, plotados na Figura 27, permitem verificar diferentes estimativas de tempo de retorno em cada modelo e compará-los.

Figura 27 - Modelos de distribuição de probabilidade para Tempos de Retorno no rio Ibirapuitã.



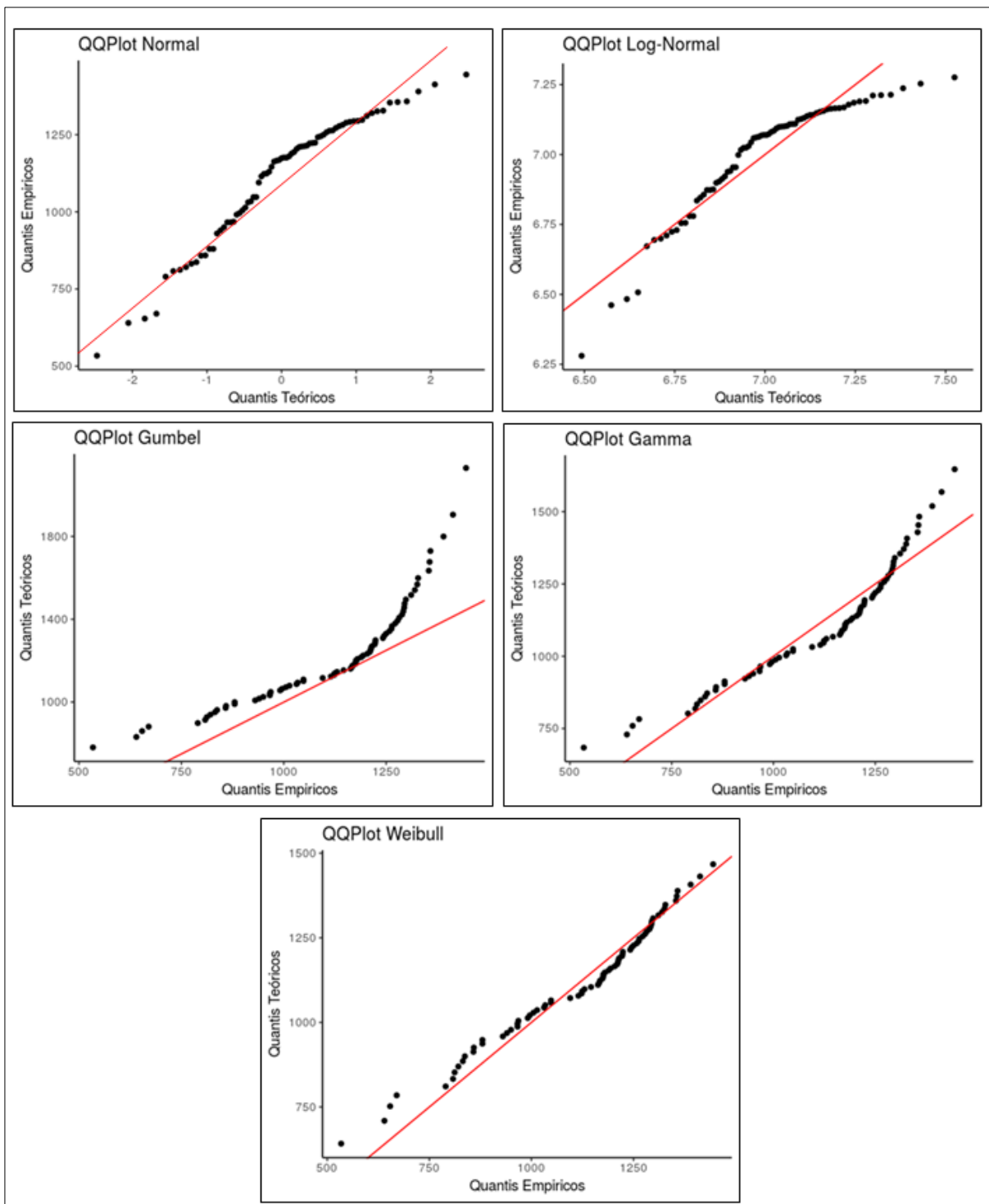
Org.: Menezes (2018).

Podemos observar que todos os modelos, de alguma maneira, superestimam as máximas anuais quanto à recorrência e que, a exceção da distribuição Log-Normal onde isso ocorre em torno da cota de 1100 mm, a partir dos valores em torno dos 1300 mm, as curvas passam a dispersar e se afastar da probabilidade empírica estabelecida a partir da frequência de ocorrências. Neste sentido ao observamos a similaridade entre Log-Normal e Normal para dados máximos, e que as curvas Gama e Gumbel se afastam significativamente da frequência empírica, estimando valores acima dos 1600 mm ainda em tempos de retorno inferiores ao número de anos da série, a distribuição Weibull é a que mais se assemelha a curva empírica.

A verificação estatística da qualidade dos modelos em relação aos dados foi feita de forma gráfica (gráficos QQ-Plot) e também através do teste de Kolmogorov-Smirnov. Para verificar a qualidade do ajuste das distribuições, inicialmente foram construídos os gráficos quantil-quantil (QQ-Plot), apresentados na Figura 28, que de forma geral, sugerem o bom ajuste da distribuição Weibull aos valores máximos das

cotas do rio Ibirapuitã e corroboram com os menores ajustes das distribuições Gama, Log- Normal e Gumbel.

Figura 28 - Gráficos quantil-quantil (QQ-Plot) para os modelos de distribuição probabilísticos.



Depois de realizada a análise do ajuste das distribuições de forma gráfica, aplicou-se o teste de *Kolmogorov-Smirnov*, com um nível de significância de 5% para verificar se a distribuição das cotas máximas anuais é estatisticamente aderente a alguma das probabilísticas, sendo obtida a diferença máxima, para as cinco distribuições, entre os valores teóricos e a probabilidade empírica. Comparando os resultados com o valor crítico tabelado, observamos que as distribuições Weibull e Normal ajustam-se bem aos valores empíricos obtidos para o nível de significância de 5% e percebe-se que não há evidências para refutar a hipótese nula de que os dados se assemelham as estas distribuições (Tabela 17).

Tabela 17 - Resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov para as distribuições de probabilidade.

Modelo de Distribuição	Dist. Normal	Dist. log-Normal	Dist. Gumbel	Dist. Weibull	Dist. Gama
$\alpha = 0,05$ para N74 (Dtab)	0,158	0,158	0,158	0,158	0,158
Dobs	0,152	0,173	0,204	0,122	0,161
Resultado do Teste	ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO	REJEIÇÃO	ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO

Org.: Menezes (2018).

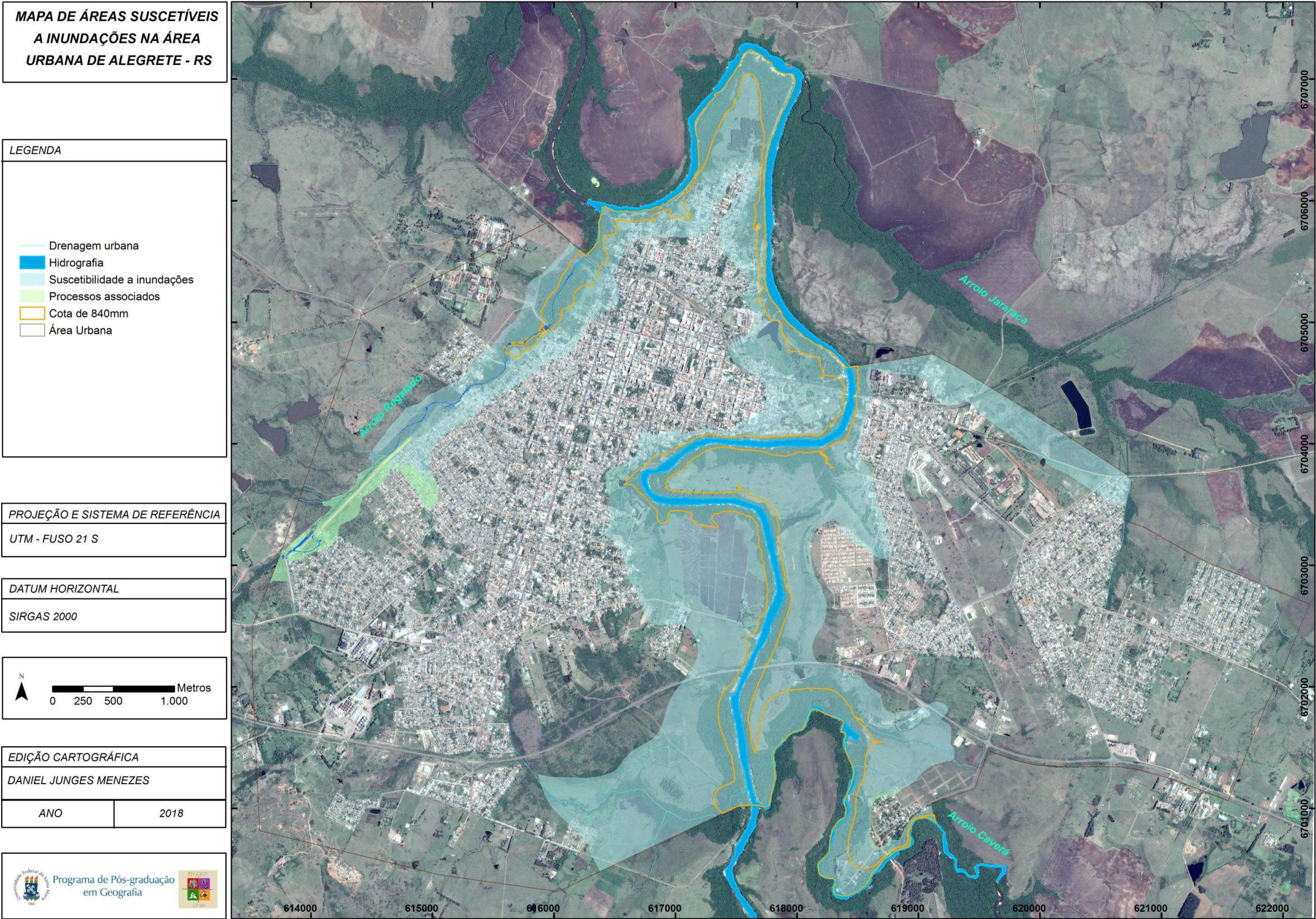
Portanto, através da análise empírica, análise gráfica e dos resultados do teste de aderência dos dados em relação aos modelos, concluiu-se que o modelo de distribuição Weibull de dois parâmetros foi o que melhor se adequou para a representação probabilística das cotas máximas do rio Ibirapuitã e estabelecer tempos de retorno para os processos de inundação.

5.3 AS AREAS SUSCETÍVEIS E O PERIGO DE INUNDAÇÃO

As áreas suscetíveis à inundação totalizam aproximadamente 1002,5 hectares, considerando as áreas delimitadas pela cota de 82 m e ainda os processos associados aos arroios Regalado e Caverá que juntos compõem aproximadamente 2,7% do montante desta área. As áreas sujeitas, de alguma forma, a processos de inundação configuram a expressiva porção de 30,8% da área total correspondente ao perímetro urbano de Alegrete. A partir do mapa de suscetibilidade a inundações (Figura 29) podemos observar a distribuição espacial

das áreas inundáveis, sendo destacada a linha de inundação referente à cota linimétrica de 840 mm, que corresponde 74,89 m

Figura 29 - Mapa de áreas suscetíveis a inundação na área urbana de Alegrete - RS.



Org.:Menezes (2018).

As formas meandrantes do rio Ibirapuitã junto à área urbana de Alegrete implicam em grandes áreas inundáveis junto às porções côncavas ou deposicionais destes meandros (Figura 30 a). Estas características, que são típicas de uma planície inundável de um rio de porte significativo como o Ibirapuitã e, cujas áreas mais rebaixadas tendem a se estender por longas faixas adjacentes ao canal do rio, propicia um contexto naturalmente suscetível para inundações abrangentes.

Da mesma forma, temos na área urbana setores cuja sensibilidade ambiental é marcante, como em áreas adjacentes aos canais mais urbanizados, como o arroio Regalado. Estendendo-se pelas porções oeste e sudoeste da área urbana, o arroio Regalado apresenta-se assoreado e está associado a uma significativa área inundável (Figura 30 b). A ocupação urbana adjacente e intervenções mais recentes tendem modificar o comportamento quanto ao escoamento das águas e consequentemente, modificar o comportamento dos processos.

Figuras 30 - (a) Rio Ibirapuitã e (b) área inundável do arroio Regalado.



Org.: Menezes (2018).

Como vimos anteriormente, estas inundações embora caracterizadas como eventos aleatórios, tendem a apresentar determinada frequência de recorrência, indicadas por distintos tempos de retorno e cuja magnitude está diretamente relacionada. Estas áreas, embora sujeitas aos processos tendem a ser ocupadas quando a frequência de inundação é baixa.

Deste modo, tendo em vista a periodicidade e como se distribuem espacialmente as inundações e, considerando ainda, a distribuição das probabilidades, temos para os tempos de retorno TR2, TR5, TR 20, T50 e superior a 50 anos, diferentes cotas linimétrica e altimétricas associadas. Para cada tempo de retorno temos uma extensão de suscetibilidade, que por sua vez, implicam em diferentes áreas afetadas, conforme a tabela abaixo.

Tabela 18 - Sumário estatístico - Cotas diárias do rio Ibirapuitã.

Tempo de retorno	Cota linimétrica (m)	Cota altimétrica (m)	Área afetada (ha)	Área afetada (%)
TR 2	11,2	77,69	475,1	47,38%
TR 5	12,7	79,19	151,4	15,10%
TR 20	13,872	80,36	222,1	22,15%
TR 50	14,412	81,01	51,3	5,12%
TR >50	>14,4	< 82	77,2	7,70%
Processos associados (Somente Regalado)	-	82 ou mais	25,4	2,54%
Total	-	-	1002,5	100%

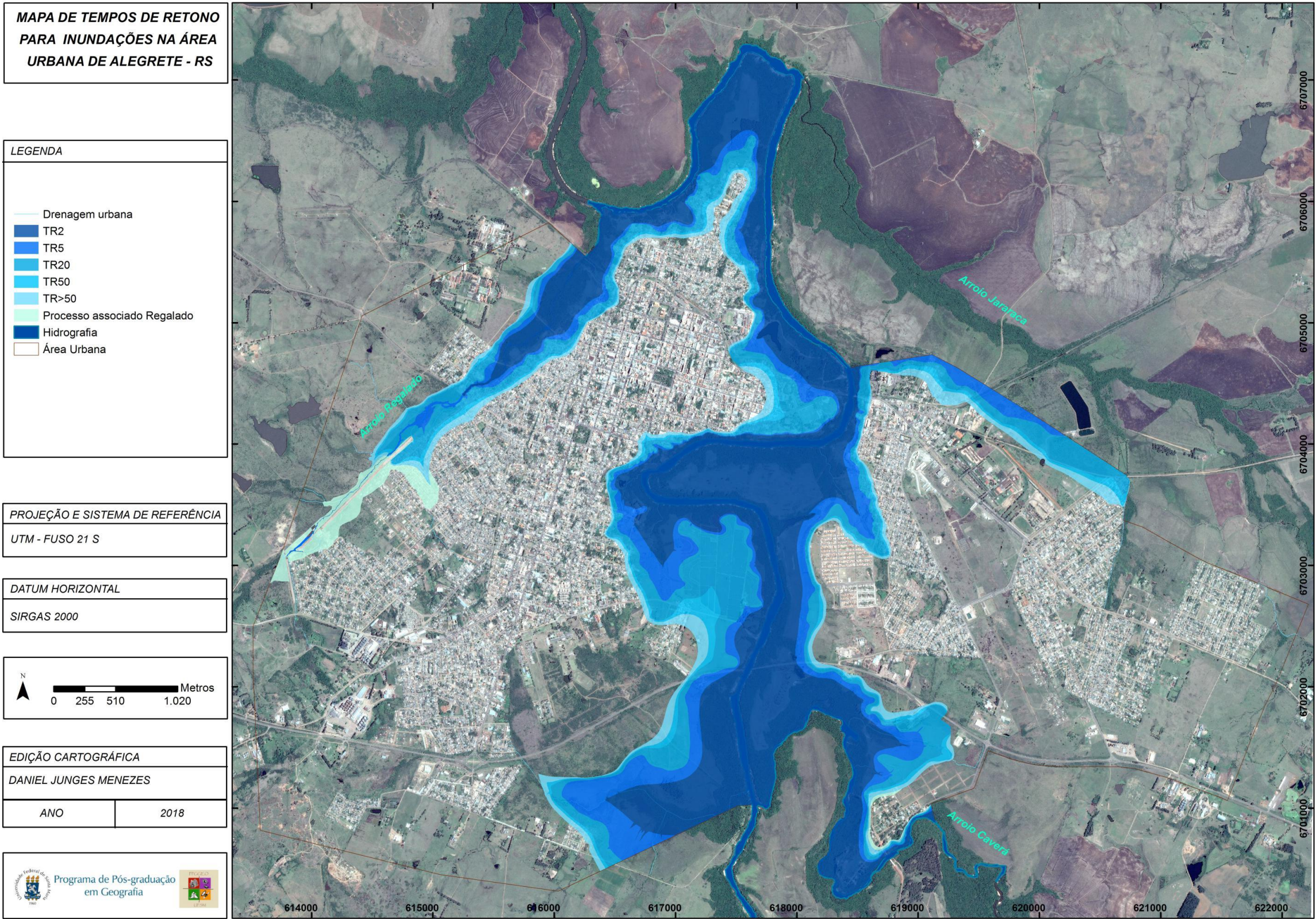
Org.: Menezes (2018).

É possível observar que as áreas onde as inundações são mais expressivas, em termos de área afetada, são as porções onde estas são mais recorrentes. Mais da metade das áreas inundadas estão relacionadas a tempos de retorno de 2 e 5 anos, respectivamente. Estas áreas têm como característica topográficas a altimetria inferior aos 79,2 m. As áreas afetadas com tempo de retorno de 20 anos são também expressivas, principalmente junto as áreas inundáveis que caracterizam os meandros do rio Ibirapuitã conforme pode ser observado a partir do mapa de tempos de retorno para inundações de Alegrete (Figura 31). A área cujo tempo de retorno é mais elevado tem como característica o alcance de medidas linimétricas superior aos 14,4 m.

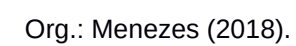
Da mesma forma que temos para cada tempo de retorno, cotas associadas, temos níveis de submersão e diferentes severidades associadas às máximas anuais. Esta é obtida a partir da modelagem digital do terreno e estimada em função do menor valor dentre as máximas anuais registradas (5,34 mm) no Rio Ibirapuitã e sua correspondente cota altimétrica (71,8 m), que indica a amplitude até a linha de

inundação de 2015 (cota altimétrica de 81,75 m). Considerando-se que esta medida fluviométrica corresponde ainda à calha regular do rio, temos aproximadamente 10 m de amplitude que foram observados nas máximas anuais registradas. Este atributo característico da área pode ser visualizado a partir do mapa de submersão de inundações da área urbana de Alegrete (Figura 32).

Figura 31 - Mapa de tempos de retorno para inundações para a área urbana de Alegrete - RS.



Org.: Menezes (2018).



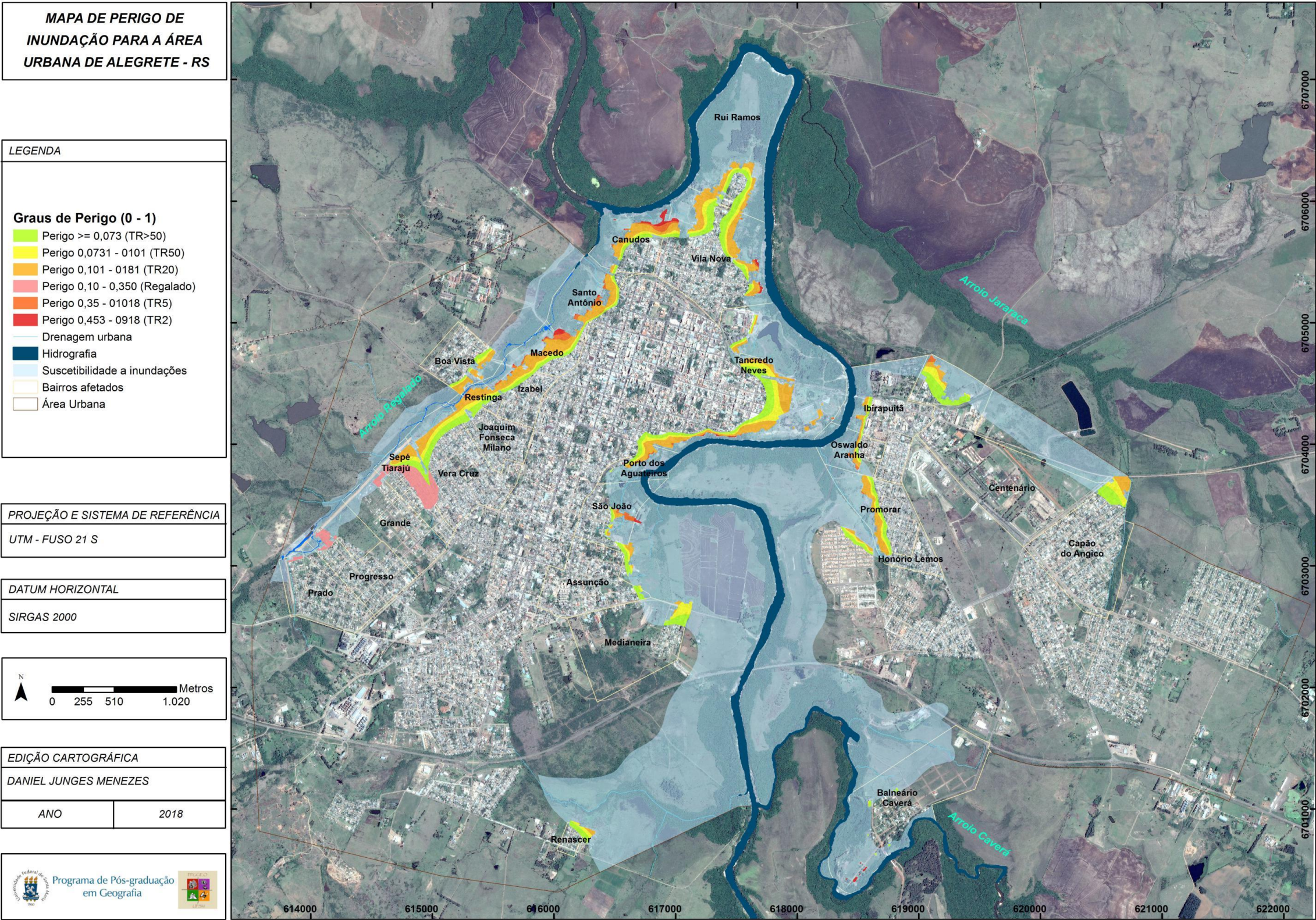
Neste contexto, em função de que grande parte do processo de ocupação do município de Alegrete se consolidou às margens do rio Ibirapuitã, são verificadas áreas contíguas de ocupação e também outras mais dispersas, que figuram como áreas de perigo de inundação. As áreas sujeitas, de alguma forma, a processos de inundação e que são ocupadas correspondem a 11,9% da área inundável e totalizam aproximadamente 119,16 hectares, considerando os adensamentos urbanos junto ao rio Ibirapuitã e arroio Caverá e ainda as áreas que são afetadas em função de processos associados, que incluem a suscetibilidade natural, drenagem urbana e modificações no canal, nas porções jusante e montante do arroio Regalado. Na condição de perigo de inundação, em diferentes níveis, estão 3,7% da área total que delimita o perímetro urbano de Alegrete.

Estas áreas se estendem por 27 bairros que são afetados por diferentes níveis de inundação, além de algumas áreas do Centro. As áreas ocupadas e sujeitas a inundações que compreendem porções mais extensas estão junto ao arroio Regalado, nos bairros Canudos, Santo Antônio, Macedo, Izabel, Joaquim Fonseca Milano, Restinga, Vera Cruz, na margem leste e Boa Vista, na margem oeste. Todos estes no trecho estão a jusante do arroio. Na porção mais a montante os bairros Grande, Prado, Progresso e Sepé Tiarajú estão associados a processos menos severos, embora recorrentes.

Na porção montante à desembocadura do arroio Regalado e associadas ao rio Ibirapuitã, na porção norte da área urbana, são observadas áreas significativas nos bairros Rui Ramos e Vila Nova que são contíguas à margem oeste, afetando os bairros Tancredo Neves, Porto dos Aguateiros, Assunção, São João e ainda algumas residências no bairro Medianeira. Na porção leste, junto à margem direita do rio, são afetadas áreas nos bairros Ibirapuitã, Oswaldo Aranha, Promorar Honório Lemos, Loteamento Ayrton Senna e na margem esquerda do arroio Jararaca, Capão do Angico e Centenário. Mais isolados e ao sul, os bairros Renascer e Balneário Caverá, também são atingidos pelas inundações.

A partir do mapa de áreas de perigo de inundação (Figura 33) podemos observar como se espacializam as áreas ocupadas que se sobrepõem à suscetibilidade e estão sujeitas, de algum modo, aos processos relacionados à dinâmica hidrológica, sendo classificadas em diferentes graus de perigo.

Figura 33 - Mapa de perigo de inundação para a área urbana de Alegrete - RS.



Org.: Menezes (2018).

A sobreposição destas áreas com a espacialização das inundações por diferentes TR, probabilidades de excedência e severidade associadas, permitiu verificar o quanto estas são significativas em termos de perigo. O índice de perigo calculado para cada TR, a partir da metodologia proposta e em função destes critérios e, o respectivo somatório de áreas afetadas, pode ser visualizado a partir da Tabela 19.

Tabela 19 - Perigo em função de diferentes TR e extensão da área afetada.

Tempo de Retorno	Cota altimétrica (m)	Severidade (m)	Probabilidade Excedência Weibull	Severidade padronizada	Graus de Perigo	Área afetada (ha)	Área afetada (%)
TR 2	77,69	4,06	0,511	0,4093	0,918	1,94	1,6%
TR 5	79,19	2,56	0,198	0,2581	0,453	4,38	3,7%
TR 20	80,36	1,39	0,050	0,1401	0,186	47,29	39,7%
TR 50	81,01	0,84	0,019	0,0857	0,101	20,94	17,6%
TR > 50	Até 82	<0,84	0,013	0,0645	0,073	35,94	30,2%
Processos associados	82 ou mais	-	-	-	0,1 – 0,35	8,67	7,3%
Total	-	-	-	-	-	119,16	100%

Org.: Menezes (2018).

Podemos observar que a extensão das áreas ocupadas e sujeitas a inundações, tende a ser pequena nas áreas cuja recorrência é grande. Se em uma primeira análise tínhamos grande parte das áreas suscetíveis estabelecidas em áreas de menor TR, as áreas de perigo caracterizam proporcionalmente áreas mais significativas em áreas cujas inundações apresentam intervalos maiores e, consequentemente, um menor grau de perigo.

Para inundações de TR de 2 a 5 anos, apenas 5,3% das áreas ocupadas e sujeitas a inundações são contabilizadas. Para TR com graus de perigo intermediários ou mais baixos, até 20 e 50 anos, são categorizadas mais de 50% das áreas de perigo. Estas são totalizadas pelas áreas com graus de perigo menos significativos que caracterizam a extensão da área inundável. Isto se dá em função de que os perigos de inundação médio e baixo, seja pela menor severidade ou frequência, ou consolidam a ocupação, principalmente em períodos onde não se

registram inundações por um período mais longo ou, de certa forma, permitem e estabelecem coexistência de ocupação e inundações periódicas.

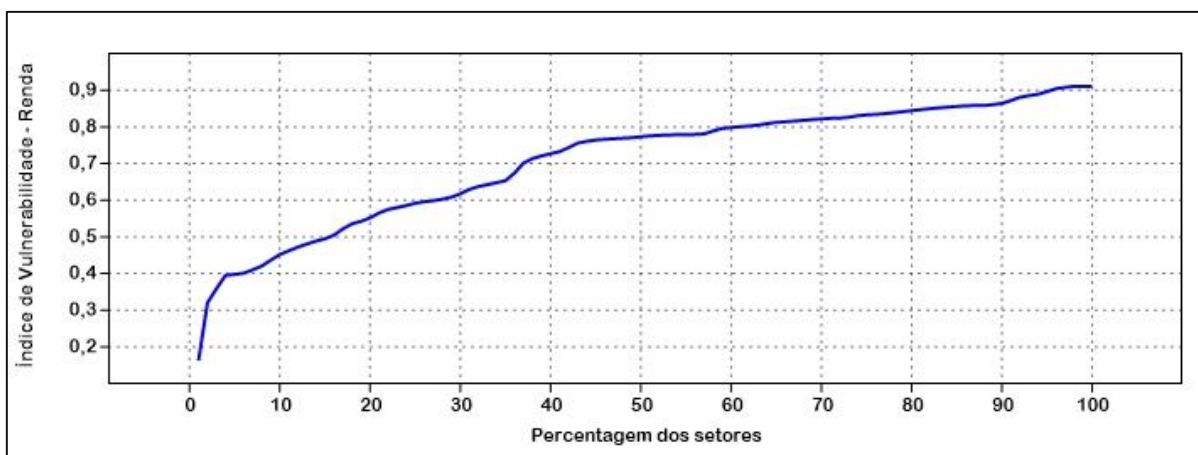
Considerando-se as áreas suscetíveis em uma perspectiva espaço-temporal, o perigo expressa as áreas que são, ou tem possibilidade de ser atingidas por inundações, conforme cada TR e cota de inundação associada, o que tende a estabelecer restrições de usos ou sua adequação às dinâmicas das inundações. Esta condição é expressa em função de cada tipo de uso e ocupação, das tipologias habitacionais, do número de moradias e residentes, que integrados ao perigo, vão compor vulnerabilidade e risco da população em áreas inundáveis, que serão discutidos a seguir.

5.4 VULNERABILIDADE DIANTE INUNDAÇÕES NA ÁREA URBANA DE ALEGRETE

A utilização de variáveis socioeconômicas e demográficas, em conjunto com variáveis que expressem uso e ocupação, de forma integrada, proporcionaram predizer com representatividade as situações de vulnerabilidade que podem ser consideradas nos impactos das inundações.

A avaliação da vulnerabilidade socioeconômica em termos espaciais, a partir dos indicadores de renda nas áreas afetadas oriundos dos setores censitários do IBGE (2010) apontou uma vulnerabilidade, de maneira geral, elevada para grande parte dos 50 setores que interceptam áreas inundáveis. O valor médio do índice de vulnerabilidade dos setores foi de 0,71 e, somente menos de 40% destes, apresentam índice abaixo desta média, como pode ser observado na Figura 34.

Figura 34 - Distribuição percentual dos setores por índice de vulnerabilidade calculado.



Org.: Menezes (2018).

Observou-se que os setores refletem algumas características do padrão urbano quando agrupados por vulnerabilidade, embora esta relação esteja associada à delimitação do setor (o quanto ele se estende pela área inundável e como é dividido). A Figura 35 demonstra característica dos setores nos quais foram calculados diferentes índices, sendo a imagem da esquerda na porção central (a), com valores inferiores a 0,4 (caracterizada pela urbanização regular e calçamento) e a imagem da direita (b), setor com índice entre 0,7 e 0,8 no bairro Medianeira (ruas sem capeamento e padrão urbano mais irregular).

Figura 35 - Setores com diferentes índices de vulnerabilidade. Inferior a 0,4 (a) e entre 0,7 e 0,8 (b).

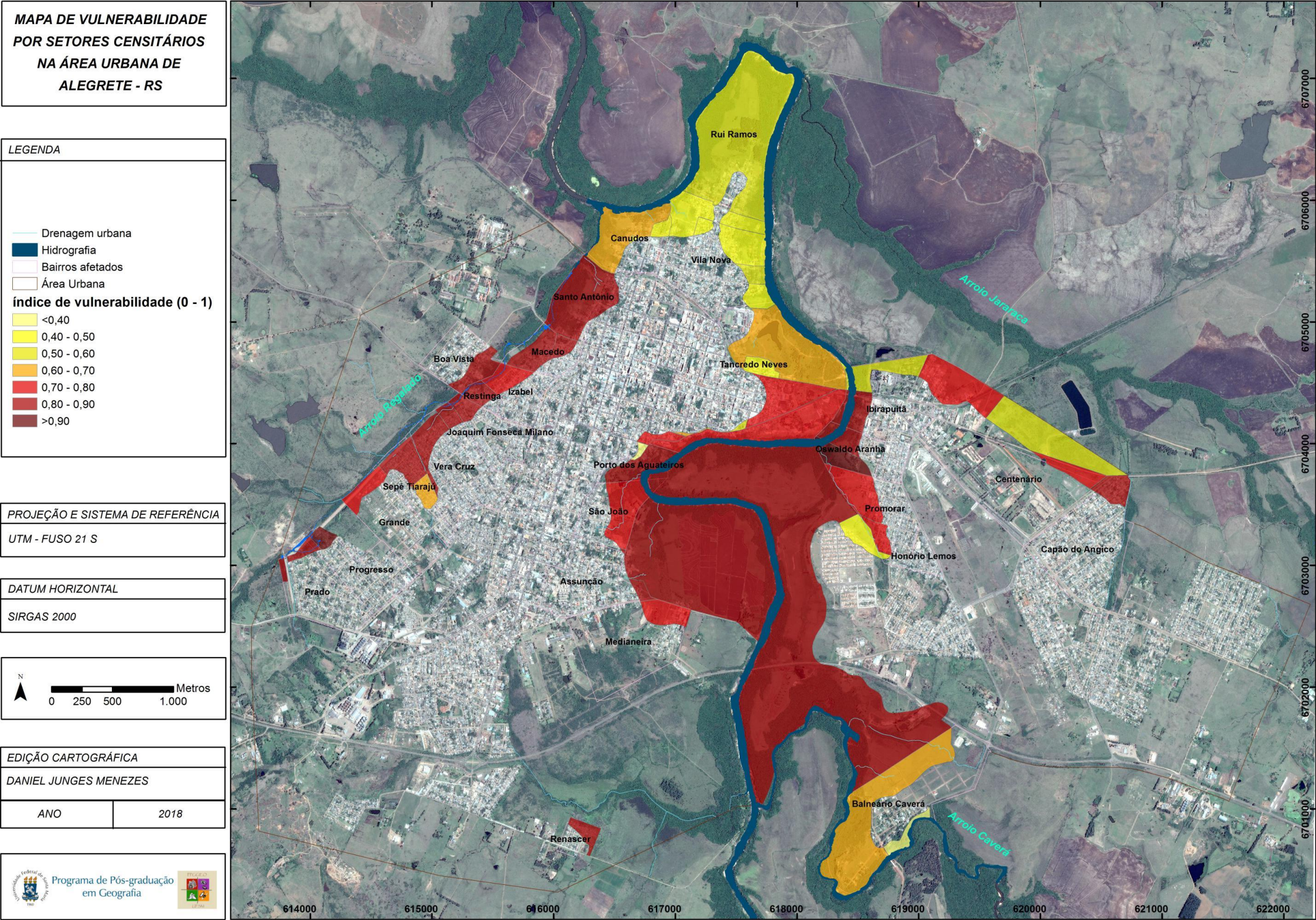


Org.: Menezes (2018).

Da mesma forma, a amplitude deste índice calculado a partir da renda domiciliar é significativa e indica porções mais pobres do espaço urbano. Esta amplitude apresenta-se variando do setor de menor índice, com um valor de 0,31 e localizado no setor mais alto do bairro Balneário Caverá até os índices máximos para vulnerabilidade dentre os setores, que superam a casa de 0,9 nos setores localizados nos bairros Progresso e Oswaldo Aranha, respectivamente junto ao arroio Regalado e à margem oeste do rio Ibirapuitã.

Esta análise geral dos índices de vulnerabilidade indica um predomínio de domicílios onde o número de salários mínimos per capita tende a ser baixo nestes setores que são caracterizados pela presença de inundações. Os setores da porção norte apresentaram-se menos vulneráveis que os da porção sul, como pode ser observado no mapa de vulnerabilidade por setores (Figura 36).

Figura 36 - Mapa de vulnerabilidade por setores a área urbana de Alegrete - RS.



Org.: Menezes (2018).

Neste contexto, verificou-se que os índices estabelecidos reforçam que a vulnerabilidade é um produto de contextos socioeconômicos, cujas características espaciais específicas de cada área, impõem desafios específicos ao se tentar estabelecer e avaliar a vulnerabilidade das populações em geral. Neste caso o uso estabelecido para as edificações nestas áreas, soma-se como um elemento de distinção de vulnerabilidades. A estimativa e a categorização das 3009 edificações identificadas, por tipo de uso e ocupação e tempo de retorno das inundações são observadas a partir da Tabela 20.

Tabela 20 - Tipos de uso das edificações por processo e TR.

Tipo de uso	Processos associados	TR2	TR5	TR20	TR50	TR>50	Total
Comércio/Serviços	-	1	4	32	11	17	65
Especial	-	1	-	1	1	-	3
Resid. Baixo Padrão	59	22	34	105	15	26	261
Residencial	319	32	69	952	480	828	2680
Total	378	56	107	1090	507	871	3009

Org.: Menezes (2018).

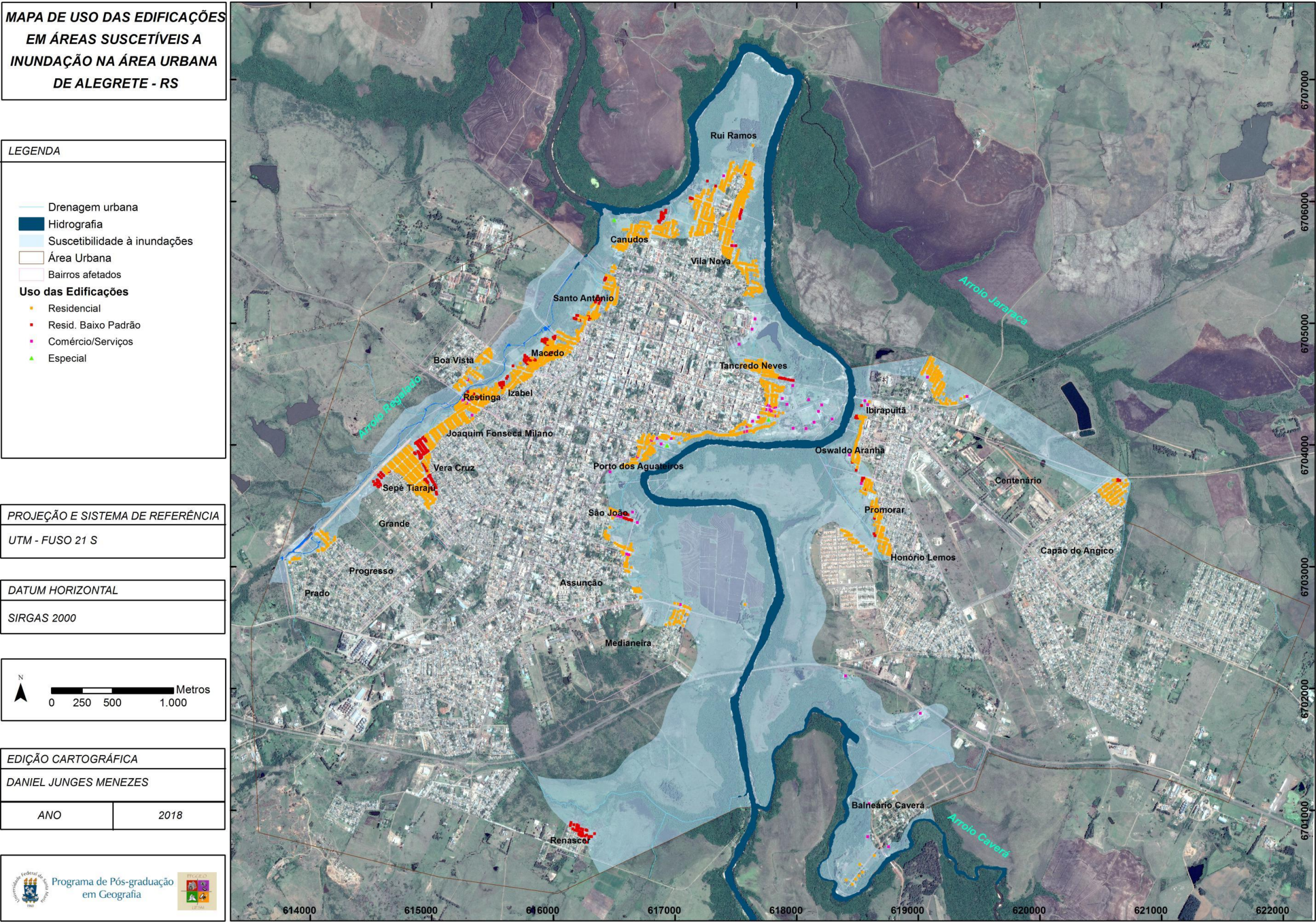
Considerando-se as inundações em função dos processos associados, somente as edificações do tipo residencial e residencial de baixo padrão, são atingidas. Isso ocorre em função da característica habitacional quase que exclusiva desta área, sendo expressivo o número de residências. Para TR de 2 e 5 anos temos 163 edificações, sendo grande maioria residencial e sendo expressiva a proporcionalidade de baixo padrão, onde para ambos os TRs mais de 2/3 do uso habitacional é desta tipologia.

Para tempos de retorno de 20 anos acrescentamos o maior número de edificações, como pode ser observado. Isso ocorre em função do tamanho territorial (maior extensão de perigo na área de estudo) e sua grande densidade habitacional e comercial. Inundações nesta recorrência abrangem 1/3 das edificações em toda área inundável, onde menos de 10% são edificações de baixo padrão residencial.

O perigo médio associado a inundações com recorrência maior que 20 anos também apresentam um número significativo de edificações. Destaca-se também o uso em áreas de recorrência maior que 50 anos sendo proporcionalmente mais inexpressivo o baixo padrão, comum também às áreas de inundações mais

extraordinárias, como pode ser observado a partir da espacialização das tipologias de uso do solo (Figura 33).

Figura 37 - Mapa de uso das edificações em áreas suscetíveis a inundação na área urbana de Alegrete - RS.



Org.: Menezes (2018).

Tendo em vista estes usos e, respectivos pesos, atribuídos perante a vulnerabilidade, somados à análise ponderada da renda por setores, se estabeleceram graus de vulnerabilidade para área de estudo, conforme a Tabela 21:

Tabela 21 - Tipos de uso das edificações por classe de vulnerabilidade.

Tipo de Uso	V1	V2	V3	V4	V5	Total
Comércio/Serviços	11	49	5	-	-	65
Especial	-	-	-	-	3	3
Resid. Baixo Padrão	-	-	-	35	226	261
Residencial	73	856	1168	583	-	2680
Total	84	905	1173	618	229	3009

Org.: Menezes (2018).

Percebe-se que a vulnerabilidade para as edificações de comércio e serviço esteve concentrada principalmente na classe de vulnerabilidade moderada (V2) e baixa (V1). Isto se deu em função do menor dano associado atribuído a este uso e a sua localização preferencial junto a setores cuja renda é mais alta.

A classe especial de uso é restrita e foi destacada em função de que estes usos tendem a acarretar maiores danos em períodos de inundações. Estão associadas, respectivamente, as presenças de um posto de combustíveis e subestação de energia, localizados na margem esquerda do rio Ibirapuitã e, uma estação de tratamento, isolada em área próxima à desembocadura do arroio Regalado, com vulnerabilidade muito alta (V5). A partir da Figura 38 temos exemplos destes usos, na porção central da área urbana (a) e junto ao arroio (b).

Figura 38 - (a) Uso comercial em área inundável e (b) estação de tratamento de resíduos na porção norte da área urbana.



Org.: Menezes (2018).

Quanto ao uso residencial verificamos que a vulnerabilidade média (V3) concentrou 1168 edificações, o que corresponde a aproximadamente 44% desta tipologia de uso e 38% do total das edificações. Remetendo a valores entre 0,70 e 0,80 no índice de vulnerabilidade, caracterizam o ajuste dos pesos de uso residencial à vulnerabilidade média dos setores. Indicam um padrão residencial com acabamento (Figura 39a), ruas calçadas e ordenamento territorial. As flutuações da categoria de uso residencial para vulnerabilidades baixa (V1) e moderada (V2), implicam em residências alocadas em locais cuja renda é mais alta e indicam valores menores de vulnerabilidade. Da mesma forma, 618 edificações caracterizam-se pela vulnerabilidade alta (V4), onde a renda per capita mais baixa dos setores, indica menores rendas domiciliares.

Verificamos também que o baixo padrão (Figura 39b), foi determinante para a concentração dos índices de vulnerabilidade mais elevados (V5) na área urbana. Existem ainda algumas residências nesta tipologia, que alocadas em setores de maior renda per capita domiciliar, apresentaram vulnerabilidades alta e média.

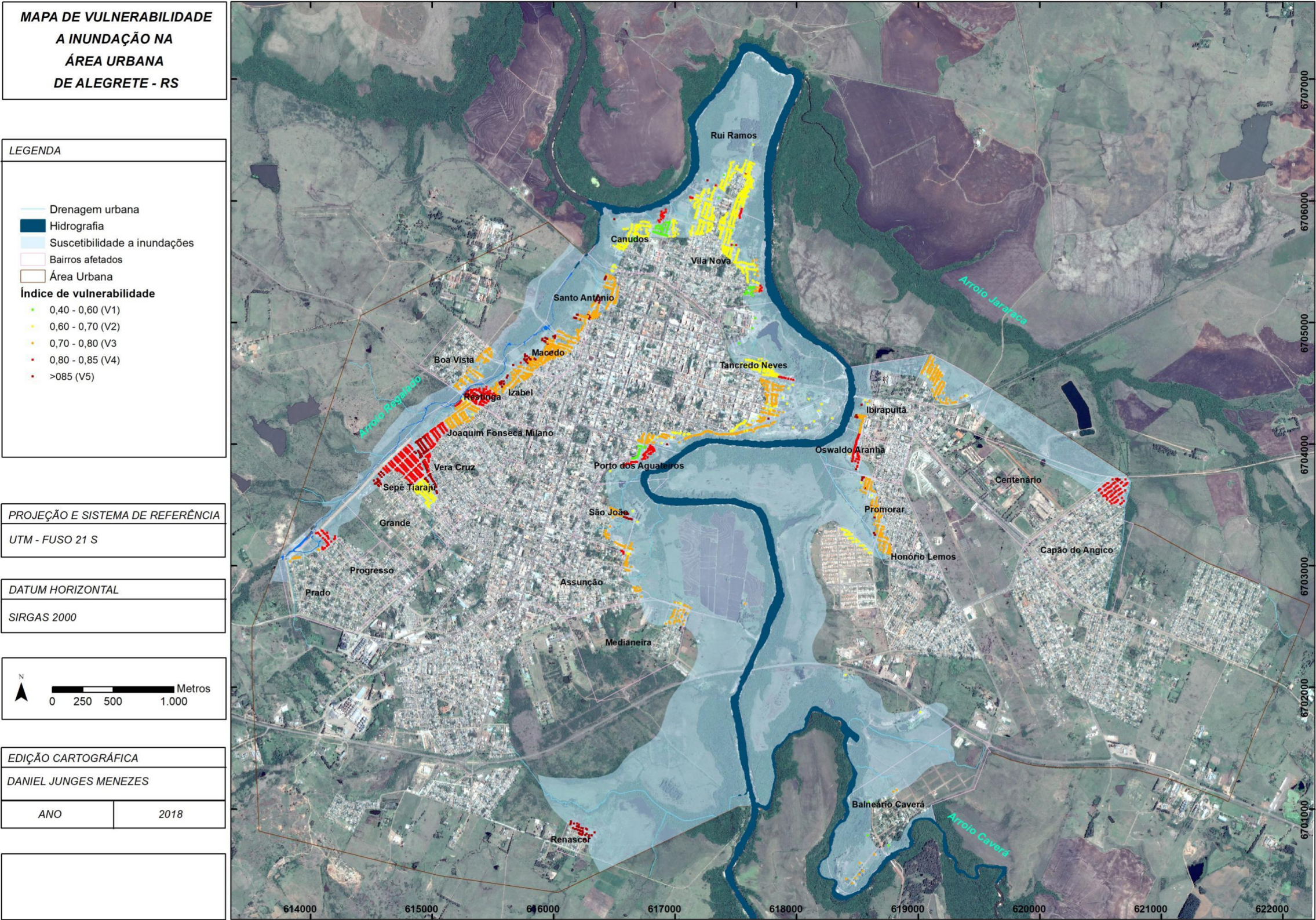
Figura 39 - (a) Residências de vulnerabilidade média no bairro Promorar e (b) de baixo padrão junto às margens do rio.



Org.: Menezes (2018).

A soma das vulnerabilidades, estabelecida conforme características implícitas à função dada às edificações e respectivos danos associados, integrados ao panorama de vulnerabilidade característico do contexto de cada setor, permitiram figurar o arranjo espacial da área urbana de Alegrete, tendo em vista índice de vulnerabilidade, conforme pode ser observado na Figura 40.

Figura 40 - Mapa de vulnerabilidade a inundação para a área urbana de Alegrete - RS.



A partir da obtenção do total de unidades habitacionais foi possível estabelecer o número de residentes atingidos em cada tempo de retorno de inundação e estimar uma população total, que de alguma forma é afetada diretamente por inundações. O contingente de pessoas que são atingidas pelas inundações do rio Ibirapuitã, considerando tipo de uso e ocupação residencial e ainda as residências de baixo padrão e em cada tempo de retorno, pode ser observado na Tabela 22.

Tabela 22 - População afetada por tipos de uso das edificações por processo e TR.

Tipo de uso	Processos associados	TR2	TR5	TR20	TR50	TR >50	Total
Resid. Baixo Padrão	196	72	108	332	47	80	834
Residencial	1126	101	212	2973	1464	2524	8400
Total	1322	173	320	3305	1511	2604	9234

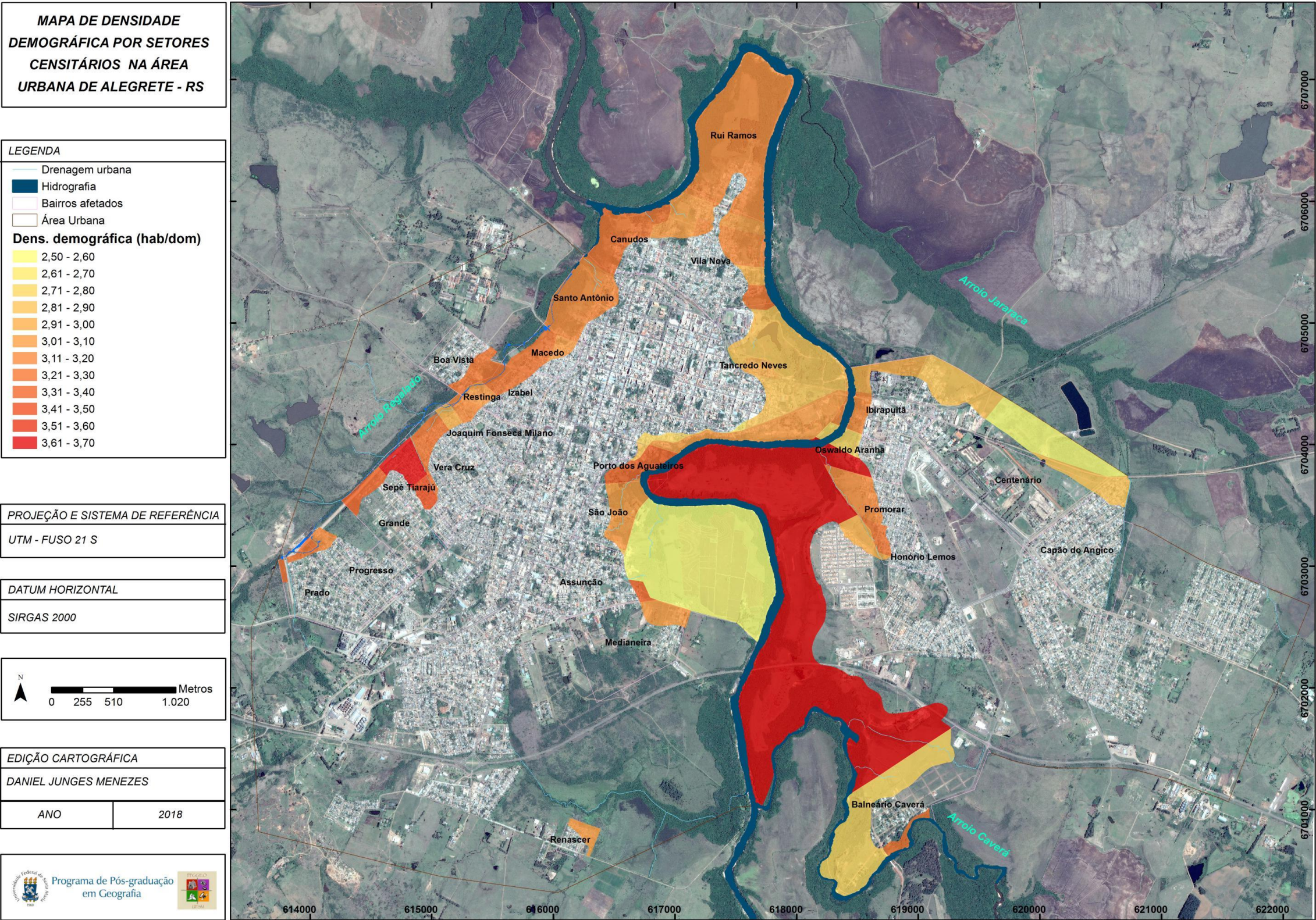
Org.: Menezes (2018).

Em função da grande recorrência foram observadas áreas menos expressivas em termos de ocupação, restringindo, conseqüentemente, o perigo e o número de habitações, ocasionando um número menos expressivo de pessoas afetadas nos TR de 2 e 5 anos. No entanto, estas duas tipologias de perigo concentram proporcionalmente um número expressivo de habitações de baixo padrão em relação às demais magnitudes de eventos. Ao passo que temos menos de 10% do contingente total afetado em moradias de baixo padrão, nestas áreas de maior perigo temos respectivamente 44% e 34% da população atingida atreladas a este condicionante de vulnerabilidade. A partir de inundações com TR de 5 até 20 anos são acrescidas 3305 pessoas sujeitas aos processos, reforçando que há um contingente populacional que é afetado pela relativa frequência. Estabelecidas inundações de 50 anos e as estendidas até a cota de 82 metros, estima-se mais de 9300 pessoas como o contingente alocado em áreas inundáveis.

Tendo em vista que a estimativa do número de habitantes nas áreas atingidas pelas inundações foi gerada a partir da observação dos valores dos dados referentes aos setores censitários do IBGE, a partir da análise de cada setor, chegou-se a uma estimativa que retrata o contingente populacional por habitação.

Com relação à densidade habitacional a média é de 3,07 residentes/domicílio e os valores variam de 2,51 a 3,67 residentes/domicílio por setor, conforme a Figura 41.

Figura 41 - Mapa da densidade demográfica por setores censitários na área urbana de Alegrete - RS.



Org.: Menezes (2018).

Como podemos observar os setores com um maior contingente habitacional médio por domicílio estão localizados na margem esquerda do rio Ibirapuitã, destacando-se o Bairro Osvaldo Aranha, seguido dos setores nas porções adjacentes ao arroio Regalado, destacando-se uma parcela do bairro Sepé Tiarajú e ainda dos Bairros Canudos, Rui Ramos e Vila Nova junto ao meandro norte. Considerando-se a distribuição espacial das vulnerabilidades e comparando-se com a densidade dos setores, tem-se que muitas áreas afetadas são densamente ocupadas, implicando o contingente expressivo que é afetado. Destaca-se que o setor mais próximo ao rio, junto ao meandro leste caracteriza-se pelo predomínio do uso não residencial e a densidade demográfica se estabelece em função da pouca amostragem neste setor censitário.

Da mesma forma que a vulnerabilidade do contingente afetado tem seu arranjo espacial função do padrão urbano dos setores e sua densidade demográfica, a probabilidade de ser atingido por inundações também estabelece influência, conforme observamos na Tabela 23.

Tabela 23 - População afetada por graus de vulnerabilidade, por processo e TR.

Vulnerabilidade	Processos associados	TR2	TR5	TR20	TR50	TR>50	Total
V1	-	6	49	58	22	87	223
V2	288	32	22	911	513	910	2675
V3	36	15	109	1541	722	1166	3589
V4	802	94	35	520	207	364	2022
V5	196	26	105	275	47	77	725
Total	1322	173	320	3305	1511	2604	9234

Org.: Menezes (2018).

De uma população de mais de 9 mil afetados, em torno de 223 deste montante apresenta vulnerabilidade baixa, correspondendo a menos de 3%, o que indica que de maneira geral, predominantemente a renda da população atingida não é elevada. A distribuição relativamente homogênea e em todos os TR, embora indique a maior presença a partir de menores recorrências, aponta a concentração espacialmente restrita desta condição de vulnerabilidade de um setor. Em áreas cujos processos são associados à drenagem urbana esta classe não aparece.

Da mesma forma, as inundações com recorrência de até 20 anos concentram grande parte da população atingida em todas as classes de vulnerabilidade, a exceção da classe de baixa vulnerabilidade que é superada em TR superior a 50 anos.

Contabiliza-se, 52% da população afetada por inundações em tempos de recorrência igual ou inferior a 5 anos, associada a um índice de vulnerabilidade, alta e muito alta. Quando estendido TR para até 20 anos, analisado o enquadramento nas mesmas condições de vulnerabilidade e agregado à vulnerabilidade média, temos 75% de um total de aproximadamente 3800 pessoas afetadas. Considerando-se ainda as áreas, cujos processos estão atrelados ao arroio Regalado, temos o predomínio das classes de vulnerabilidade alta e muito alta, onde não são observadas residências de vulnerabilidade baixa.

Inundações com TR de até 50 anos e superior a esta recorrência, embora menos frequentes, agregam um contingente significativo de cerca de 44% de toda população atingida. No entanto, proporcionalmente somente 15% deste contingente apresenta vulnerabilidade baixa ou moderada. Considerando-se que estas inundações caracterizam eventos menos frequentes, mas marcados pela severidade nas áreas abaixo destas cotas de inundação, os danos são muito significativos às populações tendo em vista a exposição e a maior vulnerabilidade diante eventos de grande magnitude.

Estes indicativos demonstram que há significância entre distribuição da vulnerabilidade e TR, onde a população mais vulnerável está sujeita a maior frequência de inundações. Da mesma forma, percebemos que dentre as tipologias, o baixo padrão é estabelecido como um limiar de vulnerabilidade da população estimada, onde este compõem a totalidade da vulnerabilidade muito alta e figura como parcela significativa na vulnerabilidade alta. Estas classes de vulnerabilidade restringem esta tipologia, como pode ser visto na Tabela 24.

Tabela 24 - População afetada por graus de vulnerabilidade e tipo de uso.

Tipo de Uso	V1	V2	V3	V4	V5	Total
Resid. Baixo Padrão				109	725	834
Residencial	223	2675	3589	1913		8400
Total	223	2675	3589	2022	725	9234

Org.: Menezes (2018).

Esta distinção se faz justa em função de que uma mesma área inundada, quando analisado o mesmo período de retorno, implica que a diferença de infraestrutura entre esses dois tipos de usos é o que vai estabelecer o maior ou menor índice de risco nestes eventos. Em condições de inundações de mesma magnitude ambas as residências vão ter sua infraestrutura atingida e inundada, porém, a vulnerabilidade e os prejuízos serão expressos em função das tipologias habitacionais e uso e ocupação.

O mesmo pode ser replicado quando consideradas inundações que atinjam residências cuja característica física não indique uma maior vulnerabilidade implícita, como o padrão construtivo evidente, sendo que as diferenças de vulnerabilidade serão expressas, em parte, pelo padrão daquele setor em função da renda per capita domiciliar. Portanto a vulnerabilidade apresenta-se como um elemento fundamental na análise e hierarquização do risco, nas áreas afetadas e da população correlata às habitações atingidas por inundações.

5.5 O RISCO DE INUNDAÇÃO NA ÁREA URBANA DE ALEGRETE

A análise de riscos é a compreensão da origem e dos elementos que figuram o risco, juntamente com a determinação do grau de risco para cada situação analisada, subsidiando o embasamento para a avaliação e posteriores decisões sobre o tratamento de riscos encontrados em uma dada área. O risco expressa tanto a probabilidade de ocorrência, como as consequências. Deste modo, o grau do risco é dado pela combinação da probabilidade de ocorrência do evento, em termos da sua magnitude e, de suas consequências, a partir do impacto nos elementos expostos.

Nas inundações, o perigo, componente de probabilidade de ocorrência e magnitude (de um evento natural, ainda que potencializados pela interferência antrópica), é a ameaça à integridade de um sistema social e que pode ser desde as moradias e infraestruturas, passando pela população atingida. Já a vulnerabilidade se refere à qualificação e quantificação das consequências e faz referência a este mesmo sistema, tendo em vista as características diante ao perigo. O risco é definido após o conhecimento do grau de vulnerabilidade e do perigo, sendo o resultado desta relação.

É indissociável esta relação entre natureza (suscetível) e sociedade (vulnerável) na ocorrência das inundações, mesmo que seguidamente negligenciada, seja na gerência dos riscos ou nas áreas afetadas. Neste último grupo se visualiza, comumente, a ocorrência das inundações sob a ótica de um processo incompreensível em termos de sua probabilidade, ou como produto da natureza, à qual são imbuídas mudanças de ordem genérica (tais como desmatamentos, presença de lixo, etc.), que embora possam ter impactos, não aproximam das percepções de tempo, intrinsecamente características do regime hidrológico do rio, sendo as frequências e magnitudes percebidas, geralmente menores do que realmente são.

Concomitantemente, a recorrência alta caracteriza um perigo alto e a não adequação ao estabelecimento de assentamentos. Esta condição determina um menor valor dos terrenos ou até a sua condição de irregularidade na área urbana de Alegrete. No entanto a condição anteriormente vulnerável de parte da população em relação a condições de habitação e renda, em parte secundariza a percepção dos efeitos das inundações, no que tange a frequência das mesmas. Tem-se então uma população exposta, em áreas cuja recorrência é alta, porém muitas vezes minimizada, embora seus impactos sejam sentidos toda vez que ocorrem, sejam pela frequência que são desabrigados ou que perdem seus bens.

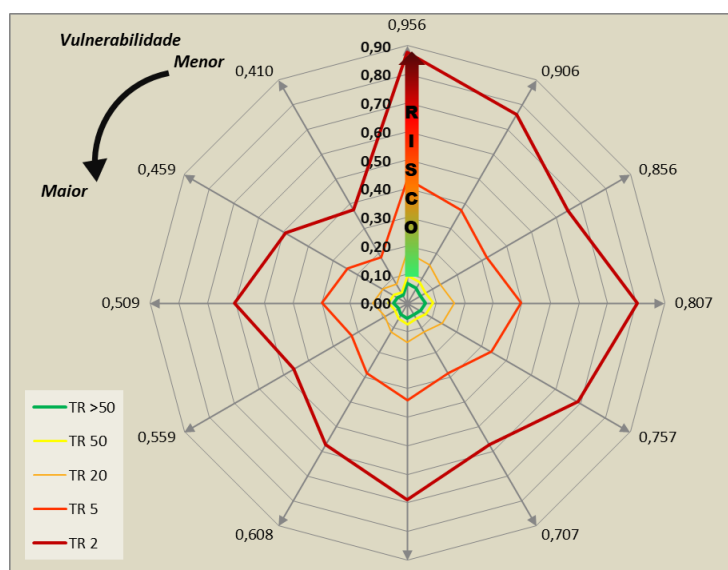
Sendo assim, um ponto capital diante a compreensão dos riscos associados a inundações na área urbana de Alegrete é o fato que não são apenas os eventos naturais e o regime hidrológico dos rios Ibirapuitã e seus tributários que são determinantes. Estes riscos também são o produto de envolventes sociais, políticos e econômicos, que interferem na forma como se estrutura a vida dos distintos grupos de pessoas e como se dá a ocupação no espaço.

O resultante da rotina de análise de riscos é a atribuição, para cada risco identificado, uma estratificação quanto à probabilidade como para o impacto do evento, cuja combinação determinará o nível do risco. A caracterização e identificação de fatores que estabelecem e afetam probabilidade e as consequências também compõem a análise de riscos, incluindo a aproximação dos processos que desencadeiam o risco diante inundações, considerando-se as áreas suscetíveis em uma perspectiva espaço-temporal.

Simulados os processos de inundação, conforme cada tempo de retorno, considerou-se a hierarquização dos riscos associado às inundações. Para cada grau de perigo associa-se um cenário de inundação, com variabilidade na área afetada e consequentes danos. Assim, para cada TR existiram variações na estimativa da área e do número de residências afetadas, com características distintas de vulnerabilidade, acarretando, consequentemente em distintos graus e níveis de risco de inundação na área urbana de Alegrete, essencialmente um produto dessas variáveis.

Em sua forma quantitativa mais simples, a relação entre o nível de risco e as variáveis que o compõe por meio dos índices obtidos, na área urbana de Alegrete, pode ser ilustrada por meio da Figura 42.

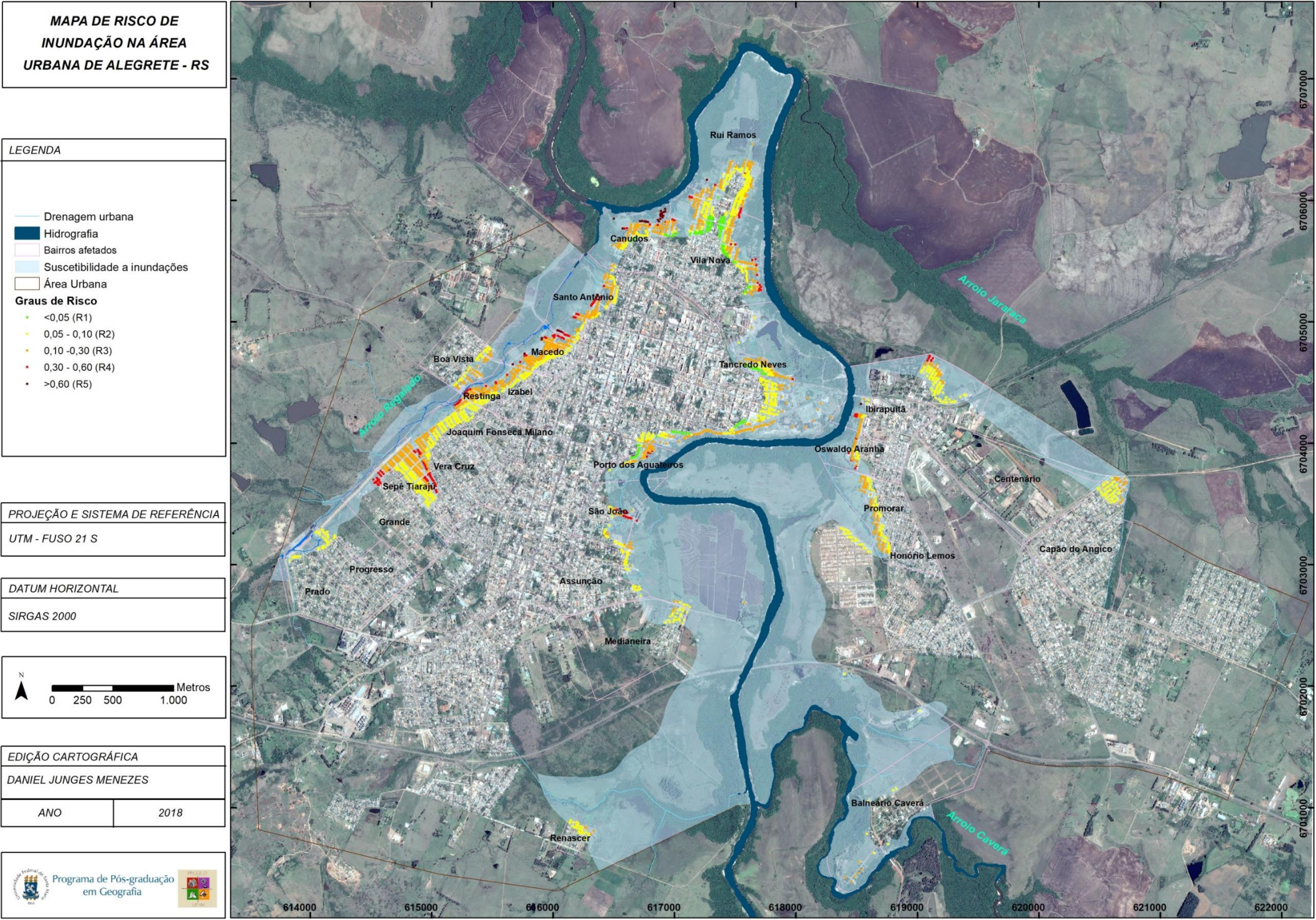
Figura 42 - Representação do Risco quantitativo em função do Perigo (TR) e Vulnerabilidade.



Essa abordagem permite a avaliação inicial dos riscos, numa escala comparativa. A hierarquização dos riscos em função das vulnerabilidades e perigo em função dos TR é dada através da atribuição de que variam hipoteticamente de 0 a 1, sendo que o maior valor encontrado foi 0,877 e representa a situação de maior risco de uma habitação com relação aos danos causados pelo fenômeno de inundação e o menor valor de 0,030 associado a uma edificação de uso comercial em área de baixa recorrência e avaliada como de menor vulnerabilidade. A determinação de graus de risco, expressa a presença do risco muito alto associado às menores recorrências, sendo um limitador para sua determinação. Para a apreciação da análise numérica é utilizada uma análise semiquantitativa, utilizando-se escalas de classes, para fornecer um exame comum das classificações de risco, elaborado de modo compatível com o contexto da área e dos processos de inundação, considerando-se a sua espacialização.

Atende-se como Risco baixo (R1) toda edificação com peso até 0,05 e caracteriza situações excepcionais, sendo o evento casual, mas podendo ocorrer, pois o histórico aponta essa possibilidade. O Risco moderado (R2) está dentro de um intervalo de 0,05 a 0,10 e o evento poderá ocorrer em até 50 anos, pois as circunstâncias indicam moderadamente essa possibilidade e a vulnerabilidade tende a ser moderada ou baixa. Caracterizam inundações menos frequentes quando associados à vulnerabilidade média. O Risco médio (R3) tem valores de 0,10 a 0,30 e são inundações abrangentes, prováveis e até esperadas com danos muito em função da vulnerabilidade, pois as circunstâncias indicam fortemente essa possibilidade. O Risco alto (R4) tem valores de 0,30 a 0,60 e são inundações muito prováveis, onde a vulnerabilidade pode ser atenuante do risco assim como um indicador de maiores danos. O Risco muito alto (R5) tem valores que superam 0,60 e são inundações prováveis de forma inequívoca, cujo evento ocorrerá e as circunstâncias indicam claramente essa possibilidade, sendo a vulnerabilidade baixa um agravante na exposição. A distribuição espacial dos processos e análise de risco é dada por meio da análise do mapa de risco de inundação da área urbana de Alegrete (Figura 43), onde é possível verificar que o arranjo espacial forma um mosaico diversificado, quanto aos graus de risco, à sua distribuição por classes e também concentração em determinadas porções do sítio urbano, sendo bem representadas as áreas mais atingidas e se caracterizam pela ocorrência de graus de risco alto e muito alto.

Figura 43 - Mapa de risco de inundação da área urbana de Alegrete - RS.



Desta forma, os valores de risco baixo (R1) associam-se as áreas inundadas pelo rio Ibirapuitã de forma menos recorrente e se estendem até a cota máxima de 82 m, limite considerado inundável e, onde há de maneira geral, a presença da vulnerabilidade baixa, seja quanto à renda mais elevada ou o uso, residencial e de comércio e serviços. Estas áreas compreendem a porção mais distante do rio nos bairros Rui Ramos e Vila Nova, na parte norte da área urbana e outros trechos junto à margem oeste do rio Ibirapuitã, afetando porções comerciais na parte central e residências de menor vulnerabilidade nos bairros Porto do Aguateiros e Tancredo Neves.

A análise de risco moderado (R4) associam-se também às áreas inundadas pelo rio Ibirapuitã, além de seus tributários em diferentes magnitudes e características dos processos. Caracterizam as porções mais distantes dos cursos d'água, onde de forma menos recorrente são caracterizadas áreas de perigo e onde há, de maneira geral, a presença da vulnerabilidade moderada e média, seja quanto à renda per capita do setor ou o uso atribuído às edificações. Caracterizam grande parte das edificações atingidas e caracterizam áreas comerciais também. Esta categoria é comum a todos os bairros, se dando em função da recorrência ou vulnerabilidade.

Também comum a todos os bairros, em função da recorrência ou vulnerabilidade, as edificações enquadradas como de risco médio (R4) associam-se às áreas inundadas pelo rio Ibirapuitã e seus tributários em diferentes magnitudes e características dos processos. Caracterizam as porções mais próximas em drenagens onde há vulnerabilidade moderada ou baixa e porções próximas dos cursos d'água, onde de forma menos recorrente ou magnitude são caracterizadas áreas de perigo onde ocorre, de maneira geral, a presença da vulnerabilidade moderada e média. Concentra também grande parte das edificações atingidas principalmente de uso residencial e vulnerabilidade média.

De maneira geral, a vulnerabilidade menos elevada é um condicionante para separar áreas de TR de até 20 anos e 50 anos nestas categorias de risco médio e moderado. O mesmo se dá considerando o tempo de recorrência de 5 anos, nas áreas que são as mais atingidas em relação as classes de risco alto e muito alto, sendo que neste caso a distância da drenagem e consequente, maior recorrência das áreas de tempo de retorno de 2 anos, implicam em um maior perigo.

Deste modo e neste arranjo espacial, temos as áreas de risco alto (R4) relativamente distribuídas nas partes próximas às drenagens e, as áreas de risco muito alto (R5), mais restritas aos bairros Canudos, Santo Antônio, Macedo, Vera Cruz e Sepé Tiarajú, junto ao arroio Regalado e, junto ao rio, o bairro Ibirapuitã. Estas estão associadas à vulnerabilidade pontual ou do setor caracterizadas como muito alta.

Este padrão espacial que configura a análise de risco reflete diretamente nos quantitativos das edificações e população exposta em cada classe de risco, conforme a Tabela 25.

Tabela 25 - Total de edificações e população exposta por graus de risco.

Risco	Edificações	%	População exposta	%
R1	169	5,6%	502	5,4%
R2	1374	45,7%	4167	45,1%
R3	1255	41,7%	3899	42,2%
R4	179	5,9%	566	6,1%
R5	32	1,1%	100	1,1%
Total	3009	100%	9234	100%

Org.: Menezes (2018).

Podemos observar que há uma grande concentração de risco nas faixas de risco moderado e médio, que juntos compõem mais de 87% das edificações e com valor proporcional quanto à população afetada. Isso ocorre em função do tamanho da área de perigo e sua grande densidade populacional e habitacional. Contudo, tendem a se diferenciar pela infraestrutura e renda encontrados no local, onde os danos deverão ser menores na classe de risco moderado.

Os condicionantes de vulnerabilidade baixa restritos permitiram estimar uma faixa de risco baixo também restrita, mesmo que as inundações até a altura de 82 m e com recorrência superior a 50 anos estendam-se por uma área considerável no perímetro urbano. Isto indica que em inundações cuja cota máxima de 81 m seja superada, como no evento de 2015, embora associado a uma pequena probabilidade estatística, existirão danos significativos a um grande contingente

populacional, que de alguma forma será atingido em áreas mais elevadas e estes serão, ainda muito mais severos à população mais vulnerável, próximas aos cursos d'água, comprometendo de forma significativa a estrutura e a normalidade da área urbana de Alegrete.

Por sua vez, as áreas inundáveis que atingem as edificações de risco alto e muito alto, concentram mais de 7% do contingente afetado, sendo uma centena em risco muito alto e mais 566 em risco alto. Estes grupos que se separam por recorrência e apresentam faixas de renda e semelhantes e/ou padrão construtivo baixo em sua maioria, apresentam as situações mais preocupantes em uma análise de risco. A alta frequência com que são atingidos, impõem a uma parte deste contingente afetando um dinamismo muito grande, pois são relativamente comuns desde a destruição parcial e total das casas, a reconstrução e até a realocação espontânea para áreas mais seguras ou áreas com outros condicionantes de perigo. Junto a estas residências é comum a atuação da Defesa Civil municipal em tarefas de alerta para a possibilidade de inundação e remoção da população, em situações de ameaça da água atingir as residências ou pouco antes disto acontecer, quando é possível.

A partir da análise do mapa de risco de inundação é possível verificar que os graus de risco foram bem simulados em função das variáveis utilizadas. Contudo, essa relação matemática pode não refletir todas as relações, como a distribuição no espaço assim como a concentração neste, tendo em vista a particularidade inerente ao risco individual de cada habitação ou ainda compreender e estabelecer prioridades de identificação e análise em nível mais específico ou detalhado.

Desta forma, o processo de avaliação de riscos é parte da gestão dos mesmos, onde se busca reconhecimento e descrição de riscos, tendo como base o contexto estabelecido nas diferentes situações. Preliminarmente, pode-se adotar uma abordagem geral para a identificação de riscos, de generalizações até aproximações mais específicas. Primeiro, identificou-se os riscos em um nível geral e estes foram avaliados dentro do recorte urbano de Alegrete e em um segundo momento, esta mesma análise é descrita em nível específico e/ou mais detalhado, tendo em vista a melhor compreensão de toda dinâmica espaço-temporal que remetem a processos de inundação na área urbana de Alegrete.

Subsidiando-se pelo que foi arrazoadado até agora e a identificação *in loco*, permitiram agrupar algumas características dos processos de inundações que se

fazem importantes na sua descrição. Em função de critérios espaciais, geomorfológicos e intervenções estruturais, são encontradas duas grandes tipologias de processos: Processo Ibirapuitã/tributários, passível de análise em função das cotas linimétricas, e com grande abrangência espacial; Processo Regalado/montante, mais restrito em termos de área e recorrência. Os processos de inundação do rio Ibirapuitã, foram divididos em sete trechos, a serem citados: trecho meandro Norte, trecho meandro Oeste, trecho meandro Leste, trecho meandro Sul, trecho Caverá, trecho Jararaca, trecho Regalado/jusante.

Deste modo, inicia-se pelo trecho meandro Norte, que concentra aproximadamente 24% de todas as edificações em áreas inundáveis e é uma das porções do sítio urbano cuja característica marcante é a associação entre dois elementos: a magnitudes dos eventos, tendo em vista sua posição junto a uma área plana e cuja geomorfologia caracteriza uma área sujeita a processos de extravasamento do rio Ibirapuitã e o adensamento com vulnerabilidade geral considerada baixa e porções cujas ocupações e estrutura tendem a mudar de padrão conforme a distância do rio.

Como podemos observar na Tabela 26, esta porção da área urbana concentra mais da metade dos elementos expostos, entre edificações e população estimada, em áreas consideradas de risco baixo e moderado, que totalizam mais de 2000 pessoas nesta categoria de risco junto a este trecho.

Tabela 26 - Total de edificações e população exposta por graus de risco - trecho meandro norte.

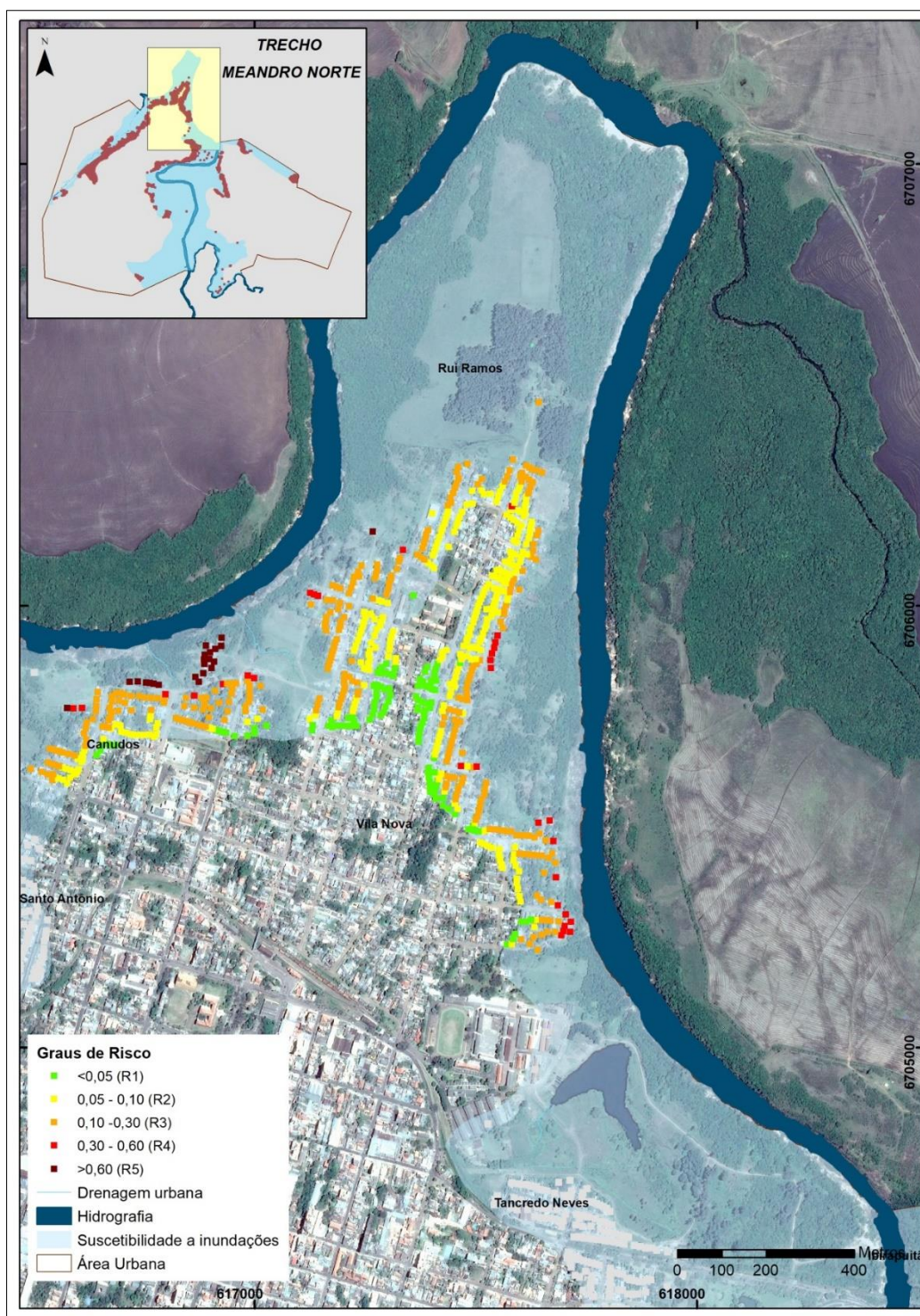
Risco	Edificações	%	População exposta	%
R1	117	15,8%	361	15,7%
R2	273	36,9%	843	36,6%
R3	297	40,1%	931	40,4%
R4	31	4,2%	97	4,2%
R5	22	3,0%	72	3,1%
Total	740	100%	2304	100%

Org.: Menezes (2018).

No entanto, temos nesta área também uma população, que embora proporcionalmente seja menos representativa, está em situação de risco alto e muito

alto, totalizando mais de 50 famílias. A espacialização do risco neste trecho pode ser analisada a partir da Figura 44.

Figura 44 - Mapeamento de risco de inundação - trecho meandro norte.



Podemos observar que a forma meandrante é determinante na suscetibilidade ao processo de inundação, onde a porção deposicional do rio configurou as áreas mais elevadas onde se adensaram os assentamentos urbanos ao longo do tempo. Esta condição caracteriza as inundações, de baixa frequência e de grande porte, que podem afetar a área periodicamente.

As edificações predominantes são naturalmente do tipo residencial, seguidas do baixo padrão existindo ainda comércio e serviço nesta área. Estas tipologias se distribuem nas classes de risco a partir da proximidade do rio e principalmente vulnerabilidade, onde as residências em grande parte são de risco médio e moderado e baixo. O risco muito alto é composto principalmente em função do baixo padrão.

Verifica-se que as primeiras residências afetadas com periodicidade tem como característica o risco muito alto e alto e tendem a apresentar menor risco ao se afastar do rio e também em função da vulnerabilidade da conforme mostram as Figuras 45 e 46, respectivamente no bairro Canudos, onde o padrão construtivo de algumas residências é atenuante ao risco e no Rui Ramos, onde na proximidade do rio à o risco alto.

Figura 45 - Residência afetada no bairro Canudos, risco médio.



Figura 46 - Residência próxima ao rio e afetada no bairro Rui Ramos, risco muito alto.



Org.: Menezes (2018).

Caracterizado pela menor vulnerabilidade em relação ao trecho norte, o trecho meandro oeste, tem como características a presença do risco moderado e médio como predominantes e não são verificadas situações de risco muito alto, sendo também pouco expressivo o risco alto em relação ao trecho anterior, como pode ser visto na Tabela 27.

Tabela 27 - Total de edificações e população exposta por graus de risco - trecho meandro oeste.

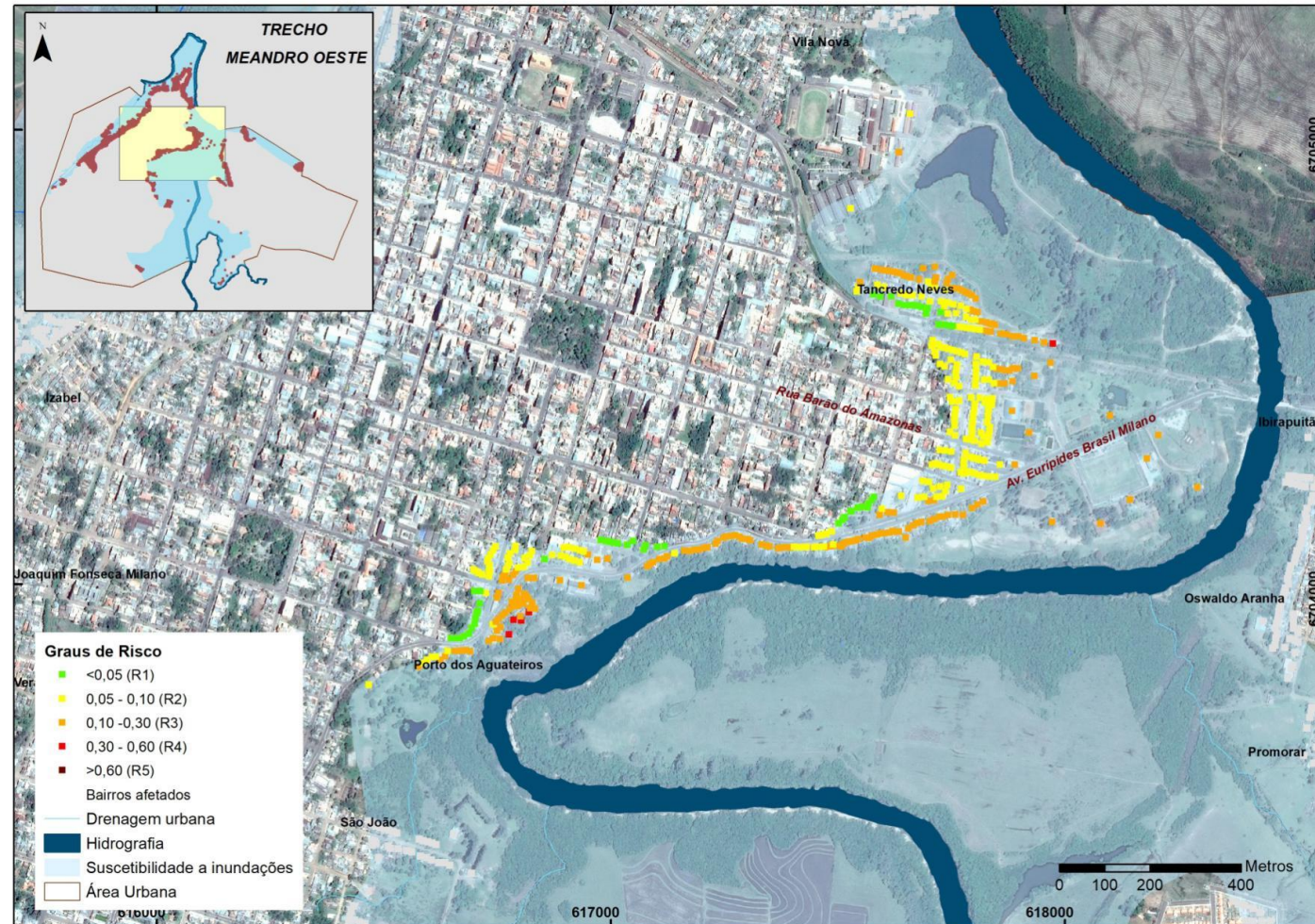
Risco	Edificações	%	População exposta	%
R1	52	11,7%	141	11,8%
R2	204	45,9%	542	45,1%
R3	183	41,2%	501	41,8%
R4	5	1,1%	16	1,3%
Total	444	100%	1200	100%

Org.: Menezes (2018).

Neste trecho estão ao menos 1200 pessoas alocadas, o que corresponde a 13% do contingente exposto e 14,8% do total de edificações. Da mesma forma, 50%

de todos os registros das tipologias de uso de comércio e serviços encontram-se nesta porção da área urbana, além de um posto de gasolina e uma subestação de energia, que caracterizam usos muito vulneráveis. Abrange áreas do centro da cidade, além dos bairros Tancredo Neves e faixa do Porto dos Aguateiros, de onde se estende por áreas planas até o meandro que o caracteriza, conforme mostra a Figura 47.

Figura 47 - Mapeamento de risco de inundação - trecho meandro oeste.



Destaca-se também o uso e a presença de edificações dispersas, em função da utilização das áreas cuja frequência de inundação é recorrente, existindo a presença de parques e áreas verdes que funcionam como zona de amortecimento das inundações. Esta condição, que ao mesmo tempo expõem de forma severa estas edificações e estruturas em eventos de grande magnitude, sem dúvida diminui o risco, ao passo que estas áreas não são residenciais. A presença da Av. Eurípides Brasil Milano, ao longo do rio, acompanha a topografia da área e mantém as inundações de recorrência média restrita as porções abaixo da mesma, sendo as inundações com tempos de retorno de 50 anos que vem a causar maiores danos.

Esta área em função das características plana e ocupada de longa data, permite verificar o alcance horizontal das águas como referência histórica. A cota máxima registrada na série corresponde a um evento que teve duração de 20 dias e, cujo pico máximo de 1445 mm, correspondente ao dia 11/04/1959, é tida como um evento de referência para aproximações do limite vertical e abrangência espacial que as inundações alcançam na área urbana de Alegrete.

Neste sentido, faz-se uma consideração a respeito da relação existente entre magnitude do evento e cota registrada, tendo em vista que esta variável é naturalmente contínua e o seu pico máximo tende a ser um momento restrito no tempo, onde muitas vezes este não é contemplado junto às réguas linimétricas, cujo registro é diário. Os levantamentos de campo, estimativas para relação entre cotas altimétricas e linimétricas e os comparativos estabelecidos com a inundação de 2015 (não registrada na estação) indicam proximidade entre a magnitude dos dois eventos e sugerem que a medida de 1445 mm tenha sido superada em ambas as situações. A Figura 48 permite visualizar o alcance das águas junto à Rua Barão do Amazonas nos anos de 1959 (a) e 2015 (b).

Figura 48 - Rua Barão do Amazonas, em 1959 (a) e 2015(b).



Fonte: Portal Alegretetudo (2015).

O trecho meandro sul tem como característica principal a presença de uma grande zona de amortecimento formada por áreas verdes e agrícolas. Embora tenha como característica a pouca ocupação nestas áreas inundáveis, as edificações em situação de perigo podem sofrer danos severos tendo em vista o alcance das águas nestas áreas, embora sejam pouco frequentes, como na inundação de 2015, onde em uma área de lazer a altura de 2,30 m foi alcançada pela inundação (Figura 49).

Figura 49 - Alcance de 2,30 metros da inundação no Bairro São João, em 2015.



Org.: Menezes (2018).

A vulnerabilidade é caracterizada como alta e muito alta em algumas residências e é moderada e média no restante. Desta forma, em função dos condicionantes de perigo e vulnerabilidade, não são encontradas situações de risco baixo nem risco muito alto, sendo predominante o risco moderado que caracteriza a porção sul da área urbana e totaliza 29% dos domicílios de baixo padrão. Os quantitativos podem ser observados na Tabela 28.

Tabela 28 - Total de edificações e população exposta por graus de risco - trecho meandro sul.

Risco	Edificações	%	População exposta	%
R2	111	70,7%	320	73,2%
R3	32	20,4%	77	17,6%
R4	14	8,9%	40	9,2%
Total	157	100%	438	100%

Org.: Menezes (2018).

São observados neste trecho dois grupos distintos de ocupação, cuja recorrência e dinâmicas apresentam particularidades, além dos condicionantes de vulnerabilidade. Em porções mais próximas ao rio Ibirapuitã, temos as áreas atingidas nos bairros São João, Assunção e Medianeira, que apresentam variações quanto a vulnerabilidade e o risco responde principalmente à distância do rio. No ano de 2015, os prejuízos foram grandes para a população em função da extensão do evento na casa mais próximas e que caracterizam risco alto.

Por sua vez, em um núcleo ocupacional já no limite sul da área urbana, tem como característica as ocupações mais recentes e cuja vulnerabilidade é alta (Figura 50), tendo em vista que esta população ocupa áreas irregulares e grande parte do contingente caracteriza-se pela informalidade na obtenção renda.

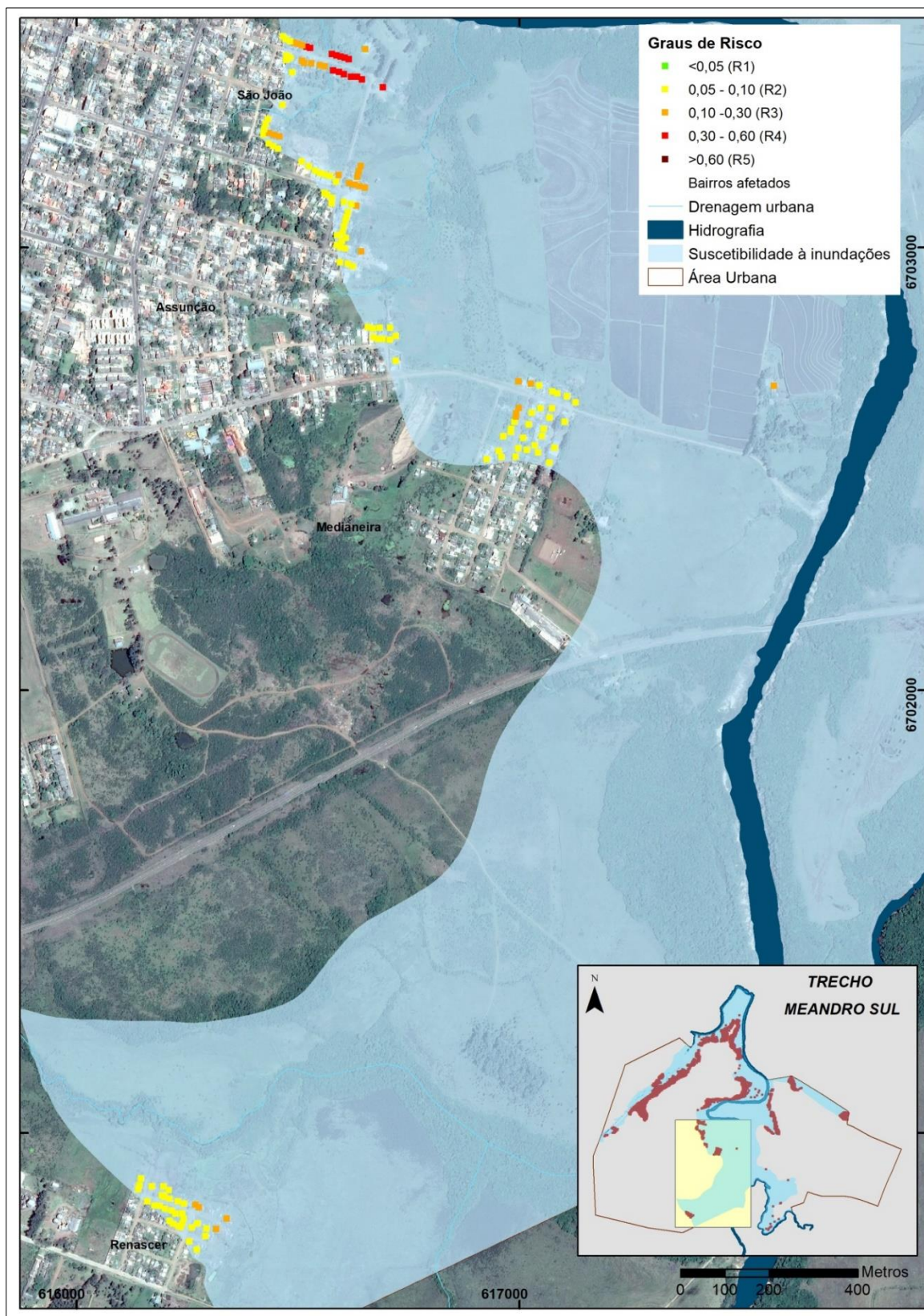
Figura 50 - Moradias afetadas no bairro Renascer.



Fonte: Prefeitura Municipal de Alegrete. Defesa Civil (2016).

Localizada em uma porção mais distante do rio Ibirapuitã, em eventos de maior magnitude cuja extensão da planície inundável do rio Ibirapuitã é ocupada pelas águas, e em função da pouca capacidade de drenagem destes terrenos, as casas ao fundo da ocupação Renascer são atingidas. Embora caracterizem processo menos frequentes, a vulnerabilidade da população potencializa os riscos para tempos de retorno de 50 anos ou superior. A espacialização deste processo e suas particularidades podem ser observadas na Figura 51.

Figura 51 - Mapeamento de risco de inundação - Trecho meandro sul.



O trecho meandro leste caracteriza extensão de uma área plana adjacente à margem direita do rio Ibirapuitã, sendo influenciados e potencializadas a área inundável em função da presença de uma drenagem urbana cuja nascente se encontram no bairro Honório Lemos. De maneira geral, o rio Ibirapuitã neste trecho é mais encaixado e na margem erosiva a extensão da planície é naturalmente mais restrita se comparada com a porção côncava do meandro. Isso estabelece um perfil mais íngreme em relação ao rio, onde o alcance das inundações está sujeito a esta morfologia do processo, onde intervalos maiores de recorrência podem determinar se um grupo de edificações é ou não atingindo. Neste trecho temos também dois grupos de residências que podem ser discutidos de forma distinta e que ao todo, somam 220 edificações e 677 moradias com predominância nas classes de baixo e moderado risco.

Deste total de edificações, 91% estão nos bairros Ibirapuitã, Oswaldo Aranha e principalmente no bairro Promorar, onde os riscos alto e muito alto vão estar condicionados à distância do rio, tendo em vista que a vulnerabilidade e a presença de residências de baixo padrão tendem a figurar neste trecho quando nos aproximarmos do rio. A vulnerabilidade calculada para os setores que compõem estes bairros é alta ou muito alta, estabelecendo o risco médio nas casas que ficam na rua paralela ao rio e sujeitas a inundações de tempo de retorno de até 20 anos. A partir da Figura 52 é possível visualizar o perfil íngreme que caracteriza esse trecho.

Figura 52 - Perfil no bairro Ibirapuitã. Perigo e vulnerabilidade aumentam em direção ao rio.



Org.: Menezes (2018).

O segundo grupo de edificações corresponde a um grupo importante de residências afetadas, cuja característica é uma resignificação de perigos e consequentes riscos na área urbana de Alegrete (Figura 53 a). Contextualizado a um projeto de realocação e habitação social, em área prevista no zoneamento urbano como de expansão, denominadas Zona Especial de Interesse Social (ZEIS), algumas das casas construídas no loteamento Ayrton Senna, foram atingidas pela inundação em 2015. O loteamento residencial é provido pelo Poder Público, destinado à população de baixa renda, compondo o Programa Habitacional Minha Casa, Minha Vida. Previsto para ser construído em área acima do alcance das águas, no evento de grande magnitude de 2015 foram afetadas ao menos 25 casas, entre danos diretos e acessos (Figura 53 b).

Figura 53 - Loteamento construído junto a área plana do rio (a) e área afetada em 2015 (b).



Org.: Menezes (2018).

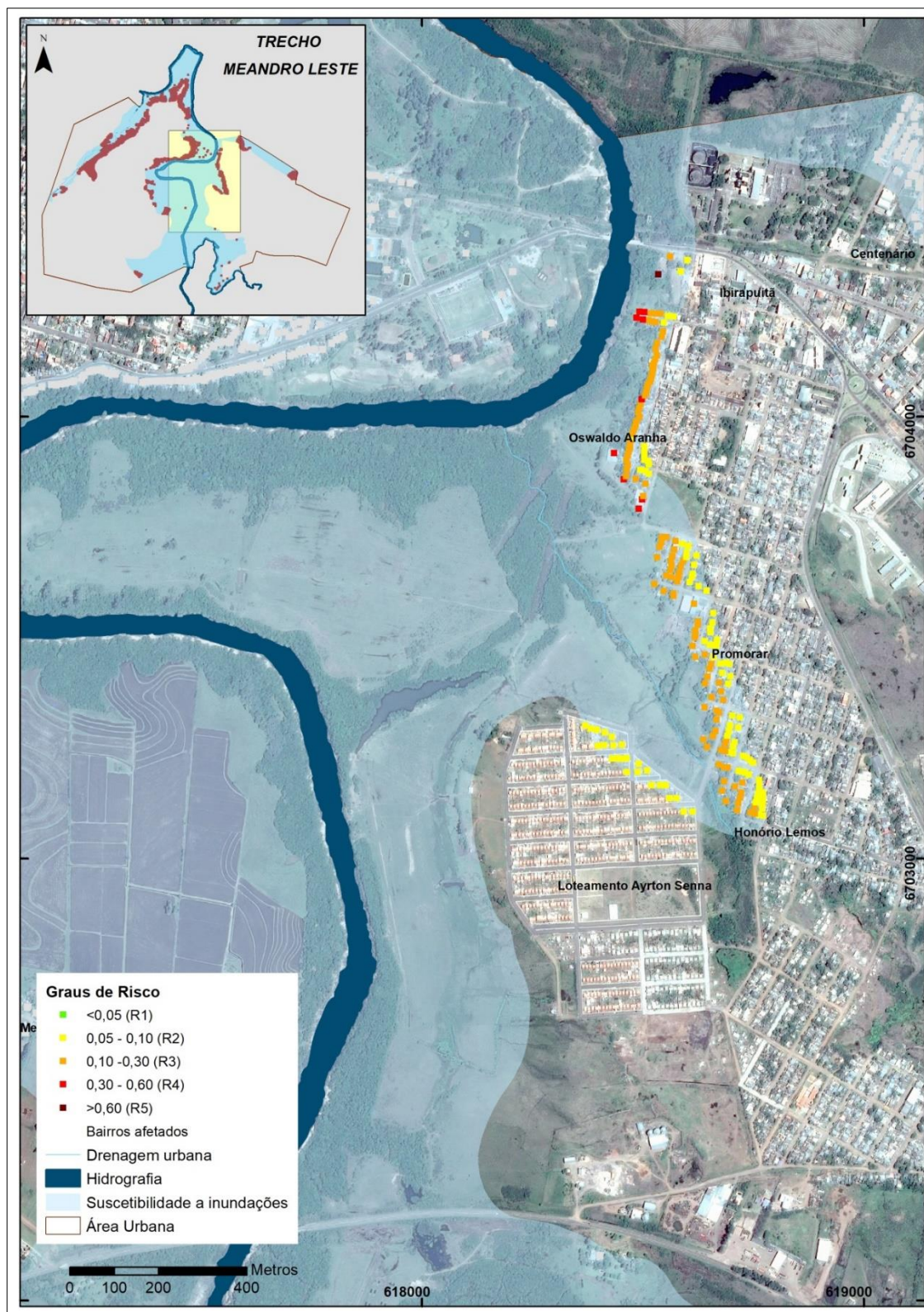
A espacialização destes processos e suas particularidades são observadas na Figura 54. A quantificação dos riscos neste trecho é dada na Tabela 29.

Tabela 29 - Total de edificações e população exposta por graus de risco – trecho meandro leste.

Risco	Edificações	%	População exposta	%
R2	98	44,5%	305	45,0%
R3	112	50,9%	343	50,6%
R4	9	4,1%	26	3,9%
R5	1	0,5%	3	0,5%
Total	220	100%	677	100%

Org.: Menezes (2018).

Figura 54 - Mapeamento de risco de inundação - Trecho meandro leste.



Org.: Menezes (2018).

Localizado ao sul da área urbana, e associado ao tributário da margem direita, o arroio Caverá (Figura 55a) que dá nome ao denominado trecho Ibirapuitã Caverá, caracteriza uma grande área inundável, até a sua desembocadura no rio Ibirapuitã. As inundações que caracterizam este trecho apresentam recorrências semelhantes as do rio Ibirapuitã, no entanto são menos perigosas em termos de severidade. A linha máxima de inundação supera os 82 m nesta área, que topograficamente é mais elevada e o represamento das águas antes de chegar ao Ibirapuitã, movimentam a dinâmica desta área em períodos de inundação. A presença de aterros minimiza o alcance das águas (Figura 55b), ficando esta restrita ao fundo de algumas residências e sendo mais frequente conforme as edificações avançam em direção ao meandro.

Figura 55 - Arroio Caverá (a) e aterros junto à margem esquerda do arroio (b).



Org.: Menezes (2018).

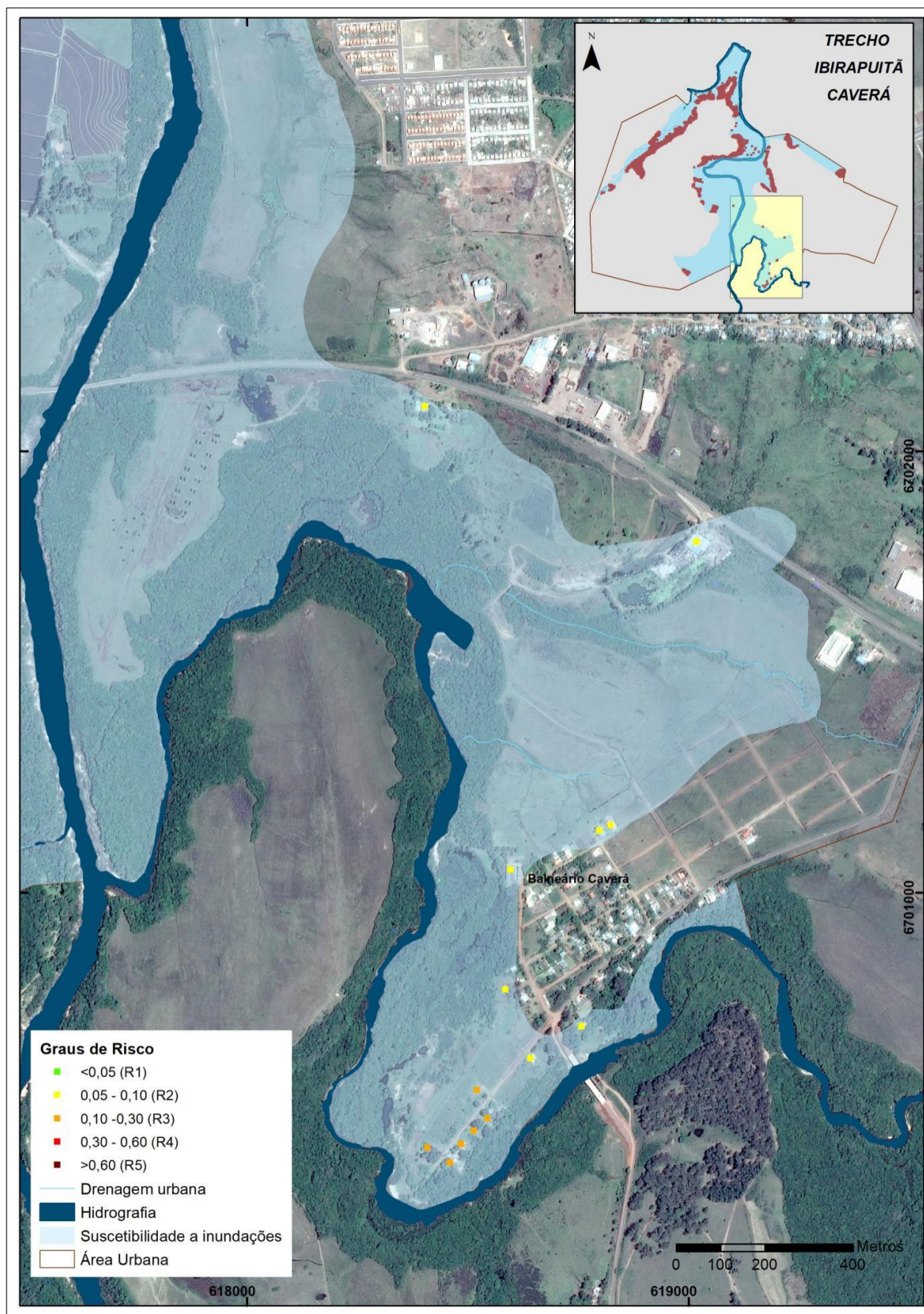
Há também uma menor densidade de habitações e população, que por sua vez estão atrelados a menor vulnerabilidade. Isto implica em uma situação de risco médio e moderado, onde são atingidas ao menos 14 edificações de forma direta conforme a Tabela 30. A espacialização desta área é dada na Figura 56.

Tabela 30 - Total de edificações e população exposta por graus de risco - trecho Ibirapuitã/Caverá.

Risco	Edificações	%	População exposta	%
R2	8	57,1%	8	33,3%
R3	6	42,9%	17	66,7%
Total	14	100%	25	100%

Org.: Menezes (2018).

Figura 56 - Mapeamento de risco de inundação - trecho Ibirapuitã/Caverá.



Org.: Menezes (2018).

Atrelado a uma dinâmica semelhante, temos o arroio Jararaca cuja desembocadura e caudal não compõem o perímetro urbano de Alegrete. No entanto ao norte da área urbana, a porção inundável associada ao rio Ibirapuitã se estende por áreas ocupadas, ocasionando processo que em grandes tempos de retorno, principalmente, assemelham em recorrência com o rio Ibirapuitã, embora não sejam estabelecidas condições de severidade mais significativas, principalmente à montante do arroio.

Denominado trecho Ibirapuitã-Jararaca, este compõe 6% das edificações e 5,6% do contingente total atingido em totais de 183 e 520, respectivamente, conforme podemos observar a partir da Tabela 31. O risco é predominantemente moderado tendo em vista que há para grande parte das edificações distâncias razoáveis em direção ao curso d'água, que tem fluxo no sentido leste para oeste.

Tabela 31 - Total de edificações e população exposta por graus de risco - trecho Ibirapuitã/Jararaca.

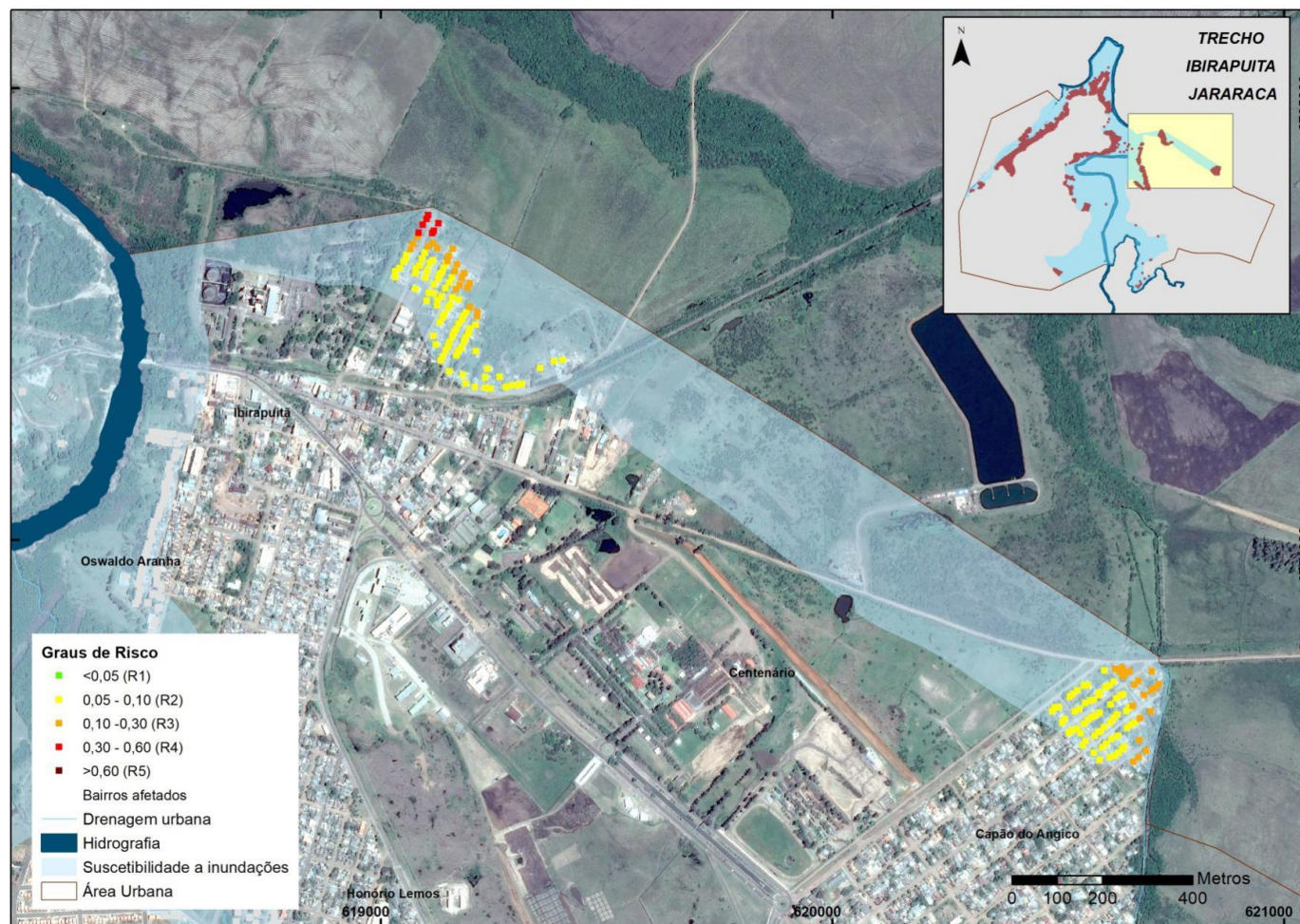
Risco	Edificações	%	População exposta	%
R2	136	74,3%	385	74,0%
R3	40	21,9%	115	22,1%
R4	7	3,8%	20	3,9%
Total	183	100%	520	100%

Org.: Menezes (2018).

Desta forma, em função da posição junto ao arroio e vulnerabilidade, e podemos separar duas áreas junto ao arroio (Figura 57). A maior proximidade do arroio é um fator determinante no risco nas edificações que ficam mais a jusante do arroio, onde estão presentes edificações com grau alto de risco, em áreas do bairro Ibirapuitã e Centenário. Em direção à montante temos uma menor magnitude dos processos, sendo que às áreas atingidas tendem a ter uma menor periodicidade nos eventos. Esta situação só é modificada em função da presença em função de uma drenagem de menor porte que em períodos de maior precipitação e inundações mais significativas há a possibilidade de processos adversos à população destas áreas no bairro Capão do Angico.

Da mesma forma, as edificações caracterizadas como risco médio estão associadas a alta vulnerabilidade na porção montante, sendo esta uma condição que não se repete na área à jusante onde a vulnerabilidade é média.

Figura 57 - Mapeamento de risco de inundação - trecho Ibirapuitã/Jararaca.



Org.: Menezes (2018).

O trecho Ibirapuitã Regalado é, dentre os segmentos analisados, a porção que mais concentra edificações e população exposta a diferentes graus de risco. Somando 33,3% das edificações identificadas na área urbana e estimando-se uma população de 34,7% desta, temos mais de 1000 edificações e mais de 3200 pessoas expostas entre uma faixa que se estende por áreas ocupadas e sujeitas a inundações ao longo do arroio Regalado, até encontrar o rio Ibirapuitã (Tabela 32).

Tabela 32 - Total de edificações e população exposta por graus de risco - trecho Ibirapuitã/Regalado.

Risco	Edificações	%	População exposta	%
R2	379	37,9%	1194	37,3%
R3	537	53,6%	1743	54,4%
R4	76	7,6%	243	7,6%
R5	9	0,9%	26	0,8%
Total	1001	100%	3206	100%

Org.: Menezes (2018).

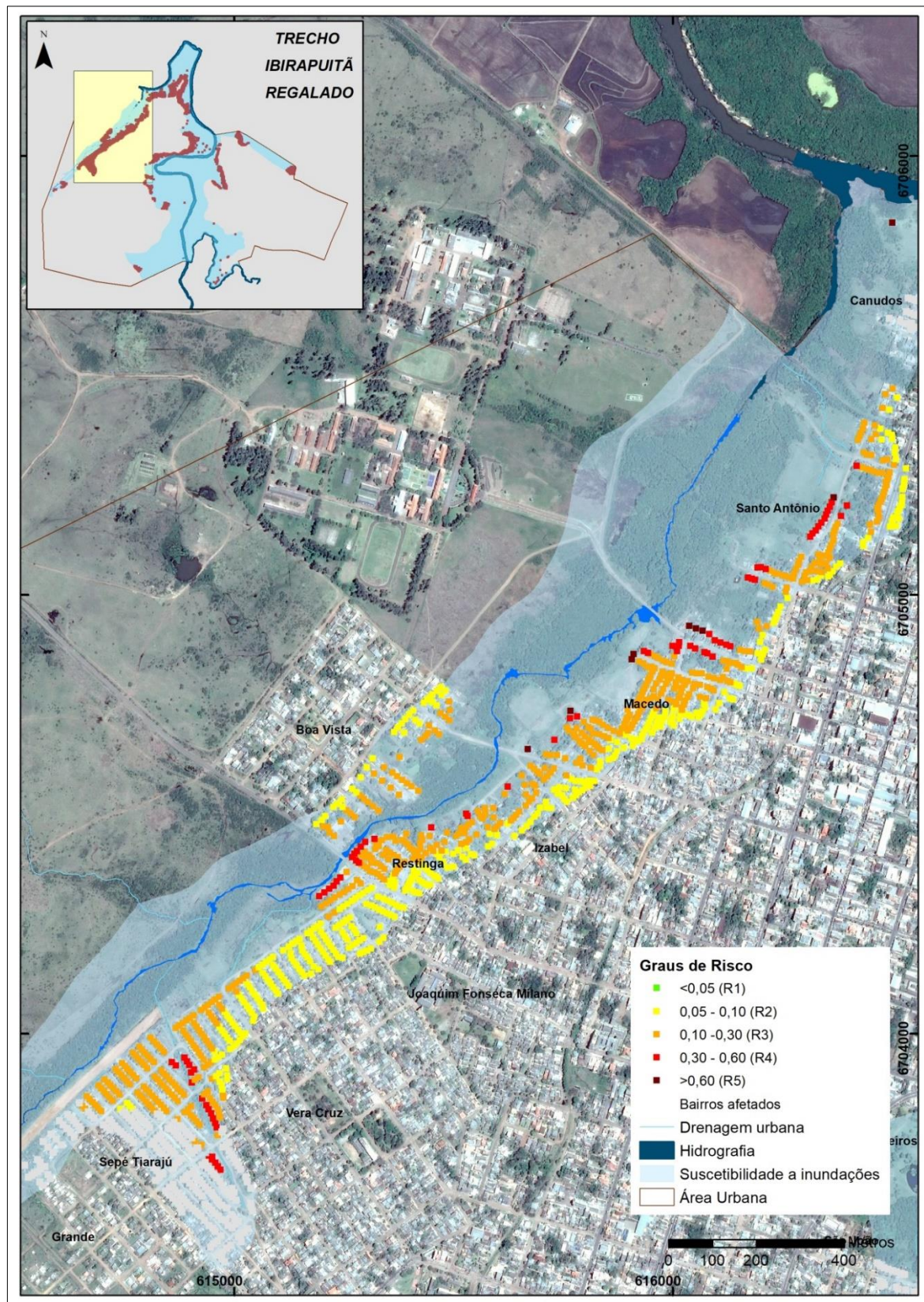
As edificações são do tipo residencial, seguidas do baixo padrão, existindo ainda comércio e serviço nesta área. Estas tipologias se distribuem nas classes de risco a partir da proximidade do arroio e principalmente vulnerabilidade, onde as residências em grande parte são de risco médio e moderado, não sendo encontrado o risco baixo. O risco alto e muito alto é composto principalmente em função do baixo padrão e proximidade do arroio, conforme exemplificam as Figuras 58 (a e b) e 59, onde podemos observar a espacialização do risco nesta área.

Figura 58 - Residências que são consecutivas à área inundável do arroio Regalado no bairro Santo Antônio (a) e área que caracteriza edificações de risco médio no bairro Macedo (b).



Org.: Menezes (2018).

Figura 59 - Mapeamento de risco de inundação - Ibirapuitã/Regalado.



Org.: Menezes (2018).

Observamos que a iniciar nos bairros Sepé, Tiarajú, Vera Cruz, Joaquim Fonseca Milano, Boa Vista, Restinga, Izabel, Macedo, Santo Antônio e ainda Canudos, vamos caracterizando diferentes graus de risco, onde a vulnerabilidade apresenta comportamento espacial, no qual diminui em direção à jusante. Esta é intensificada em direção ao curso do arroio, nos bairros Restinga, Macedo e Santo Antônio e Sepé Tiaraju, com a presença de 125 residências de baixo padrão, com aproximadamente 260 pessoas em situação de risco alto e muito alto. Da mesma forma, observamos que há uma faixa de residências afetadas que adentra no bairro Vera cruz e principalmente no bairro Sepé Tiarajú, onde se tem risco médio e até alto. Isto se dá em função de condicionantes de drenagem urbana que se somam à dinâmica do processo estabelecido pelo arroio Regalo e rio Ibirapuitã, interferindo na qualificação dos processos e recorrência.

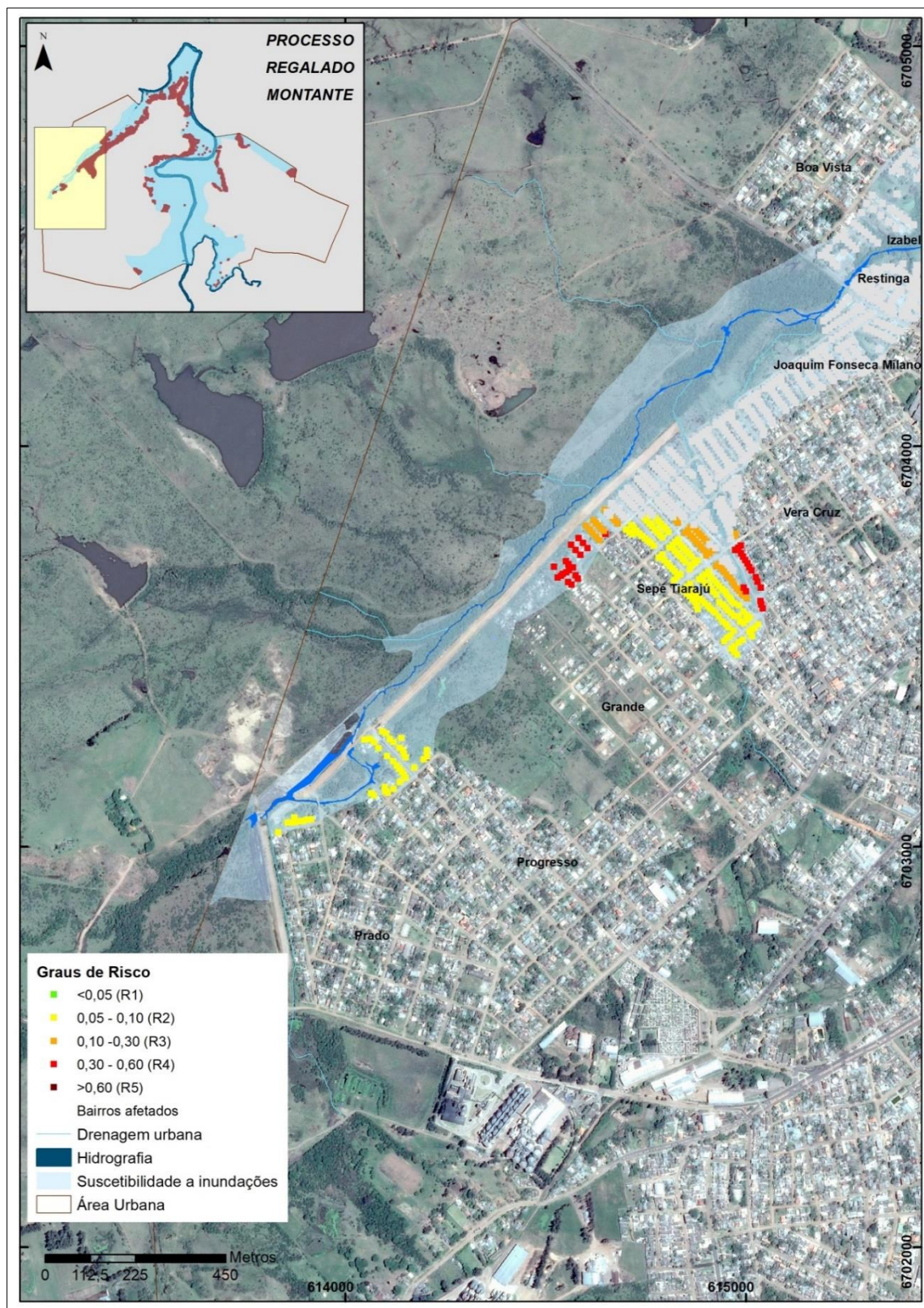
Neste caso optou-se por enquadrar em outro trecho, denominado “processo Regalado - montante” diferente em termos de área e recorrência (Figura 61). Espacialmente foi “dissociado” do processo anterior em função da cota de 82 m, a qual caracterizam inundações em área não estabelecida como áreas previamente inundáveis. Porém é sabido que mesmo a determinação em campo, não permite estabelecer onde começa ou termina a influência hidrológica de processos associados deste tipo, principalmente em área urbanizadas. Esta área pode ser ainda subdivida em função da posição em relação ao arroio, onde a porção montante é caracterizada por intervenções significativas (Figura 60a) e a área contigua ao Regalado aos condicionantes de drenagem urbana (Figura 60b).

Figura 60 - Intervenções junto ao Regalado (a) e drenagem que atravessa os bairros Vera cruz e Sepé Tiarajú (b).



Org.: Menezes (2018).

Figura 61 - Mapeamento de risco de inundação - Processo Regalado montante.



Estas duas áreas somam 250 edificações e são expostas em torno de 840 pessoas, correspondendo a 9,5% de todo contingente afetado na área urbana, conforme pode ser observado na Tabela 33.

Tabela 33 - Total de edificações e população exposta por graus de risco - processo Regalado montante.

Risco	Edificações	%	População exposta	%
R2	165	66,0%	569	65,8%
R3	48	19,2%	172	19,9%
R4	37	14,8%	123	14,2%
Total	250	100%	864	100%

Org.: Menezes (2018).

Deste total, 210 residências estão associadas à presença de drenagem urbana de drenagem urbana. A recorrência nesta está diretamente ligada ao regime das precipitações, intensidade e duração das mesmas, onde moradores sofrem com a inundação das vias e pátios ou ainda das residências, sendo esse um elemento de determinação de perigo. A proximidade do canal e a presença de 37 edificações de baixo padrão são os limiares que classificaram os graus de risco na área (Figura 62 a). Em função da abrangência do acúmulo d'água e em períodos de eventos mais significativos, o processo, embora menos severo em relação ao limite vertical de inundação, caracteriza uma área extensa e menos vulnerável (Figura 62 b).

Figura 62 - Áreas de vulnerabilidade muito alta (a) e áreas menos vulneráveis, distantes do arroio (b).



Org.: Menezes (2018).

Embora caracterize uma drenagem natural e uma área plana, este é um dos processos que mais recebem influência da urbanização, onde as inundações também caracterizam alagamentos. Este fato mantém-se latente na área urbana de Alegrete, onde a uma década já se evidenciam situações de risco desta tipologia, apontados por Robaina et al. (2009), onde a maior concentração dos problemas associados a alagamentos na área urbana de Alegrete ocorre em bairros com baixo padrão construtivo, junto a canais de drenagem, bastante antropizados, devido a existência de barramentos em condutos mal dimensionados e ao acúmulo de água, desde bairros localizados a montante. Além disso, o assoreamento dos canais é incrementado por depósitos de lixo no leito, diminuindo a profundidade e aumentando a possibilidade do extravasamento.

No que tange ao restante das edificações deste trecho, 40 edificações são posicionadas na parte montante caracterizada pela presença de residências de vulnerabilidade média e alta, que implicam em um risco moderado para processos que são poucos recorrentes, nos bairros Prado e Progresso.

No entanto, são as modificações efetuadas como canalizações, retificações e barramentos que alteram significativamente a dinâmica do curso fluvial do arroio Regalado é que implicam nestas duas áreas. O projeto de construção da “Avenida Integração” na região noroeste da área urbana, iniciado em 2016, tem o intuito de também estabelecer um dique contra as inundações nos bairros afetados.

Conforme o Ministério Público do Estado do Rio Grande do Sul, as obras de urbanização das margens do Arroio Regalado fazem parte do Plano de Aceleração do Crescimento (PAC) 2 e tem investimento previsto pelo Ministério das Cidades em R\$ 13,8 milhões. São previstas oito obras (quatro no arroio e outras quatro, no Rio Ibirapuitã) a montante e na desembocadura do arroio, onde há núcleos populacionais, deverá ser realizada canalização.

Ainda em execução, em função dos procedimentos administrativos relativos aos licenciamentos (as obras do dique e das canalizações são de competência da Fepam, as demais, são de responsabilidade municipal), as obras foram sustadas e, em uma audiência de conciliação em 2016, ficou determinado que as obras em andamento seguissem. Em 2017 foi acordado que o Município, através do consórcio entre as empresas responsáveis, termine as obras do Arroio Regalado que já estão em andamento.

Em paralelo à execução do projeto tivemos um incremento de residências e contingente populacional nesta área compreendida entre o sítio urbano e o arroio, a relativa consolidação de algumas edificações e recente remoção das mesmas. Podemos observar a partir do compilado de imagens orbitais (Figura 63) que em 2013 (a), anteriormente a construção da via, temos baixa densidade ou inexistência de adensamento na área em destaque. Em sequência, no ano de 2016 (b), temos a presença de um adensamento significativo de residências irregulares e de baixo padrão na área, o que persiste em 2017 (c). No entanto no ano de 2018 verificamos a diminuição do adensamento e são observados resquícios de demolição de residências na área.

Figura 63 - Mapeamento de risco de inundação - Processo Regalado montante.



Org.: Menezes (2018).

Isto tem recondicionado as áreas de risco, sendo que, ao mesmo tempo em que a via tende a isolar o arroio, as porções mais baixas apresentam acúmulo d'água nas áreas que caracterizam a planície de inundação, em função da pouca estrutura de drenagem e escoamento ao longo da via (Figura 64 b) redimensionando o perigo, realocações e novas ocupações, que reestabelecem também a vulnerabilidade na área.

Figura 64 - Arroio Caverá (a) e aterros junto à margem esquerda do arroio (b).



Org.: Menezes (2018).

Portanto, para uma grande parcela da área urbana se estabelece uma condição de risco com grande dinamismo, tendo em vista que elementos internos do sistema social e que reduzem a vulnerabilidade podem ser considerados como operantes, de forma independente aos eventos naturais. Assim, os elementos externos à população (probabilidade de ocorrência) tendem a diminuir e, consequentemente, o perigo.

Da mesma forma, o processo de ocupação desordenado e intervenções, podem ser observados nas áreas de risco de toda área urbana de Alegrete, sendo estas submetidas constantemente a transformações espaciais. Então, mesmo as áreas suscetíveis a processos naturais e às consequências dos mesmos, onde a dinâmica das inundações é mais prontamente estimada e é possível inferir probabilidades e danos, o risco apresenta-se sujeito a dinamismos e não é imutável. Portanto, a análise espaço-temporal aqui exposta, a representação do status atual do risco.

Deste modo e tendo em vista o diagnóstico e abordagens aqui realizados, considera-se indissociável a relação estabelecida entre a área urbana de Alegrete e as inundações que ocorrem em seu território. Isto se dá por elementos naturais, que lhe caracterizam a suscetibilidade, ou históricos e sociais, que configuraram a ocupação do espaço no passado e que estabelecem as relações que a configuram atualmente. Esta coexistência entre inundações e ocupação é expressa na

valoração do risco, determinada aqui, pelas relações entre risco, suscetibilidade, perigo e vulnerabilidade e, que apontou um panorama formado por uma significativa área inundável, um grande número de edificações e população afetadas, a partir de diferentes circunstâncias de tempo, abrangência espacial e características intrínsecas a estes elementos expostos.

Nesta perspectiva, emerge como um desafio diminuir o risco de inundação na área urbana de Alegrete. Neste ponto conhece-lo é o que permite primeiramente mitigar a probabilidade ou seus impactos. Por meio desta análise é que podem ser formuladas respostas ao risco, que podem variar entre reduzir, evitar, ou aceitar o risco de inundação, incluindo-se qualquer processo, política, dispositivo, prática ou outras ações e medidas que possam ser adotados com o objetivo de modificar os riscos aqui estabelecidos.

6 CONCLUSÕES

A temática do risco cada vez mais se constitui em uma área em voga vista à interface com as demais áreas do conhecimento, no campo das Geociências e ciências sociais, e dentre elas, também a Geografia. Estas áreas tem em comum o fato de que buscam reforçar o debate dos processos que ocasionam os perigos e da(s) vulnerabilidade(s) das populações atingidas. Ao acercar-se da análise dos riscos, a Geografia se apropria também de conceitos e metodologias destas áreas do conhecimento, tendo em vista a sua própria abordagem.

Nesta pesquisa foram analisadas variadas metodologias aplicadas em recortes espaciais específicos, as quais vêm sendo utilizadas para avaliar áreas de risco com diferentes abordagens. Avaliar e quantificar os riscos não constituem implicações simples, ao passo que determinar e contemplar as variáveis que correspondem e interferem de forma mais direta na configuração ao risco envolve complexidade. Por isso é relevante deixar claro a importância que o conhecimento empírico da área de estudo representa. Assim, no intuito de identificar e categorizar as áreas de risco foi apresentado aqui uma proposta de quantificação do risco a partir de dados linimétricos, coletas de campo e variáveis secundárias de vulnerabilidade, tendo como recorte a área urbana de Alegrete.

Estes subsídios apontaram aproximadamente 30% da área urbana como suscetível a inundações. Todavia, as atividades realizadas em Alegrete, apontaram um município ciente dos processos estabelecidos em seu território, caracterizando-se por inundações recorrentes e quase nenhuma medida estrutural junto ao rio Ibirapuitã e cuja identificação e caracterização das áreas atingidas ainda são frágeis.

Essa característica intrínseca à área de estudo foi considerada no momento em que se estabeleceram roteiros metodológicos, execução de atividades de campo realizadas assim como na análise dos resultados, onde se exigiram compilações de uma série de elementos referentes a particularidades das áreas afetadas, fundamental para se estabelecer o risco.

No que diz respeito à adoção da série histórica, o critério adotado objetiva reforçar a capacidade de determinação do tempo de retorno, mais do que perseguir algum modelo preconcebido, sendo que o ajuste ao modelo de *Weibull* pode ser considerado satisfatório, tendo em vista a análise de frequência. Sob esse prisma, procede-se à escolha das séries de cotas diárias e posteriormente máximas anuais.

O maior problema consistiu no fato de que as séries, no Brasil, apresentam mudanças metodológicas em suas respectivas coletas e seguidamente inconsistências. No caso da área urbana de Alegrete a série existe desde 1940 e foi descontinuada em alguns períodos de inundações ou que indicam a presença dessas. A quantidade significativa de anos, de 1941 a 2014 e o tratamento diante às falhas diminuiu estes efeitos, embora se tenha trabalhado com eventos extremos.

A partir dos dados das estações fluviométricas disponíveis no rio Ibirapuitã foi possível compor uma série com 74 anos de registros máximos, dos quais 64 anos foram observadas inundações, ou o registro de cota acima de 840mm. Os resultados alertam para a necessidade de monitoramento do rio de forma periódica e principalmente das cotas máximas para compreensão da evolução das probabilidades e riscos associados.

Pertinente a qualquer análise feita a partir deste levantamento, há de se considerar as diferentes metodologias, graus de detalhamento, entre outros elementos que compõem a fonte que permitiram o mesmo. Tal fato dificultou estabelecer e organizar tipologias e descrições talvez mais precisas quanto a ocorrência destes eventos adversos associados à dinâmica fluvial. Então, não se exclui que o registro de eventos adversos possa ser maior que o aqui exposto, em função das condições anteriormente referidas e ainda em função da extensa série temporal que compõem a pesquisa. Todavia, esta condição não o torna menos funcional, principalmente se considerarmos os últimos registros, que expressam o panorama atual quanto à figuração de áreas inundáveis de Alegrete.

Destaca-se, ainda, que a inundação de maior magnitude que se tem registro na série ocorreu no ano de 1959, onde grande parte da cidade ficou inundada. As inundações de 1959 e 2015 são semelhantes, quanto à magnitude e provavelmente frequência, embora esta última não tenha entrado na série, foi importante para calibrar o modelo. A inclusão do ano de 2015 na análise da série de inundações configurou-se como uma opção após uma grande inundação no mês de dezembro. Em contraponto, as informações da régua linimétrica não foram alocadas no novo portal da Agência Nacional das Águas (ANA) e isto, de fato, inviabilizou analisar em conjunto com os dados coletados junto ao sistema, sob pena da interferência significativa nas análises estatísticas e/ou espaciais.

Esta constatação vai ao encontro de que a avaliação de dados históricos tem como finalidade auxiliar na tomada de decisões com base nos resultados das

análises estatísticas, nos riscos que necessitam de tratamento e na prioridade para a implementação de ações. A documentação dessa etapa geralmente integra o registro das inundações. Da mesma forma, o monitoramento é parte integrante e uma das etapas mais importantes e essencial da gestão de riscos, cuja finalidade é detectar mudanças nos critérios de risco, suas prioridades e levar à identificação de riscos emergentes e em tempo real. Para tais demandas, monitoramento e registro, deve ser considerada a instalação de novas estações ao longo do rio Ibirapuitã.

Deve-se ter em vista sua bacia hidrográfica e abrangências espaciais e temporais na configuração de uma rede que permita explicar e monitorar o processo de forma mais ampla. Uma boa prática para apoiar o processo de avaliação de riscos é estabelecer critérios para priorização e tratamento onde quaisquer alterações que minimizem a vulnerabilidade minimizam os danos e, consequentemente, os riscos, como a presença de medidas de alerta junto à população afetada.

A identificação do risco se destaca como uma importante ferramenta, embasada no reconhecimento dos aspectos físico-ambientais e de uso e ocupação das áreas afetadas. Nesse sentido, a área em estudo apresenta um vasto histórico de eventos de inundações com registros que datam de antes da metade do século passado. O mapeamento e avaliação do risco de inundação na área em estudo denota que, em grande parte, este está associado às ocupações que são fruto da expansão urbana em uma área suscetível. A população localizada nas áreas mais vulneráveis enfrenta os maiores impactos, principalmente em função da localização às margens do Ibirapuitã e arroios e da vulnerabilidade habitacional. As várias inundações ocorridas têm demonstrado situações de interferência de normalidade com remoção da população de suas residências, perdas materiais, dificuldades de acesso e interrupção de serviços.

Nota-se também que parcela da população em alto risco de inundação se depara com alguns obstáculos, principalmente no que se refere ao local de moradia, que geralmente se situa em zonas periféricas, de baixo valor imobiliário ou até mesmo áreas ocupadas irregularmente. Quando a população é de baixa renda ou está vinculada a maior informalidade, menores são as condições de infraestrutura presentes e, portanto, maior a vulnerabilidade aos processos.

Considerando-se uma estratégia mais objetiva, deve-se impedir o surgimento de novas edificações em situação de risco. Isto envolve a adoção de uma ou mais

opções para modificar o nível do risco (a probabilidade ou exposição). Tendo em vista que a diminuição dos perigos (probabilidades e severidade) não é simples, é necessária intervenção no sentido de barrar o avanço de ocupações nestas áreas inseguras.

Tal constatação demanda ao poder público a adoção de medidas que visem mitigar os prejuízos e perdas que estes eventos possam ocasionar, onde o levantamento destas questões deve instigar as medidas que visem atenuar este panorama, como também promover a recuperação ou o melhor aproveitamento destas áreas e evitar que novos aglomerados de risco se formem.

Deve-se considerar a possibilidade de que novas habitações sejam introduzidas nas amplitudes das áreas de risco, em áreas de riscos severos (com grande perigo) e também raros (com probabilidade muito baixa). Neste sentido o reconhecimento das áreas suscetíveis a inundações figurou uma tarefa importante e realizada de modo satisfatório, tendo em vista a escala de análise e metodologia proposta. Destaca-se também, que as áreas suscetíveis são bastante significativas na área de estudo, sendo que na mesma, a interferência antrópica tem de ser um elemento chave a ser considerado sob a perspectiva de novos condicionamentos que algumas áreas possam apresentar.

Em aderência a isto, para que as inundações em Alegrete sejam menos impactantes, torna-se necessário desenvolver estratégias de gerenciamento das áreas onde o risco está consolidado. O monitoramento das áreas cartografadas como inseguras também é fundamental para determinar se o risco e ou sua magnitude é aceitável ou se alguma ação é exigida. Para isso, se faz uso da compreensão e do nível do risco obtido na etapa de análise de riscos para tomar decisões, em especial se um determinado risco precisa de prioridade e se uma determinada atividade deve ser realizada, reduzida ou descontinuada.

O risco de inundação, conforme hierarquizado, permitiu estabelecer que muitos dos problemas demandam a adoção de medidas estruturais, como a remoção de famílias, a construção de diques de proteção ou ainda novas intervenções intensivas junto aos canais. Nas edificações onde foi classificado como risco muito alto, a vulnerabilidade figurou um elemento marcante sob o aspecto do pouco ordenamento do espaço, padrão das residências e renda da população, além do perigo que estão expostos, sendo que nestas áreas a realocação de famílias é

necessária, tendo em vista que o poder público tem buscado a implantação de moradias populares.

Nas classes de risco alto e médio, devem ser considerados os diferentes graus de perigo que as diferenciam, ao longo dos trechos e processos, principalmente. Em situações de risco alto, necessita-se mitigar ao máximo os danos causados ou estabelecer medidas semelhantes às sugeridas nas de alto risco. Merecem atenção as áreas abaixo da cota de 79,2 metros, cujo tempo de retorno das inundações é de 5 anos e em torno de 500 pessoas são afetadas. No risco médio deve-se estabelecer estratégias que visem a diminuição da vulnerabilidade quanto a inundações, tendo em vista que esta classe representa uma porção significativa do contingente afetado e residências. Onde o perigo caracteriza inundações periódicas, deve-se adotar medidas estruturais e também informativas junto à população que habita estas áreas, considerando o monitoramento do rio Ibirapuitã, principalmente.

Nas áreas assinaladas como moderado e baixo grau de risco de inundação, conforme a metodologia proposta, deve-se considerar medidas preventivas e de planejamento para as áreas onde não há registros significativos. Para as áreas que caracterizam problemas, a adoção de medidas estruturais como a readequação de obras ou adaptação das residências, pode minimizar significativamente os danos, tendo em vista que embora menos frequentes e com menor vulnerabilidade, estas áreas apresentam características que as associam a ocorrência de inundações.

Neste sentido, haja vista o que existe como diretriz em relação à cota altimétrica de 82 metros, deve-se estabelecer e considerar cotas de inundação para toda área sujeita a inundação, na construção de novas edificações e projetos de expansão urbana. Devem ser considerados ainda os processos que são associados, em função das intervenções no arroio Regalado, muito provavelmente na dinâmica das inundações das porções oeste e norte da área urbana.

A cartografia aqui apresentada é de nível básico e de semidetalhe e está fundamentada em fatores naturais e sociais espacializáveis, obtidos por meio de compilação e tratamento de dados secundários e de trabalhos em campo. As áreas indicadas apontam áreas de predominância quanto ao processo analisado. A classificação relativa em classes aponta áreas onde a propensão ao processo ou peso da variável analisada é maior ou menor em comparação às outras.

Na área urbanizada a transição entre as classes tende a se apresentar de modo mais gradual, podendo existir situações distintas cuja identificação não é possível, devido à escala adotada. Destaca-se que a coleta de dados de campo na área de estudo, com equipamentos de medição altimétrica, visou qualificar a obtenção da modelagem do terreno. Da mesma forma, todas as mudanças que ocorrem no espaço urbano e em curto espaço de tempo, também devem ser consideradas em possíveis atualizações das informações aqui expostas.

A estimativa da vulnerabilidade, por meio das variáveis secundárias utilizadas, proporcionou resultado satisfatório, embora os recortes dos setores censitários do IBGE (2010) não atendam a este fim específico e principalmente nas áreas cuja localização do risco e da vulnerabilidade são concentrados em uma parte deste setor ou compreendem áreas e aglomerados subnormais não identificados. O mesmo se deu no cenário do contingente atingido por inundações, onde a estimativa do contingente afetado se deu por meio da variável “média de moradores por domicílio”, permitindo estimar a população atingida em diferentes tempos de retorno, classes de vulnerabilidade e risco.

Informações e dados obtidos junto à Prefeitura Municipal de Alegrete e do banco de dados “Geoalegrete” foram utilizados parcialmente não sendo disponibilizados em totalidade para a presente pesquisa. Readequações metodológicas e que não comprometeram o tempo e a qualidade da pesquisa, tais como a utilização das fontes secundárias e levantamentos de campo, atenderam à demanda.

Os resultados da pesquisa verificam que os eventos associados à dinâmica fluvial são bastante significativos na área estudada. Tal constatação demanda aos órgãos competentes a adoção de medidas que visem mitigar os prejuízos que estes eventos possam ocasionar. Da mesma maneira, mostram a fragilidade do poder público em ações ligadas ao processo da diminuição da vulnerabilidade social e da ocupação de áreas sujeitas aos processos responsáveis pela ocorrência das inundações, em especial no que compreende onde o risco está consolidado.

Por fim, surge como desafio hoje congregar esforços de toda a sociedade, em particular das instituições públicas, para apoiar os municípios para o desenvolvimento de políticas bem sucedidas e auxiliá-los a implantar estruturas permanentes de prevenção de riscos. Uma diretriz da gestão de riscos é que ela deve ser feita de acordo, alinhada e em contexto com o seu perfil de riscos. Em

qualquer situação, é importante que as estratégias se apoiem em modelos de análise como os apresentados neste trabalho.

No entanto, a mitigação dos riscos, assim como a sua gestão, compreende todas as atividades que fazem parte de todos os processos organizacionais, incluindo o planejamento estratégico, os projetos e ações em todos os níveis de gestão. Essas estratégias dependem de uma estrutura política estabelecida através da gestão administrativa. Em perspectiva de diminuição das vulnerabilidades, estratégias econômicas para a “fronteira oeste do Rio Grande do Sul”, região que é de maneira geral empobrecida e marcada pela concentração de renda, podem diminuir a vulnerabilidade socioeconômica da população, alterando a exposição, o risco e até o seu contingente afetado.

Neste sentido as instituições de ensino superior apresentam-se como alternativas viáveis para o desenvolvimento de conhecimento a respeito das áreas de risco, podendo contribuir nas mais variadas esferas, desde a identificação das áreas plausíveis de ocorrência dos processos ou afetadas, até o apontamento de metodologias que estabeleçam diagnóstico e até encaminhamentos que auxiliem soluções e mitigações para o problema. Deste modo, a disponibilização de informações e dados obtidos e gerados a partir da presente pesquisa, para os órgãos públicos que atuam diretamente nas áreas afetadas, deverá compor atividade complementar, somando à finalidade de contribuir sob ponto de vista teórico e metodológico na abordagem das inundações.

REFERÊNCIAS

- ABREU, F.G. **Análise da influência da distribuição temporal das chuvas intensas e de cenários de uso e ocupação do solo na quantificação dos prejuízos econômicos diretos provocados pelas inundações urbanas.** 2011. 162p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- ACSELRAD, H. Vulnerabilidade ambiental, processos e relações. In: **Comunicação ao II Encontro Nacional de Produtores e Usuários de Informações Sociais, Econômicas e Territoriais.** Rio de Janeiro: FIBGE, 2006. Disponível em: <<http://www.justicaambiental.org.br/projetos/clientes/noar/noar/UserFiles/17/File/VulnerabilidadeAmbProcRelAcsehrad.pdf>>. Acesso em: 04 de mai. 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Dados hidrológicos: estações pluviométricas.** Brasília: ANA, 2009. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 15 abr. 2009.
- _____. **Orientações para consistência de dados pluviométricos / Agência Nacional de Águas;** Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica; Brasília: ANA, SGH, 2012. 21p.
- ALLAN, R. N.; BILLINTON, R.. **Reliability Evaluation of Engineering Systems: concepts and techniques.** 2 ed. New York: Plenum Press, 1992. 453 p.
- ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, Natural Hazards, Vulnerability and Prevention of Natural Disasters in Developing Countries. **Geomorphology**, v. 47, n. 2-4, p. 107-124, 2002.
- ALVES, H. P. F.; ALVES, C. D.; PEREIRA, M. N.; MONTEIRO, A. M. V. Dinâmicas de urbanização na hiperperiferia da metrópole de São Paulo: análise dos processos de expansão urbana e das situações de vulnerabilidade socioambiental em escala intraurbana. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 27, p. 141-159, jan./jun. 2010.
- AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. :Inundação e Enchentes. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs.). **Desastres Naturais:** conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. p. 39-52
- AMARAL, R. GUTJAHR, M. R. **Desastres Naturais.** 2 ed. São Paulo: IG/SMA, 2012.
- ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística.** 2º reimpressão. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2013.
- ANTUNES. T. Os desastres naturais e as alterações climáticas – em especial, a resposta do ordenamento jurídico aos fenómenos meteorológicos extremos, in Carla Amado Gomes / Rute Gil Saraiva (Coord.), **Atas do colóquio Catástrofes Naturais: uma realidade multidimensional**, ICJP – Lisboa. 24 Outubro 2014.

AQUINO, C. M. S. de; VALLADARES, G. S. Geografia, Geotecnologias e Planejamento Ambiental. **Geografia (Londrina)**, v. 22, n.1, p. 117-138, jan/abr. 2013.

ÁVILA, L. O. **Vulnerabilidade das áreas sob ameaça de desastres naturais na cidade de Santa Maria/RS**. 2015. 253p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

BALBI, D. A. F. **Metodologias para a Elaboração de Planos de Ações Emergenciais para Inundações Induzidas por Barragens. Estudo de Caso: Barragem de Peti-MG**. 2008. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

BARROS, M. V. F.; MENDES, C; CASTRO, P. H. M. Vulnerabilidade socioambiental à inundação na área urbana de Londrina - PR. **Confins**, n. 24, 2015.

BECK, U. **Risk society: towards a new modernity**. (trad. Mark Ritter) London: Sage, 1992. 260p.

BERTÊ, A. M. A. Problemas ambientais no Rio Grande do Sul. In: VERDUM, R.; BASSO, L. A.; SUERTEGARAY, D. M. A. (Orgs.). **Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004. p. 71- 83.

BERTÊ, A. M. A.; LEMOS, B. O.; TESTA, G.; ZANELLA, M. A. R.; OLIVEIRA, S.B. Perfil Socioeconômico - COREDE Fronteira Oeste. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, n. 26, p. 296-335, fev. 2016.

BERTONE, P.; MARINHO, C. **Gestão de riscos e resposta a desastres naturais: a visão do planejamento**. In: VI Congresso Consad – Trabalhos Apresentados. Centro de Convenções Ulysses Guimarães. Brasília/DF. 16, 17 e 18 de abril de 2013. 24 p.

BOTELHO, R. G. M. Bacias Hidrográficas Urbanas. In: GUERRA, A. J. T. (Org.) **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand, 2004.

BLAIKIE, P.; CANNON, T.; DAVIS, I.; WISNER, B. **At Risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters**. Routledge, 1994. 284 p.

BRASIL. **Código Florestal**. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012.

BRASIL. **Lei 12.608, de 12 de abril de 2012**. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 27 mai. 2013.

BRASIL. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE. Divisão de Controle de Recursos Hídricos - DCRH. **Sistemática para Análise de Consistência e Homogeneização de Dados Pluviométricos**. Brasília, 1984.

BRASIL. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Organizado por Celso

Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura. Brasília: Ministério das Cidades, 2007. 176 p.

BRASIL. Ministério Das Cidades. **Treinamento de técnicos municipais para o mapeamento e gerenciamento de áreas urbanas com risco de escorregamentos, enchentes e inundações.** Ministério das Cidades: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Apostila de treinamento, 2004. 73p. 2004

BRASIL. Ministério Da Integração Nacional. Secretaria Nacional De Defesa Civil. Universidade Federal De Santa Catarina. Centro Universitário De Estudos E Pesquisas Sobre Desastres. **Comunicação de riscos e de desastres. Curso a distância.** Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis: CEPED, 2010. 183 p.

BRITO, M. M.; FIN, J.; PAULETTI, C.; PASSUELLO, A.; SILVA FILHO, L. C. P. Análise espaço-temporal das ocorrências de inundações no Estado do Rio Grande do Sul. In: 26º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2011, Porto Alegre/RS. **Anais...** Porto Alegre: CBESA, 2011.

BRUBACHER, J. P.; OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A.; ALVES, R. C. M. Análise espacial e temporal de eventos extremos de precipitação e limiares para a ocorrência de desastres na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS. In: GUASSELLI, L. A.; OLIVEIRA, G. G. de; ALVES, R. C. M. (Orgs.). **Eventos extremos no rio grande do sul: inundações e movimentos de massa.** 1ed. Porto Alegre: Evangraf, 2013. p. 43-58

BUARQUE, D. C.; PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W. Extração automática de parâmetros físicos de bacias hidrográficas a partir do MNT para utilização em modelos hidrológicos. In: SIMPÓSIO SUL-SUDESTE DE RECURSOS HÍDRICOS, 2008, Rio de Janeiro/RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: ABRH, 2008.

BURTON, I. R. W.; KATES, G. F. ; WHITE, G. **The Environment as Hazard.** New York: Guilford Press, 1993. 290 p.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica.** 5 ed. São Paulo: Saraiva, 2003. 526 p.

CAMAPUM DE CARVALHO, J.; Gestão de riscos em encostas: implicações geotécnicas da ocupação e uso do solo e sua relação com a educação ambiental, com as limitações das normas técnicas e com a falta de efetividade das normas administrativas e jurídicas. In: LACERDA, W. A.; PALMEIRA, E. M.; COELHO NETTO, A. L.; EHRLICH, M. (Orgs.). **Desastres Naturais: susceptibilidade e riscos, mitigação e prevenção, gestão e ações emergenciais.** 1 ed. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2012. p. 179-188.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302 p.

CARDONA, O. D. A. La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. In: INTERNATIONAL WORKCONFERENCE ON

VULNERABILITY IN DESASTER THEORY AND PRACTICE, 2001, Wageningen (Holanda). **Annals...** Wageningen: University and Research Centre, 2001.

CASTRO, A. L. C. **Glossário de defesa civil, estudo de riscos e medicina de desastres**. 2 ed. Brasília: Ministério do Planejamento e orçamento, 1998.

CARVALHO, C. S.; GALVÃO, T. (Orgs.). **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas**: Guia para Elaboração de Políticas Municipais. Brasília: Ministério das Cidades, Cities Alliance, 2006.

_____. **Manual de desastres**: desastres naturais. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. 174 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1990. 188p.

_____. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1999. 236p.

CATALUNHA, M. J.; SEDIYAMA, G. C.; LEAL, B. G.; SOARES, C. P.; RIBEIRO, A. B. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n.1, p. 153-162, 2002.

COPSTEIN, G. Estrutura urbana de Alegrete. **Boletim Gaúcho de Geografia**, Porto Alegre, v. 8, p. 3-32, 1980.

CORREIA, F. N.; SILVA, M. G.; RAMOS, I. Floodplain management in urban developing areas part I: urban growth scenarios and land-use controls. **Water Resources Management**, v. 13, n. 1, p. 1-22, 1999.

CORREIA DA SILVA, M. O papel da protecção civil na prevenção e mitigação de catástrofes naturais em Portugal. In: GOMES, C. A.; SARAIVA, R. G. (Coords.). **Atas do colóquio Catástrofes Naturais: uma realidade multidimensional**. Lisboa: ICJP, 2014.

COREL CORPORATION. **CorelDRAW® X5**. Disponível em: <<http://www.corel.com/pt-br/>>. Acesso em: 15 set. 2014.

COUTINHO, R. Q.; BANDEIRA, A. P. N. Processos de Instabilização de Encostas e Avaliação do Grau de Risco: Estudo de Casos nas Cidades de Recife e Camaragibe. In: LACERDA, W. A.; PALMEIRA, E. M.; COELHO NETTO, A. L. EHRlich, M. (Orgs) **Desastres Naturais: susceptibilidade e riscos, mitigação e prevenção, gestão e ações emergenciais**. 1ed. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2012. p. 41-61.

CRISTO, S. S. V. de; **Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados às enchentes e deslizamentos do setor leste da bacia hidrográfica do rio Itacorubi**. 2002. 195 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

CUNHA, L.; LEAL, C. Natureza e sociedade no estudo dos riscos naturais. Exemplos de aplicação ao ordenamento do território no município de Torres Novas (Portugal). In: PASSOS, M. M.; CUNHA, L.; JACINTO, R. (Orgs.). **As novas geografias dos países de língua portuguesa: Paisagens territórios e políticas no Brasil e em Portugal**, Geografia em Movimento. São Paulo, 2011. p. 47-66.

CUTTER, S. et al. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. **Global Environmental Change**, n. 18, p. 598-606, 2008.

DAMASCO, F. S.; FURTADO, F. T.; BENTO-GONÇALVES, A. J. Risco de inundação em áreas rurais: bacia do rio Luís Alves (SC). **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 18, n. 1, jan./abr. 2014.

DEFESA CIVIL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Disponível em: <<http://www.defesacivil.rs.gov.br/>>. Acesso em: 11 jun. 2014.

EIRD. **Glosario de la Estrategia**. [S.l]. Disponível em: <<http://www.eird.org/esp/terminologiaesp.htm>>. Acesso em: 26 nov. 2014.

ECKHARDT, R. R. **Geração de modelo cartográfico aplicado ao mapeamento das áreas sujeitas às inundações urbanas na cidade de Lajeado/RS**. 2008. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

ELESBON, A. A. E.; GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D. da; OLIVEIRA, I. C; Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Braço Norte do Rio São Mateus - Brasil. REM. **Revista Escola de Minas**, v. 64, p. 281-288, 2011.

Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Desktop help**. Redlands, 2012. Disponível em: <<http://resources.arcgis.com>>. Acesso em: 11 jun. 2015.

Environmental Systems Research Institute. **What is Arc GIS?** Disponível em: <www.esri.com>. Acesso em: 11 jun. 2015.

ETXEBERRÍA R. P.; EDESO F. J. M.; BRAZAOLA R. A. Metodología para crear mapas de peligros naturales en Guipúzcoa utilizando SIG. **GeoFocus (Artículos)**, n. 5, p. 250-267, 2005.

EXÉRCITO BRASILEIRO. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV)**. 2 ed. Editoração e impressão pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, 2011.

FELGUEIRAS, C. A. Modelagem Numérica de Terreno. In: **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/livros.html>>. Acesso em: 11 mai. de 2015.

FERREIRA, J. F. **Geoprocessamento como Ferramenta na gestão pública municipal**. 2010. Relatório de estágio (Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

FERREIRA, R. S. **Estudo dos controles morfométricos a feições erosivas na bacia hidrográfica do ribeirão da Contagem/DF**. 2013. 83 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. et al. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelos de previsão de áreas suscetíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 2, n. 1, p 51-71, 2001.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de Massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia e meio ambiente**. 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. p. 123-194.

FIGUEIREDO, E.; VALENTE, S.; COELHO, C.; PINHO, L. Conviver com o Risco: A importância da incorporação da percepção social nos mecanismos de gestão do risco de cheia no concelho de Águeda. IN: VIII CONGRESSO LUSO-AFRO-BRASILEIRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS: A QUESTÃO SOCIAL NO NOVO MILÊNIO, 2004, Coimbra/Portugal. **Anais...** Coimbra, 2004.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.

FLORES, A. R. (Org.) **Actores y roles en la gestión de riesgos**. Asunción: Arte Nuevo. 2006. 114 p.

GERARDI, L. H. de O.; SILVA, B. C. N. **Quantificação em Geografia**. São Paulo: DIFEL, 1981.

GUIRAO, Â. C.; FONSECA, M. F.; CASTELLANO, M. S. Problemática das inundações e sua relação com a situação das áreas de preservação permanente: visão do poder público e o uso de geoprocessamento. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 24, p. 151-168, 2012.

GONÇALVES, C. W. P. Formação Sócio-Espacial e a Questão Ambiental no Brasil. In: BECKER, B.; CHRISTOFOLETTI, A.; GEIGER, P. (Orgs.). **Geografia e Meio Ambiente no Brasil**. São Paulo/Rio de Janeiro: HUCITEC, 1995. p. 309-333.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; PELLERIN, J. R. G. M. Proposta Metodológica para Mapeamento de Áreas de Risco a Inundação: Estudo de Caso do Município de rio Negrinho - SC. **Boletim Geográfico de Maringá**, v. 30, n. 1, p. 81-100, 2012.

HASENACK, H.; WEBER, E. **Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul**. Série Geoprocessamento, Porto Alegre: Centro de Ecologia da UFRGS, 2010. 1 DVD.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

_____. **Malha Municipal do ano de 2010.** Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>>. Acesso em: 12 jun. 2014.

_____. **Cidades@ - Município de Alegrete.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br.br/>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

JENSON S. K.; DOMINGUE, J. O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, n. 11, p. 593-600, 19 88.

JULIÃO, R. P.; NERY, F.; RIBEIRO, J. L.; BRANCO, M. C.; ZÊZERE, J. L. **Guia Metodológico para Produção de Cartografia Municipal de Risco e para Criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base Municipal.** Porto/Portugal: Autoridade Nacional de Proteção Civil, 2009.

KOBIYAMA, M. (Org.). **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos.** Curitiba: Editora Organic Trading, 2006. 109p.

KOLMOGOROV, A. N. **Foundations of the Theory of Probability.** 2. ed. New York: Chelsea Publishing Company, 1956. 84p. Original publicado em 1933 em alemão como “Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitrechnung”. Disponível em <<http://www.kolmogorov.com/Foundations.html>>. Acesso em: 04 mai. 2017.

KORMANN, T. C.; ROBAINA, L. E. S.; SCHIRMER, G. J. Mapeamento do risco de inundação na área urbana de Alegrete - RS. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 13, 2011. San Juan/Costa Rica. **Anais...** San Juan, 2011.

KUHNEN, A. Meio ambiente e Vulnerabilidade: a percepção ambiental de risco e o comportamento humano. **Geografia**, Londrina, v. 18, n. 2, p.37-52, 2009.

KUSKY, T. M. **Floods: hazards of surface and groundwater systems.** The hazardous Earth, 2008.144p.

LAVELL, A. Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de uma agenda de investigación. In: FERNÁNDEZ, M. A. **Ciudades en riesgo. Degradación ambiental, riegos urbanos e desastres en América Latina.** Disponível em: <<http://www.lared.org.pe>>. Acesso em: 22 mai. 2015.

LIMA, L. M. M. **Mapeamento da suscetibilidade à inundação na bacia hidrográfica do Arroio do Salso, Porto Alegre-RS.** 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

LISTO, F. L.; CARVALHO, B. V. Mapping of risk and susceptibility of shallow-landslide in the city of São Paulo, Brazil. **Geomorphology**, 2012.

LOURENÇO, L. **Risco, perigo e crise. Trilogia de base na definição de um modelo conceptual operacional. Realidades e desafios na gestão dos riscos. Diálogo entre ciência e utilizadores.** Coimbra, p. 61-74, 2014.

LUIZ, S.; SANTOS, A. R. S.; BRENNER, T. L. Geração de Modelo Digital de Elevação a partir de Imagens Reference Stereo do Satélite IKONOS. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis/SC. Anais... Florianópolis/SC: INPE, 2007.

MACHADO, M. L. et al. Curvas de danos de inundação versus profundidade de submersão: desenvolvimento de metodologia. **Revista de Gestão da Água na América Latina**. Santiago: GWP South America, v. 2, n. 1, p. 35-52, 2005.

MACÍAS, J. D. (Org). **Desastres naturales. Aspectos sociales para suprevención y tratamiento en México**. México: Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, 1996, 293 p.

MAFFRA, C. Q. T.; MAZZOLA, M. As razões dos desastres em território brasileiro. In: SANTOS, R. F. dos. (Org.). **Vulnerabilidade Ambiental. Desastres Naturais ou Fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007. p. 9-12.

MARANDOLA JR., E. Uma ontologia geográfica dos riscos: duas escalas, três dimensões. **Geografia**, Rio Claro, v. 29, n. 3, set./dez., 2004. p. 315-338.

MARANDOLA JR., E. HOGAN, D. J. Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 7, n. 2, p. 95-109, jul./dez., 2004.

_____. Vulnerabilidades e riscos: entre geografia e demografia. **Revista Brasileira de Estudos da População**. São Paulo, v. 22, n. 1, p. 29-53, 2005.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos básicos**. Santa Maria: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008. 20 p.

MATTEDI, A.; BUTZKE, I. A Relação entre o social e o natural nas abordagens de hazards e de desastres. **Revista Ambiente & Sociedade**, n. 9, p. 1-22, 2001.

MEDEIROS L. C.; FERREIRA N. C.; FERREIRA L. G. Avaliação de modelos digitais de elevação para delimitação automática de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, p. 61, v. 2, p. 137-151, 2009.

MENDONÇA, M. Una geografía de los desastres naturales en el centro sur del Brasil. In: BOCCO, G.; URQUIJO, P. S.; VIEYRA, A. (Eds.). **Geografia y Ambiente en America Latina**. Morelia, Mexico: Centro de Investigaciones en Geografia Ambiental, 2011. 355 p.

MENEZES, D. J.; SCCOTI, A. A. V. Inventário de registro de inundações no estado do Rio Grande do Sul entre 1980 e 2010. In: ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. (Orgs.). **Desastres Naturais no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2013. p. 163-179.

MENEZES, D. J. **Zoneamento das áreas de risco de inundação na área urbana de Santa Cruz do Sul - RS**. 2014. 137p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

MONTEIRO, J. B.; PINHEIRO, D. R. de C. O desastre natural como fenômeno induzido pela sociedade: abordagens teóricas e metodológicas operacionais para a identificação/mitigação de desastres naturais. **Revista de Geografia**, v.2, n. 1, 2012.

MOREIRA, A. R. F. L. Problemática habitacional del Paraguay: Necesidad de cambio en el cambio. **Centro-h, Revista de la Organización Latinoamericana y del Caribe de Centros Históricos**, n. 3, p. 37-46, 2009.

MORI, K; PERRINGS, C. Optimal management of the flood risks of floodplain development. **Science Of The Total Environment**, v. 431, p.109-121, 2012.

NAMIKAWA, L. M.; FELGUEIRAS, C. A.; MURA, J. C.; ROSIM, S.; LOPES, E. S. S. **Modelagem numérica de terreno e aplicações**. São José dos Campos: Deposited in the URLib collection, 2003. 158p.

NOGUEIRA, F. R. **Políticas públicas municipais para gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos em áreas de ocupação subnormal**. 2002. 256f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2002.

NASA. **Shuttle Radar Topography Mission. Mission to Map the World**. Jet Propulsion Laboratory. California Institute of Technology. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em: 15 de jul. 2015.

NUNES, L. H. **Urbanização e Desastres Naturais**. Oficina de textos. São Paulo, 2015.

OFDA/CRED - The Office of Us Foreign Disaster Assistance/Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – Université Chatholique de Louvain - **Anual Disaster Statistical Review 2008** - The numbers and trends, Brussels, Belgium, 2009. Disponível em: <www.emdat.be/Documents/Publications/ADSR_2008.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2015.

OLIVEIRA, G. G. **Modelos para previsão, espacialização e análise das áreas inundáveis na Bacia Hidrográfica do Rio Caí, RS**. 2010. 149p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

OLIVEIRA, G. C. **Precisão de modelos digitais de terreno, mapeamento automático de APPs em topos de morros e a eficácia do novo código florestal**. 2015. Dissertação (Mestrado em Solo e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

OLIVEIRA, G. G; GUASSELLI, L. A.; SALDANHA, D. L. Espacialização das áreas inundáveis em Montenegro, RS. In: GUASSELLI, L. A.; OLIVEIRA, G. G. de; ALVES, R. de C. M. (Orgs.). **Eventos Extremos no Rio Grande do Sul: inundações e movimentos de massa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2013. p. 63-100.

OLIVEIRA JUNIOR, I. **Caracterização Socioespacial do distrito de Passo Novo e do sub-distrito de Guassú Boi em Alegrete - RS, utilizando Sistemas de**

Informações Geográficas - SIG. 2006. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Desastres Naturais e Saúde no Brasil.** Brasília/DF: OPAS, Ministério da Saúde, 2014. 249 p.

PARKER, D. Floodplain development policy in England and Wales. **Applied Geography**, v.15, n. 4, p.341-363, 1995.

PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W.; RISSO, A.; MENDES, C. A. Errors in river lengths derived from raster digital elevation models. **Computers & Geosciences** (in press), 2008.

PNUD. **Relatório do Desenvolvimento Humano 2007/2008 – Combater as mudanças climáticas: solidariedade humana em um mundo dividido.** Nova York: PNUD, 2007. Disponível em: <http://hdr.undp.org/en/media/hdr_20072008_pt_complete.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2016.

PEREIRA FILHO, W. Cartografia e Sensoriamento Remoto na avaliação de dados com abordagem espaço e tempo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, Volume Especial Cartogeo, p. 426-436, 2014.

PIRES, C. A. F.; STRIEDER, A. J.; DAL'ASTA, A. P. **Geoestatística: caderno técnico.** Santa Maria: Editora da UFSM, 2011.

POJASEK, R. Risk Management. **Environmental Quality Management**. v.13, n.3, p. 95-101, 2008.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ALEGRETE. **Plano diretor do município de Alegrete.** Disponível em Acesso em <<http://www.alegrete.rs.gov.br>>: 10 de jan. 2016.

_____. **Histórico do município de Alegrete.** Disponível em <<http://www.alegrete.rs.gov.br>> Acesso em: 10 de jan. 2016.

PRINA, B. Z.; TRENTIN, R. Metodologia para Mapeamento de Áreas Suscetíveis à Inundação: Estudo de Caso para o Município de Jaguari/RS. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA V CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO XXV EXPOSICARTA, 2014, Gramado/RS. **Anais...** Gramado/RS, 2014.

RAMÍREZ, P. E et al. Metodología para crear mapas de peligros naturales em Guipúzcoa utilizando SIG. **GeoFocus (Artículos)**, n. 5, p. 250-267, 2005.

REBELO, F. Um Novo Olhar Sobre os Riscos? O Exemplo das Cheias Rápidas (Flash Floods) em Domínio Mediterrâneo. **Territorium**, v. 15, p. 7-14, 2008.

RECKZIEGEL, B. W. **Levantamento dos Desastres desencadeados por Eventos Naturais Adversos no Estado do Rio Grande do Sul no Período de 1980 a 2005.**

Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; BAZZAN, T.; RECKZIEGEL, E. W.; DE NARDIN, D.; VERDUM, R. Compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Ibicuí, Rio Grande do Sul, Brasil: Proposta de Classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v.11, n. 2, p. 11-23, 2010.

ROBAINA, L. E. S.; SCHIRMER, G. J.; KORMANN, T. C. Zoneamento das inundações na área urbana de Alegrete - Rio Grande do Sul - Brasil. **Geociências**, São Paulo, v. 32, p. 378-387, 2013.

ROBAINA, L. E. de S.; TRENTIN, R. (Orgs.). **Desastres naturais no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2013. 496 p.

ROBAINA, L. E. S. Áreas de risco por processos de dinâmica geomorfológica: Introdução ao tema. In: GUASSELLI, L. A.; OLIVEIRA, G. G. de; ALVES, R. de C. M. (Orgs.). **Eventos Extremos no Rio Grande do Sul: inundações e movimentos de massa**. 1 ed. Porto Alegre, 2013. p. 11-24.

ROSSATO, M. S. **Os Climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. 2011. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SANT'ANNA NETO J. L. Conferência de Abertura: Riscos climáticos no Brasil. In: III CONGRESSO INTERNACIONAL (III INTERNATIONAL CONGRESS) I SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO (I IBERO-AMERICAN SYMPOSIUM) VIII ENCONTRO NACIONAL DE RISCOS (VIII NATIONAL MEETING OF RISKS), 2014, Guimarães/Portugal. **Anais...** Guimarães/Portugal, 2014.

SALGUEIRO, J. H. P. B. **Avaliação de Rede Pluviométrica e Análise de Variabilidade Espacial da Precipitação: Estudo de Caso na Bacia do Rio Ipojuca em Pernambuco**. 2005. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. O índice de anomalia de chuva (IAC) na avaliação das precipitações anuais em Alegrete/RS (1928-2009). **Caminhos de Geografia**. Uberlândia, v. 15, n. 51, p. 73-84, 2014.

SANTORO, J. A atuação do Instituto Geológico no gerenciamento de desastres. In: BROLLO, M. J. (Org.). **O Instituto Geológico na Prevenção de Desastres Naturais**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 100 p.

SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. 5. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.

SANTOS, P. **Análise de Frequência e Regionalização de Vazões Máximas Sazonais na Região Sul do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental – Teoria e Prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.184p.

SARAIVA, R. G. A abordagem comportamental do direito e da economia das catástrofes naturais. In: GOMES, C. A.; SARAIVA, R. G. (Coords.). **Atas do colóquio Catástrofes Naturais: uma realidade multidimensional**. Lisboa: ICJP, 2012.

SAUERESSIG, S. R. **Zoneamento das áreas de risco a inundação da área urbana de Itaqui-RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia e Geociências) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

SAUSEN, T. M.; REIS, J. T. Levantamento e avaliação das Inundações ocorridas no Rio Grande do Sul. In: GUASSELLI, L. A.; OLIVEIRA, G. G. de; ALVES, R. de C. M. (Orgs.). **Eventos Extremos no Rio Grande do Sul: inundações e movimentos de massa**. 1 ed. Porto Alegre, 2013. p. 25-44.

SILVA, E. L. **O Pampa e a APA do Ibirapuitã: Estratégias e ações para a sustentabilidade**. UFSM, 2006. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/ppggeo/files/ebook02/Artigo%202.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

SILVA, A. B. **Sistema de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas: Editora da Unicamp, 2003. 236p.

SILVA, J. X. Geomorfologia e geoprocessamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 393-414.

SILVEIRA, C. T.; FIORI, A. P.; SCHILIPACK, P.; DIAS, S. M. Mapeamento preliminar da suscetibilidade natural a movimentos de massa da serra do mar paranaense apoiado na análise digital do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 1, p. 3-22, 2014.

SMITH, K PETLEY, D.N. **Environmental hazards: Assessing risk and reducing disaster**. Abingdon, Oxon ; New York, NY : Routledge, 2009. 383p.

SÔNEGO, M. J. F. **Cartas de alforria em Alegrete (1832-1886): informações, revelações e estratégias dos escravos para a liberdade**. 2009. Dissertação (Mestrado em História) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

STRAHLER, A. N. Hypsometric– analysis of erosion al topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 10, p.1117-1142, 1952.

TELES, V. M. B. **A (In)consciência dos Riscos Naturais em Meio Urbano. Estudo de Caso: O Risco de Inundação no Concelho de Braga**. 2010. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade do Minho, Guimarães, 2010.

TOMINAGA, L. K. **Avaliação de Metodologias de Análise de Risco a Escorregamentos**: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP. 2007. 220 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs). **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

TRENTIN, R.; BAZZAN, T.; O uso de geotecnologias para análise de áreas de risco e desastres naturais. In: ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. (Orgs.). **Desastres naturais no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2013. p. 131-148.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S.; SILVEIRA, V. S. Zoneamento de risco de inundação do Rio Vacacaí no município de São Gabriel, RS. **Geo UERJ**, v.1, p.161 - 180, 2013.

THIESSEN, A. H. Precipitation Averages for Large Areas. **Monthly Weather Review**, v. 39, p. 1082-1084, 1911.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades – Global Water Partnership - Wolrd Bank – Unesco, 2005.

UFSC-CEPED. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010**: volume Brasil. Florianópolis: CEPED UFSC; 2012.

UFSC-CEPED. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Gestão de recursos federais de Defesa Civil / Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres**. 2 ed. Florianópolis: CEPED UFSC, 2014. 252 p.

UFSC-CEPED. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Capacitação básica em defesa civil**. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. 122 p.

UFSC-CEPED. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Metodologia de avaliação de vulnerabilidade para mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos e inundações: proposta piloto em Santa Catarina**. Florianópolis: CEPED UFSC, 2014. 48p.

VALENTI, E. S.; ROLIM, Silvia Beatriz Alves; ROCHA, R. S.. Modelo cartográfico digital temático para simulação e previsão de inundações no Município de Porto Alegre RS. **Revista Brasileira de Cartografia** (Impresso), v. 64, p. 331-345, 2012.

VALENCIO, N. Da 'área de risco' ao abrigo temporário: uma análise dos conflitos subjacentes a uma territorialidade precária. In: VALENCIO, N.; SIENA, M.; MARCHEZINI, V.; GONÇALVES, J. C. (Orgs.). **Sociologia dos desastres – construção, interfaces e perspectivas no Brasil**. São Carlos :RiMa Editora, 2009. p. 34-47.

VALENCIO, N.; SORIANO, É. Riscos, incertezas e desastres associados às barragens: os riscos referentes à Itaipu binacional. In: VALENCIO, N.; SIENA, M.; MARCHEZINI, V.; GONÇALVES, J. C. (Orgs.). **Sociologia dos desastres – construção, interfaces e perspectivas no Brasil**. São Carlos :RiMa Editora, 2009. p. 146-159.

VERDUM, R. Depressão Periférica e Planalto. Potencial ecológico e utilização social da natureza. In: VERDUM, R.; BASSO, L. A.; SUERTEGARAY, D. M. A. (OrgS.). **Rio Grande do Sul - paisagens e territórios em transformação**. 1 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, v. 1, 2004. p. 39-57.

VEYRET, Y. **Os Riscos**: O homem como agressor e vítima do Meio Ambiente. Tradução: Dílson Ferreira da Cruz. São Paulo: Contexto, 2007.

WANDERLEY, H. S., AMORIM, R. F. C.; CARVALHO, F. O. Interpolação espacial da precipitação no Estado de Alagoas utilizando técnicas geoestatística, **Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, v. 8, n. 1, p. 34-42, 2013.

WESTEN, C. J.; VAN ASCH, T. W. J.; SOETERS, R. Landslide hazard and risk zonation: why is it still so difficult?, **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 2006. p. 167-184.

WHITE, G. F. Natural hazards research: concepts, methods and policy implications. In: WHITE, G. F. (Ed.). **Natural hazards: local, national, global**. London: Oxford University Press, 1974. p.3-16.

WOLLMANN, C. A. Enchentes no Rio Grande do Sul do Século XXI'. **Mercator Fortaleza**, v. 13, p. 79-91, 2014.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2006. 629 p

WISNER, B.; BLAIKIE, P.; CANNON, T.; DAVIS, I. **At Risk**. Routledge, London. 2005. 134 p.

ZACHARIAS, A. A. **A representação gráfica das unidades de paisagem no zoneamento ambiental**. São Paulo: Editora da UNESP, 2010.

ZAVATTINI, J. A.; BOIN, M. N. **Climatologia Geográfica: Teorias e Práticas de Pesquisa**. Campinas: Editora Alínea, 2013.

ZUQUETTE, L. V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamento e guia para elaboração**. 1993. 368f. Tese (Livre Docência em Geotecnia) – Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo. São Carlos, 1993.

ANEXO A - CADASTRO MUNICIPAL DE IMÓVEIS DE ALEGRETE

