

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO  
AMBIENTAL

**INCORPORAÇÃO DO RISCO DE PREJUÍZO NO  
GERENCIAMENTO DE MEDIDAS DE CONTROLE DE  
INUNDAÇÃO**

Dissertação de Mestrado

Amanda Wajnberg Fadel

Porto Alegre, dezembro de 2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

**INCORPORAÇÃO DO RISCO DE PREJUÍZO NO  
GERENCIAMENTO DE MEDIDAS DE CONTROLE DE  
INUNDAÇÃO**

Amanda Wajnberg Fadel

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. PhD. Joel Avruch Goldenfum

Coorientador: Prof. PhD. Guilherme Fernandes Marques

Banca examinadora:

Prof. Dr André Luiz Lopes da Silveira (IPH/UFRGS)

Prof. PhD. Eduardo Mario Menciondo (CEMADEN/MCTI)

Prof. Dr. Fernando Dornelles (IPH/UFRGS)

Porto Alegre, dezembro de 2015.

## **APRESENTAÇÃO**

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Prof. Joel Avruch Goldenfum da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e coorientado pelo Prof. Guilherme Fernandes Marques da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Dedico esse trabalho a minha família, em especial aos meus pais, Anete e Sergio, por todo apoio e carinho neste momento. Sem eles nada disto seria possível. Agradeço a confiança depositada em mim em concluir mais esta fase com o empenho e dedicação almejados.

Agradeço a todos os professores que auxiliaram na minha formação até aqui, principalmente ao meu orientador e coorientador pelo conhecimento repassado, paciência e principalmente dedicação à orientação.

Aos meus amigos e, em especial, meu namorado, deixo o meu "muito obrigado" por estarem comigo nos momentos difíceis e, sobretudo, nos bons.

À sociedade como um todo e ao IPH, agradeço a oportunidade de um ótimo ensino em uma das melhores universidades federais do país. Da mesma forma, agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior) por ter me contemplado com uma bolsa de estudo, o que auxiliou em todo processo de desenvolvimento, e aos integrantes e colaboradores do projeto “Desenvolvimento e apoio à implantação de uma estratégia integrada de prevenção de riscos associados a regimes hidrológicos na Bacia do Taquari-Antas – RS”, ao qual este estudo esteve vinculado.

## RESUMO

No Brasil, é comum o registro de situações de calamidade pública em municípios atingidos por inundações. No entanto, também é frequente que nessas localidades não existam medidas para o gerenciamento das inundações, mesmo com a iminência de ocorrência de eventos desse tipo. Embora se encontrem exemplos bem sucedidos de organização municipal, principalmente a cargo das defesas civis, a avaliação do risco de prejuízo ainda não é incorporada nas análises de investimentos em medidas de controle de cheias. Assim, a presente pesquisa tem como objetivo identificar combinações de medidas estruturais e não estruturais conforme o risco de prejuízo, para tornar a tomada de decisão dos atores mais coerente com as possibilidades de ações de gestão de inundações local. Essa proposta faz parte do projeto “Desenvolvimento e preparação da implantação de uma estratégia integrada de prevenção de riscos associados a regimes hidrológicos na bacia do Taquari-Antas”, realizado pelo Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CEPED/UFRGS), com financiamento e apoio da Secretaria Nacional de Defesa Civil do Ministério da Integração Nacional (SEDEC/MI) e apoio da Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul (CEDEC/RS).

Como resultado, se obteve o desenvolvimento de uma metodologia genérica, que foi aplicada no município de Lajeado/RS, com possibilidade de ser replicada para demais municípios da região que sofrem com os mesmos problemas de inundação. Duas hipóteses de ocupação foram avaliadas: conforme ordenamento apresentado pelo plano diretor (onde a ocupação é distribuída por toda a área do município) e considerando uma área de não ocupação, coincidente com a primeira área do zoneamento, de acomodação de cheias (Z1). Três alternativas de medidas de controle foram avaliadas: a) manutenção da situação atual - não implementar nenhuma forma de controle; b) medida não estrutural de restrição de ocupação a partir de estudos de zoneamento (com duas zonas, Z1 e Z2); c) medida estrutural de construção de um dique ao longo do rio Taquari e principais arroios urbanos do município.

O dano anual esperado para os cenários considerados foi de aproximadamente R\$ 29 mil para ocupação de acordo com o Plano Diretor, R\$ 14 mil quando da não ocupação da zona de acomodação de cheias, R\$ 6 mil quando das restrições às moradias e R\$ 3 mil para o dique de proteção. Esta última, apesar de resultar em menores riscos de prejuízos, foi a alternativa mais cara, sendo a alternativa de restrição de ocupação a que se mostrou com menores custos totais.

## ABSTRACT

In Brazil, at all the time there are situations of flood tragedy. However, it is also common for these locations no measures for managing floods, despite the imminent occurrence of such events. Although there are successful examples of municipal organization (mainly in charge of civil defense), the assessment of damage risk is not yet incorporated into investment analysis on flood control measures. Thus, this research aims to identify combinations of structural and non-structural measures, according to the damage risk, to improve decision with the possibilities of local flood management actions.

This proposal have the city of Lajeado / RS as study site and is also part of the project "Development and preparation of the implementation of an integrated strategy for the risks prevention associated with hydrological regimes in the Taquari-Antas river basin" held by the *Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul* (CEDEC / RS) and the *Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal do Rio Grande do Sul* (CEPED / UFRGS), with funding and support from the *Secretaria Nacional de Defesa Civil do Ministério da Integração Nacional* (SEDEC / MI).

As a result, it was obtained a generic methodology, applied in the city of Lajeado / RS, with is possible to be replicated to other cities that suffer from the same flooding problems. Two hypotheses for actual occupation was evaluated: first as presented by the master plan (where the occupation is distributed throughout the municipal area); and second an area of no occupation, coincident with the first area of zoning (Z1). Three alternative control measures were evaluated: a) maintaining the current situation - not implement any form of control; b) non-structural measure from zoning studies (with two zones Z1 and Z2); c) structural measure with a levee along the Taquari river and major urban streams in the city

The expected annual damage to the scenarios was R\$ 28.694.175 for occupancy in accordance with the local Master Plan, R\$ 14.181.381 when not occupying the first flood zone, R\$ 6.304.369 considering the construct restrictions and R\$ 2.720.609 with the levee. However the scenario with the levee, results in a lower risk of losses, it was the most expensive alternative, and the scenario that considers the construct restrictions alternative has the lower total costs.

## SUMÁRIO

1.	Introdução.....	13
2.	Objetivo.....	15
3.	Diretrizes da pesquisa .....	15
4.	Fundamentação teórica .....	15
4.1.	Sistemas hídricos urbanos.....	15
4.1.1.	Situação brasileira .....	17
4.1.2.	Impactos do crescimento urbano.....	19
4.2.	Inundações urbanas (ou ribeirinhas) .....	21
4.2.1.	Risco de inundação.....	21
4.2.2.	Gestão de risco .....	23
4.2.3.	Danos de inundação .....	24
4.2.4.	Medidas de controle .....	25
4.2.5.	Avaliação econômica de inundações.....	27
4.3.	Modelos Hidroeconômicos .....	32
5.	Metodologia.....	33
5.1.	Modelo hidráulico .....	36
5.1.1.	Levantamento das informações existentes .....	36
5.1.2.	Levantamento topo-batimétrico das seções transversais .....	36
5.1.3.	Análise das vazões máximas locais.....	37
5.1.4.	Definição dos perfis de linha d'água e mapeamento das áreas inundáveis ....	37
5.1.5.	Calibração e validação do modelo hidráulico .....	40
5.2.	Modelo hidroeconômico .....	40
5.2.1.	Quantificação dos danos.....	41
5.2.2.	Prejuízo total de inundação.....	45
5.2.3.	Risco de prejuízo.....	45
5.2.4.	Calibração e validação do modelo hidroeconômico .....	47
5.3.	Simulação das medidas de controle .....	48

6.	Aplicação da metodologia na área de estudo .....	50
6.1.	Caracterização da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas.....	50
6.2.	Caracterização do município de Lajeado.....	52
6.2.1.	Histórico de inundações em Lajeado .....	53
6.3.	Elementos para a simulação.....	57
6.3.1.	Definição dos cenários .....	57
6.3.2.	Dados de entrada.....	62
6.3.3.	Calibração e validação.....	69
7.	Resultados e discussão .....	72
7.1.	Caracterização das áreas atingidas .....	72
7.2.	Mapeamento de inundações.....	75
7.3.	Prejuízo.....	79
7.4.	Avaliação do benefício das medidas .....	83
7.4.1.	Investimento necessário das medidas.....	83
7.4.2.	Avaliação por cenários .....	85
8.	Conclusões e recomendações .....	88
9.	Referências .....	91
	Apêndices.....	98

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4-1: Danos diretos e indiretos.....	25
Tabela 4-2: Medidas de controle que afetam o risco.....	27
Tabela 5-1: Critério de divisão de classes socioeconômicas de acordo com a renda familiar. .....	40
Tabela 5-2: Características das residências padrão por classe socioeconômica. ....	41
Tabela 5-3: Custo unitário básico de construção para cada classe socioeconômica. ....	42
Tabela 5-4: Percentual de dano à edificação dos imóveis padrão, conforma altura de submersão.....	42
Tabela 5-5: Fator de multiplicação para as demais classes socioeconômicas. ....	43
Tabela 5-6: Tempo médio de limpeza conforme a profundidade de submersão. ....	44
Tabela 6-1: Relação entre cota de inundação e magnitude do evento.....	55
Tabela 6-2: Cotas e vazões máximas para Lajeado.....	64
Tabela 6-3: Comparativo socioeconômico ente os municípios de Blumenau e Lajeado. ...	69
Tabela 6-4: Coeficientes de rugosidade utilizados para cada TR. ....	70
Tabela 6-5: Cotas calibradas para os eventos máximos para cada tempo de retorno. ....	70
Tabela 6-6: Cotas validadas para os eventos críticos recentes em Lajeado. ....	71
Tabela 6-7: Quantitativo dos custos para Lajeado e Estrela na inundação de agosto de 2013.....	72
Tabela 7-1: Extensão das manchas de inundação. ....	76
Tabela 7-2: Extensão das manchas de inundação para o cenário com dique de proteção...	79
Tabela 7-3: Comparativo entre os valores de danos ao conteúdo e edificações. ....	81
Tabela 7-4: Dano esperado para cada situação de medidas de controle.....	83
Tabela 7-5: Resultados da avaliação de custos para a hipótese 1. ....	86
Tabela 7-6: Resultados da avaliação de custos para a hipótese 2. ....	87



## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1. Ciclo hidrológico urbano. ....	17
Figura 4.2. Transformação do ambiente pela urbanização. ....	20
Figura 4.3. Picos de vazão antes e depois da urbanização e esquema da ocupação urbana em leito de inundação. ....	21
Figura 4.4: Triângulo de risco. ....	22
Figura 4.5. Relação entre a ocupação populacional e os desastres naturais. ....	24
Figura 4.6 Modelos para estimar os danos econômicos da inundação. ....	28
Figura 4.7. Esquema do procedimento para obtenção de danos por inundação. ....	30
Figura 5.1. Fluxograma da pesquisa. ....	35
Figura 5.2. Detalhamento da metodologia proposta. ....	35
Figura 5.3: Esquema do equacionamento de Bernoulli. ....	38
Figura 5.4: Fluxograma para obtenção do risco de prejuízo. ....	46
Figura 5.5: Determinação do dano esperado através do conceito integração da curva de risco. ....	47
Figura 5.6: Zonas da planície de inundação. ....	48
Figura 6.1. Localização da bacia Taquari-Antas. ....	51
Figura 6.2. Modelo digital de elevação da bacia Taquari-Antas ....	51
Figura 6.3. Distribuição da precipitação média mensal na bacia do Taquari-Antas. ....	52
Figura 6.4. Localização do município de Lajeado. ....	53
Figura 6.5: Situação da ocupação em Lajeado, em 2014. ....	54
Figura 6.6: Série de eventos críticos (acima da cota 19 metros) registrados no Porto de Estrela. ....	55
Figura 6.7: Mapeamento do Plano Diretor de Lajeado. ....	56
Figura 6.8: Esquema de composição dos cenários de simulação. ....	58
Figura 6.9: Delimitação do zoneamento de áreas inundáveis. ....	60
Figura 6.10: Localização das ruas que costeiam o rio Taquari e principais arroios em Lajeado. ....	61
Figura 6.11: Delimitação da localização dos diques propostos. ....	62
Figura 6.12: Ajuste log-pearson III para cotas em Lajeado. ....	64
Figura 6.13: Ajuste log-pearson III para vazões em Lajeado. ....	64
Figura 6.14. TIN e MDE da cidade de Lajeado. ....	65
Figura 6.15: Esquema do modelo de escoamento hidráulico. ....	66
Figura 6.16: Localização e detalhe da Barragem de Bom Retiro. ....	67

Figura 6.17: Esquema da Barragem de Bom Retiro e detalhe da régua.....	67
Figura 6.18. Setores censitários de Lajeado – RS.....	68
Figura 6.19: Fluxograma de calibração do modelo hidráulico. ....	69
Figura 6.20: Inundação de 2008 e pontos de controle.....	71
Figura 7.1: Classificação socioeconômica dos setores censitários inundáveis.....	73
Figura 7.2: Total da população e domicílios nos setores, relacionados à classe socioeconômica.....	73
Figura 7.3: Total da população e domicílios nos setores censitários inundáveis.....	74
Figura 7.4: Total de domicílios por bairro e atingidos conforme o modelo para a cheia de 2001.....	74
Figura 7.5: Mapeamento das inundações sem medidas de controle. ....	76
Figura 7.6: Mapeamento das inundações considerando o zoneamento.....	77
Figura 7.7: Mapeamento das inundações considerando os diques de proteção.....	78
Figura 7.8: Comparativo entre as curva-chave sem e com o dique de proteção.....	79
Figura 7.9: Dano unitário ao conteúdo do imóvel padrão, conforme profundidades de submersão e classe socioeconômica. ....	80
Figura 7.10: Dano unitário à edificação do imóvel padrão, conforme profundidade de submersão e classe socioeconômica. ....	80
Figura 7.11: Relação cota-prejuízo para as inundações em Lajeado. ....	81
Figura 7.12: Curvas de risco para o município de Lajeado, para cada medida de controle.	83
Figura 7.13: Custo acumulado hipotético comparativo entre zoneamento e dique. ....	88

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

AHSUL: Administração das Hidrovias do Sul

ANA: Agência Nacional de Águas

AVADAN: Formulário de Avaliação de Danos da Defesa Civil (antigo)

CEDEC/RS: Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul

CEPED/UFRGS: Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da UFRGS

CIH: Centro de Informações Hidrológicas da UNIVATES

FIDE: Formulário de Informação do Desastre da Defesa Civil (novo)

HEC-RAS: *Hydrologic Engineering Centers River Analysis System*

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPH: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS

SEDEC/MI: Secretaria Nacional de Defesa Civil do Ministério da Integração Nacional

SNIS: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SOP: Secretaria de Obras Públicas, Irrigação e Desenvolvimento Urbano

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UNIVATES: Unidade Integrada Vale do Taquari de Ensino Superior

USACE: U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center

A: área da seção [m<sup>2</sup>]

Ac: Área construída [m<sup>2</sup>]

Aip: Área do imóvel padrão [m<sup>2</sup>]

Cip: Custo do conteúdo do imóvel padrão [R\$]

CUB: Custo Unitário Básico de Construção Civil [ R\$/m<sup>2</sup>]

D(p<sub>TR</sub>): Função probabilidade de dano, ou curva de risco

DC: Dano ao conteúdo [R\$]

DDP: Danos por dias parados [R\$]

DE: Dano à edificação [R\$]

DEsp: Dano anual esperado [R\$]

DL: Custo de limpeza [R\$]

Dtotal: Dano total médio para cada setor censitário [R\$]

D<sub>TR</sub>: Dano total para o TR considerado [R\$]

Es: Encargos sociais

Fm: Fator de multiplicação entre classes socioeconômicas

$F_{RS}$ : Fator de retorno de investimento  
 $g$ : aceleração gravitacional [ $m/s^2$ ]  
 $h$ : perda de energia [m]  
 $H_m$ : Média do total de horas de trabalho por mês da população [hora]  
 $N_d$ : número de dias do mês  
 $P_{ed}$ : Percentual de dano à edificação  
 $P_{dc}$ : Percentual de dano ao conteúdo  
 $Pop_i$ : Número de pessoas afetadas pela inundação  
 $p_{TR}$ : Probabilidade do evento  
 $q$ : aporte de vazão lateral [ $m^3/s$ ]  
 $Q$ : vazão [ $m^3/s$ ]  
 $R_f$ : Renda média familiar mensal [R\$/mês]  
 $RP$ : Risco de prejuízo [R\$]  
 $S$ : declividade da linha d'água  
 $t$ : tempo [s]  
 $t_i$ : duração da inundação [dias]  
 $T_l$ : Tempo de limpeza [horas/m<sup>2</sup> pessoa]  
 $V$ : velocidade média [ $m^2/s$ ]  
 $x$ : distância entre seções [m]  
 $Y$ : profundidade da água [m]  
 $Z$ : cota do fundo do canal [m]  
 $z$ : elevação da superfície da água [m]  
 $\alpha$ : coeficiente de ponderação da velocidade

# 1. INTRODUÇÃO

Os desastres naturais têm ocorrido com frequência no Brasil nos últimos anos, com destaque especial para as inundações, que estão associadas aos eventos com maiores áreas afetadas e mais mortes (BERTONE e MARINHO, 2013). Geralmente, esses desastres são atribuídos unicamente às intensas chuvas ocorridas, e a carência do planejamento urbano nas cidades brasileiras apenas entra nas pautas de discussões após a ocorrência desses eventos. Conforme relatório do Banco Mundial e Nações Unidas (2010), a incidência de inundações nas Américas representa mais de 40% do total de eventos de desastres naturais ocorridos. Enquanto isto, no Brasil, os eventos relacionados a chuvas intensas (inundações, enxurradas, alagamentos e tempestades) chegam a 34%. Em 2010, 50,2% dos municípios brasileiros declararam sofrer inundações ou alagamentos em áreas urbanas nos últimos 5 anos, e destes, 60,7% informaram haver ocupação urbana em áreas inundáveis naturalmente por cursos d'água. (MEDEIROS, 2011).

Em seus estudos, Dougal (1969) já descrevia a necessidade de gerenciamento das planícies de inundação e respectiva dificuldade de implementação. Uma vez que as áreas adjacentes aos cursos d'água têm baixo custo por serem frequentemente alagadas, se não forem devidamente regulamentadas para a não ocupação, a construção de moradias, principalmente de baixa renda, será recorrente. Além disso, no momento em que essas pessoas forem afetadas por uma inundação, será grande a pressão da comunidade para que o governo mobilize auxílio e soluções, independentemente da legitimidade da ocupação em área de risco.

Pensando nisso, foi elaborado no Brasil o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres, lançado em 2012, o qual tem como princípio a identificação e prevenção dos principais desastres que ocorrem no país (inundações, enxurradas e deslizamentos de encostas) (BERTONE e MARINHO, 2013). No entanto, apesar de incorporado pelo Plano Plurianual 2012-2015 do governo federal, esta política ainda carece de consolidação.

Ainda assim, os principais meios de proteção adotados geralmente estão relacionados a medidas estruturais (como diques e barragens), uma vez que essas medidas já estão bem consolidadas no país como forma padrão para a proteção contra inundações. Além disso, essas medidas são extremamente bem vistas pela população por serem obras de grande visibilidade e diminuírem quase que imediatamente a frequência das inundações. No entanto, sabe-se que elas não eliminam a possibilidade de inundações, podendo inclusive resultar em danos superiores àqueles que existiriam caso não tivessem sido tomadas medidas, se ultrapassada a capacidade de contenção dessas estruturas (TUCCI, 2009).

Portanto, uma alternativa para minimização da probabilidade do dano seria justamente o gerenciamento do uso e ocupação por meio de zoneamentos, uma vez que determinam as áreas sujeitas a danos por inundação, limitando sua ocupação. Com essa medida, estipulam-se as áreas que podem ou não ser utilizadas e ainda estabelece-se o risco de prejuízo de tal ocupação. Sabe-se, porém, da impopularidade dessas medidas, já que elas impõem restrições aos usuários, que teriam que passar a conviver com as inundações ou se retirarem das áreas de risco.

Além disso, uma das maiores dificuldades para a tomada de decisão dentre as medidas possíveis de gerenciamento de inundações é a comprovação do benefício que cada uma dessas ações poderá gerar. Tradicionalmente, ações de proteção das planícies de inundação levam em consideração os custos e os benefícios – em termos monetários – associados à medida de controle escolhida, seja ela estrutural ou não estrutural. Os custos estão relacionados, basicamente, à construção e operação do sistema, além de custos de oportunidade do solo urbano, quando a ocupação deste é limitada para aumentar a proteção contra cheias. Quanto aos benefícios, associa-se a diminuição da probabilidade de dano e os ganhos pela mudança no uso do solo. Portanto, uma forma simplificada para a otimização deste sistema seria a minimização dos custos associados às medidas de proteção e dos danos das inundações; no entanto, pode ser de interesse também a verificação quanto à maximização do desenvolvimento econômico da região ou das áreas de preservação ambiental. (OLSEN et al, 2000).

O fator principal para a resolução dessas questões, portanto, está na compreensão da relação entre uso do solo, probabilidade de eventos extremos e danos causados pelas cheias, de modo a permitir o conhecimento do risco de prejuízo. A gestão do risco deverá compreender uma combinação estratégica de medidas estruturais e não estruturais, de forma que se discutam as diversas decisões passíveis de serem tomadas, convergindo para aquela que melhor representa o desejo dos usuários.

Com base nisso, a metodologia para auxílio na gestão de risco de prejuízos a ser proposta no presente estudo terá como unidade de aplicação o município de Lajeado/RS, sendo parte do projeto “Desenvolvimento e preparação da implantação de uma estratégia integrada de prevenção de riscos associados a regimes hidrológicos na bacia do Taquari-Antas”, realizado pelo Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CEPED/UFRGS), com financiamento e apoio da Secretaria Nacional de

Defesa Civil do Ministério da Integração Nacional (SEDEC/MI) e apoio da Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul (CEDEC/RS).

## 2. OBJETIVO

Como objetivo deste estudo, pretende-se apresentar uma metodologia para a obtenção de índices que auxiliem na tomada de decisão por medidas estruturais e não estruturais, ponderando o emprego de zoneamento e diques de proteção, de forma a abranger as possibilidades de ações e características socioeconômicas locais.

## 3. DIRETRIZES DA PESQUISA

A presente pesquisa tem foco na gestão de águas urbanas e irá estudar a aplicação de medidas estruturais e não estruturais, de forma integrada. As inundações na cidade de aplicação dessa metodologia, Lajeado-RS, podem ser caracterizadas como de natureza gradual (elevação lenta dos níveis d'água), e já existe na região um sistema de alerta de inundações. Por isso, esses eventos extremos não são caracterizadas por perdas de vidas humanas, mas estão intimamente ligados a danos econômicos, seja pelos prejuízos diretamente ligados quando da ocorrência de cheias, seja pela restrição de áreas para o desenvolvimento urbano.

Dessa forma, esse estudo abordará duas medidas de controle, sendo uma a delimitação do ordenamento urbano por meio de zoneamento de manchas de inundação e a outra pela construção de um dique de proteção junto ao Rio Taquari e/ou aos principais arroios urbanos do município. A modelagem hidrológica será realizada considerando um escoamento permanente na região, com a utilização de vazões máximas para diferentes tempos de retorno. Além disso, serão avaliados apenas os danos tangíveis associados aos eventos de inundação, com dados econômicos de perdas materiais e estruturais e danos por dias parados.

## 4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4.1. SISTEMAS HÍDRICOS URBANOS

Uma vez que os problemas dos recursos hídricos (secas, inundações, poluição, etc.) estão relacionados à má gestão das águas, principalmente nos centros urbanos, é imprescindível o reconhecimento e entendimento das influências que a expansão populacional causa nos sistemas hídricos existentes.

A água é um elemento fundamental para a sobrevivência e é devido a isso que, desde início do processo civilizatório, o crescimento urbano priorizou sua localização ao longo dos cursos hídricos. O rápido crescimento das cidades foi fundado em uma concepção de desenvolvimento urbano que, em geral, desconsiderou as condições ambientais preexistentes. Isto significou, entre outras ações, a utilização dos recursos hídricos tanto como fonte para o abastecimento quanto para o afastamento de efluentes líquidos e sólidos, além da intensa ocupação das planícies de inundação.

Tucci (2008) divide as fases do desenvolvimento das águas urbanas em Pré-Higienista, Higienista, Corretiva e Desenvolvimento Sustentável. A primeira fase, correspondente ao período até o início do século XX, está relacionada com as grandes epidemias, uma vez que a falta de saneamento não estava ainda atrelada ao desenvolvimento de doenças nos centros urbanos. O conceito do recolhimento e afastamento para jusante dos efluentes deu base para a fase Higienista, que perdurou, nos países desenvolvidos, até a década de 70. Nessa fase, os rios e afluentes urbanos se tornaram os receptores de poluição, afetando, inclusive, pontos de captação de água para consumo nas próprias cidades. O crescimento acelerado da população e o grande êxodo rural contribuíram para que as cidades não mais comportassem esse tipo de pensamento, dando início à fase Corretiva, permitindo-se melhorar as condições ambientais, evitando a proliferação de doenças e deterioração das fontes de abastecimento. Percebendo que apenas ações corretivas não seriam suficientes, diversos países ingressaram, a partir da década de 90, na fase de Desenvolvimento Sustentável, na qual não só o tratamento e gerenciamento das águas urbanas devessem levar em conta o mais alto grau de tecnologia existente mas como ações que priorizassem os sistemas naturais deveriam ser propostas (TUCCI, 2007).

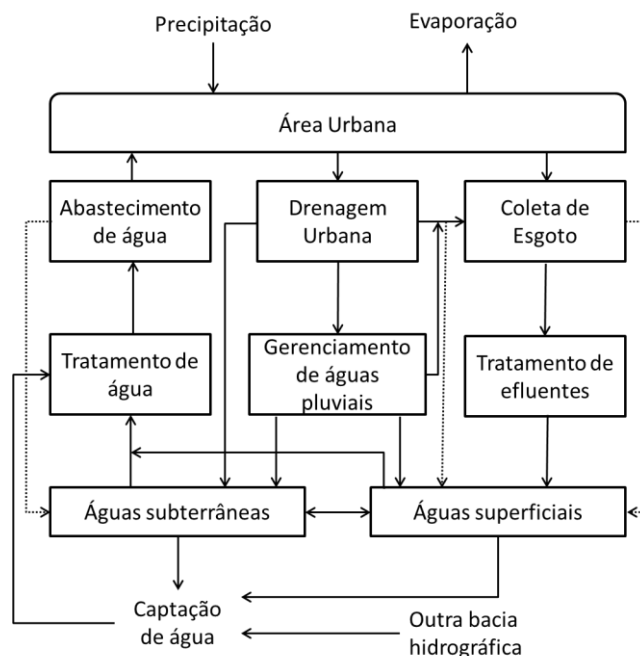
Para que essa evolução de pensamentos fosse possível, foi necessário, inicialmente, entender o processo das águas urbanas e como os diferentes tipos de sistemas se relacionam. Desse entendimento, forma-se o conceito de gerenciamento integrado. O princípio inicial a ser compreendido é que o ciclo hidrológico, quando inserido no contexto urbano, adquire alguns elementos que não comumente estarão presentes em sua constituição natural. Marsalek *et al.* (2007) resumem o ciclo de águas urbanas conforme a Figura 4.1.

Assim, o ciclo hidrológico (bem conhecido principalmente pelos seus processos de evaporação, condensação, precipitação e infiltração) assume uma nova forma quando associado ao desenvolvimento urbano. Uma vez que as cidades passam a contribuir com os sistemas de abastecimento, esgotamento sanitário e drenagem urbana, dá-se origem aos



sistemas hídricos urbanos. Considerar, então, essa forma diferenciada do ciclo é premissa fundamental para que os modelos de gerenciamento das águas urbanas se aproximem da realidade.

FIGURA 4.1. CICLO HIDROLÓGICO URBANO.



FONTE: ADAPTADO DE MARSALEK ET AL (2007)

#### 4.1.1. SITUAÇÃO BRASILEIRA

O Brasil, assim como a maioria dos países em desenvolvimento, encontra-se, em sua maioria, ainda na fase Higienista, onde predominam a coleta de água à montante para abastecimento e a disposição dos esgotos à jusante, afastado da população. Além disso, medidas relacionadas à drenagem e às inundações urbanas são praticamente inexistentes em grande parte das cidades. O gerenciamento integrado dos sistemas hídricos urbanos é, portanto, uma grande dificuldade, uma vez que ainda são priorizadas as ações pontuais para a solução dos problemas.

Diversos problemas podem ser relacionados a essa má eficiência da infraestrutura urbana. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), embora 93% dos domicílios urbanos sejam atendidos por redes de abastecimento de água, esse número cai para 55,5% para aqueles com coleta de esgoto, sendo que parte do que é coletado ainda não é tratado. O dado mais alarmante está no índice geral de tratamento de esgotos, que não chega a 40% do total gerado (BRASIL, 2011). Isso mostra que, no Brasil, ainda que se invista na universalização da coleta, mais da metade dos efluentes produzidos nas cidades ainda continuará sendo lançado *in natura* nos corpos hídricos receptores. Considerando que quase 80% dos efluentes coletados (tratados ou não) têm como destino os rios e que 24% dos

domicílios destinam seus efluentes sanitários a fossas rudimentares (IBGE, 2010), a contaminação dos cursos d'água superficiais e subterrâneos se torna um problema recorrente e grave em regiões densamente povoadas. Além disso, boa parte do sistema de coleta de esgotos não é concebido na forma de separador absoluto, ou seja, existe a mistura de esgotos sanitário e pluvial sem manejo adequado, comprometendo as redes de drenagem.

Embora não façam parte das “águas urbanas”, os resíduos sólidos também têm grande influência tanto no funcionamento dos demais sistemas quanto na qualidade das águas envolvidas. Uma vez mal gerenciados, os resíduos sólidos produzidos em uma cidade invariavelmente acabarão afetando os demais sistemas, seja pela ação de carreamento das chuvas, seja pela deposição destes diretamente nos cursos d'água. Por sua vez, em eventos de inundações urbanas, toda essa carga de poluição acaba retornando para as cidades, gerando diversos transtornos e contribuindo inclusive para o agravamento de problemas de saúde pública. Outro grande agravo dos centros urbanos é a má gestão do espaço urbano. A expansão urbana não ordenada resulta na ocupação de áreas de forma não sustentável e, inclusive, não propícias para moradia.

Em termos de gerenciamento de águas urbanas, ainda que muitas vezes impulsionados por pressão política ou econômica – como o impedimento ao acesso de fontes de financiamentos –, alguns municípios brasileiros já apresentam iniciativas bem desenvolvidas. É o caso de Porto Alegre, que após a inundação histórica de 1941, elaborou o sistema de proteção contra cheias, o qual é composto pelo Muro da Mauá, 68 km de diques internos e externos à cidade, bombas e comportas (DEP, 2015). Em outro estudo mais recente, de 2014, foram avaliadas quatro alternativas para controle das cheias no Rio Caí pela Secretaria de Obras Públicas, Irrigação e Desenvolvimento Urbano (SOP): convivência com as cheias, ações não estruturais, desapropriação das áreas inundadas e execução de obras de controle. Ao final, foi comparado o custo benefício de cada medida, confrontando-se o prejuízo evitado e respectivos investimentos necessários para a implementação. Ainda que o estudo não tenha contemplado soluções integradas de diferentes medidas, obteve-se a melhor alternativa para cada um dos municípios propensos a inundações. Enquanto que para Montenegro e São Sebastião do Caí as medidas estruturais se mostraram mais vantajosas, para os demais municípios do estudo a convivência com as cheias foi a que apresentou o melhor custo benefício para a população. Com isso, este estudo demonstra claramente a importância em se avaliar os benefícios em termos econômicos e socioambientais de cada medida apresentada, pois nem sempre as grandes obras de proteção, como diques e barramentos, são as que trazem um maior retorno que justifique seu investimento (RIO GRANDE DO SUL, 2014).

A Bacia Hidrográfica do Taquari-Antas também é uma região em desenvolvimento na gestão de riscos. Desde 2013, está em andamento o projeto “Desenvolvimento e preparação da implantação de uma estratégia integrada de prevenção de riscos associados a regimes hidrológicos na bacia do Taquari-Antas”, iniciativa conjunta entre a Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul (CEDEC/RS) e o Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CEPED/UFRGS), com financiamento e apoio da Secretaria Nacional de Defesa Civil do Ministério da Integração Nacional (SEDEC/MI). O principal objetivo proposto pelo projeto consiste em formular uma “estratégia integrada de prevenção de riscos associados a regimes hidrológicos na bacia do Taquari-Antas”, com a identificação e priorização de ações estruturais e não estruturais necessárias para redução de riscos. Tais ações se tornaram necessárias pelas próprias características hidrogeomorfológicas da bacia, uma vez que as altas declividades da parte superior acabam contribuindo significativamente para inundações nas regiões de planície, à jusante.

As cidades de Lajeado e Estrela fazem parte do grupo de municípios atingidos frequentemente por inundações e, apesar de contarem com uma Defesa Civil bem estruturada – o que resultou em significativa redução da perda de vidas em eventos de cheias –, demais medidas são necessárias para auxiliar no desenvolvimento econômico da região, como ordenamento da ocupação urbana e gestão das áreas de risco. Além das soluções integradas na bacia como um todo, propostas locais também devem ser estudadas, com o intuito de aprimorar a resposta de cada município frente aos seus problemas com inundações. Bombassaro e Robaina (2010) ratificam que, das inundações ocorridas na bacia do Taquari-Antas, as que resultam em maiores prejuízos são aquelas localizadas à jusante do município de Encantado, como Lajeado e Estrela, sendo nessa região necessário cada vez mais o adequado planejamento de ocupação territorial e de drenagem urbana, com objetivo de oferecer à população, subsídios para futuras construções. Além disso, apontam como indispensáveis, para que o Poder Público possa ordenar a ocupação urbana de forma eficiente, medidas de mapeamento do uso e ocupação do solo e de áreas sujeitas a inundações.

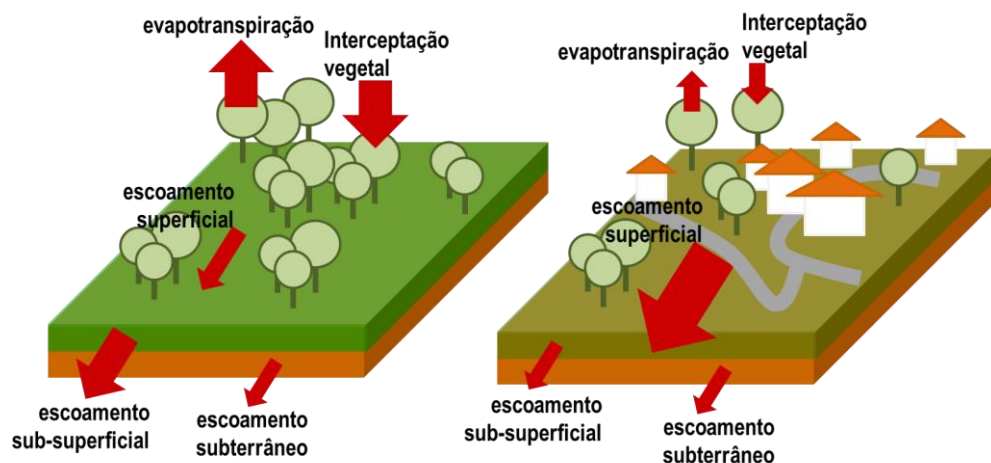
#### *4.1.2. IMPACTOS DO CRESCIMENTO URBANO*

Existe, ainda, uma visão limitada nos países em desenvolvimento do que é a gestão integrada do solo urbano e de suas infraestruturas e como o crescimento urbano os afeta. A falta de conhecimento tanto da população quanto dos profissionais envolvidos acerca dos problemas e suas prováveis causas resulta em decisões mal planejadas, com altos custos e que nem sempre solucionam os problemas. Um agravante para tal situação é a parcela dos

engenheiros que atua no meio urbano e que está desatualizada quanto às atuais visões ambientais, priorizando, assim, soluções estruturais e que alterem profundamente o ambiente natural. Agrega-se a essa situação a visão setorizada e a falta de capacidade gerencial da maioria dos municípios (TUCCI, 2008).

Mais especificamente nas intervenções do desenvolvimento urbano no que tange à drenagem urbana, o desenvolvimento urbano acarreta alterações que afetam o balanço hídrico previamente existente. Com o aumento das áreas impermeáveis (Figura 4.2), o escoamento superficial tende a aumentar, visto que a infiltração é dificultada. Com isso, diminui-se o escoamento sub-superficial, chegando a afetar, em casos mais graves, a recarga dos aquíferos. Além disso, evapotranspiração também é comprometida pela modificação da paisagem.

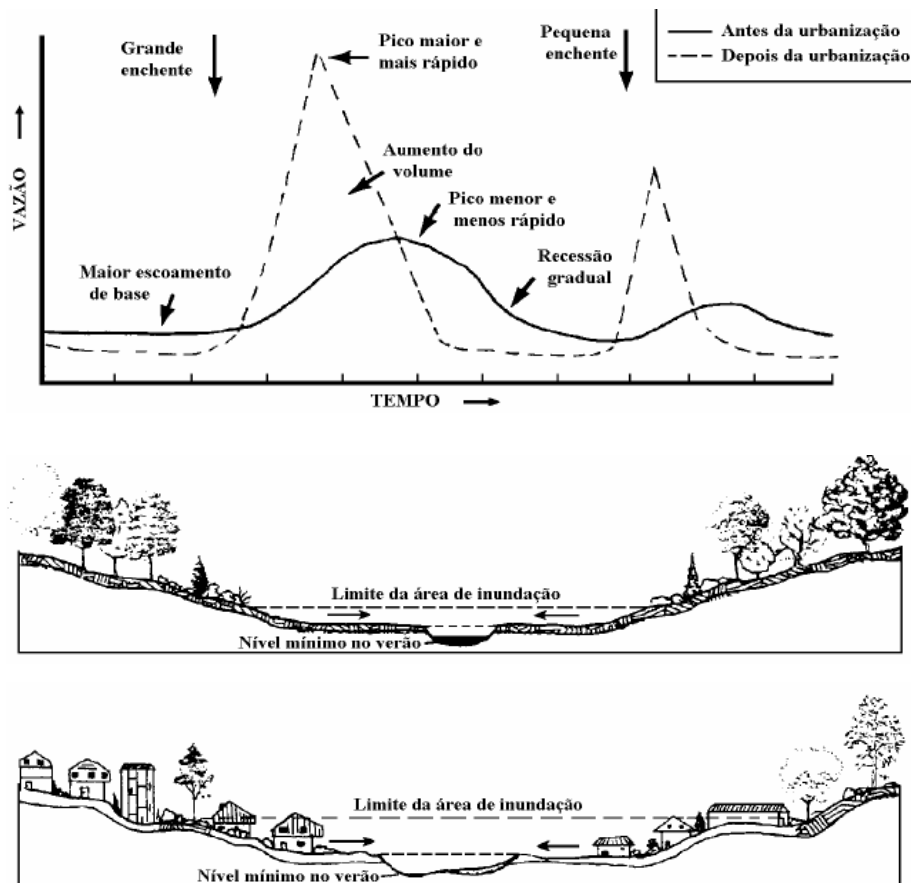
**FIGURA 4.2. TRANSFORMAÇÃO DO AMBIENTE PELA URBANIZAÇÃO.**



**FONTE: ADAPTADO DE SCHEULER (1987) APUD TUCCI (2007)**

Com o aumento da impermeabilização e da construção de condutos e canais, o tempo de concentração da bacia hidrográfica é reduzido. Isto significa aumentar a velocidade do escoamento, resultando portanto em picos maiores e mais rápidos de vazão (Figura 4.3). Estudos mostram que, nesse caso, a vazão média de enchentes pode chegar a sete vezes mais do que as vazões observadas nas condições de pré-urbanização (TUCCI, 2007). Além disso, o crescimento urbano tende a se expandir ao longo dos leitos de inundação dos rios (Figura 4.3), contribuindo para um maior número dos registros de inundações urbanas.

**FIGURA 4.3. PICOS DE VAZÃO ANTES E DEPOIS DA URBANIZAÇÃO E ESQUEMA DA OCUPAÇÃO URBANA EM LEITO DE INUNDAÇÃO.**



FONTE: SCHEULER (1987) APUD TUCCI (2007)

## 4.2. INUNDAÇÕES URBANAS (OU RIBEIRINHAS)

Por inundações entende-se pela “submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas, onde o transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície” (BRASIL, 2012). Mesmo que as inundações acarretem em grandes prejuízos à população, não podemos esquecer que grande parte dos eventos estão associados a processos naturais do ciclo hidrológico, uma vez que, mesmo antes do estabelecimento da ocupação no local, tais cheias já ocorriam. Portanto, o crescimento urbano corrobora para o aumento no risco de inundações – seja por modificações no uso e ocupação do solo, seja pela ocupação de áreas inundáveis – e, por isso, medidas de gerenciamento de inundações estão cada vez mais em discussão.

### 4.2.1. RISCO DE INUNDAÇÃO

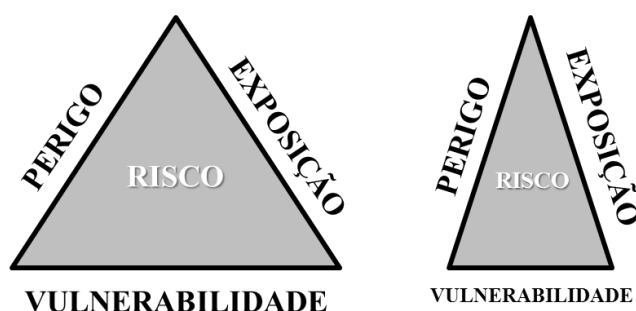
De um modo geral, o risco é definido pela relação entre a probabilidade de ocorrência de um evento qualquer e a magnitude de suas consequências (JACOBS e WORTHLEY, 1999 *apud* DECKERS *et al.*, 2010). Traduzindo para o contexto de inundações, o risco será, portanto, proporcional tanto ao tempo de retorno de um evento quanto ao dano causado por

essa cheia. Além disso, o risco de inundação pode ser influenciado por outros três fatores, segundo Kobayashi e Porter (2012): perigo, exposição e vulnerabilidade.

- *Perigo*: está relacionado ao potencial de ocorrer dano em uma área inundável. Assim, o perigo aumenta na medida em que uma área tem maior probabilidade de inundação. Além disso, também influenciam no perigo a duração da inundação, a profundidade atingida e a velocidade dos fluxos. Não se pode haver risco sem a presença de perigo, mas é possível que se tenha perigo sem necessariamente estar presente o risco.
- *Exposição*: determina se o perigo de inundação representa ou não um risco, que só existirá caso existam pessoas ou bens expostos a esse perigo. Um exemplo dessa situação seriam as construções com dois pavimentos, onde o térreo é mantido desocupado; nesse caso, a habitação poderá ser atingida, mas não sofrerá dano. Dessa forma, em eventos de cheia, embora exista o perigo de inundação, a exposição é menor.
- *Vulnerabilidade*: está relacionada com a distinção entre dano potencial e real prejuízo sofrido. Uma região poderá estar exposta a um perigo de inundação, com um alto dano de inundação associado; entretanto, dependendo da consciência e preparo da população e do poder público para lidar com os riscos dessa inundação, o prejuízo real sofrido nessa área será menor. A presença de sistemas de alerta, planos de evacuação e resposta emergencial, assim como seguros, servem, deste modo, para reduzir a vulnerabilidade.

Esses três fatores formam o chamado “triângulo de risco” (Figura 4.4), proposto por Chrichton (1999). Este esquema apresenta o risco como a área de um triângulo; cada um dos lados é proporcional ao perigo, exposição e vulnerabilidade. Dessa forma, no momento em que um desses fatores for alterado, acaba por modificar também o risco, sendo essa variação condizente com cada medida de controle selecionada.

FIGURA 4.4: TRIANGULO DE RISCO.



FONTE: ADAPTADO DE CHRICHTON (1999)

Contudo, essa avaliação de diminuição do risco quando implementadas medidas de controle de inundações pode ser de difícil interpretação, em especial para os gestores e população atingida, uma vez que se limita a uma quantificação adimensional. Isso por que não é incorporado o benefício em termos monetários advindos das medidas. Além disso, a quantificação propriamente dita de cada um desses fatores é complexa e exige um nível de detalhamento que muitas vezes não está ao alcance da administração pública.

Uma vez que o prejuízo sofrido após uma inundação é proporcional tanto ao perigo, quanto à exposição e à vulnerabilidade, é possível se propor uma gestão de risco associada diretamente ao dano e, dessa forma, incorporar esses três fatores em um só. Dessa forma, a avaliação passa a ter valor econômico agregado, facilitando a comparação entre as diversas medidas de controle que se queria implementar.

#### 4.2.2. GESTÃO DE RISCO

Em função da necessidade por respostas à sociedade frente aos desastres naturais que tem ocorrido no Brasil, a incorporação da temática da gestão de riscos às agendas de planejamento do país pode ser constatada em duas recentes iniciativas. O Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres apresenta quatro eixos de ação: mapeamento, monitoramento e alerta, prevenção e resposta. O foco desse plano é considerar os desastres naturais como “evitáveis”, ou seja, investindo em medidas de alertas cada vez mais precisos, melhoria do planejamento urbano, mapeamento e identificação de áreas inundáveis e expansão da produção de moradias dignas de forma a evitar a ocupação de áreas de risco (BERTONE e MARINHO, 2013).

A outra ação para a consolidação da gestão de risco no Brasil foi a instituição da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC. Essa política prevê que é dever da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios adotar as medidas necessárias à redução dos riscos de desastre, independente das incerteza envolvidas. São atribuídos aos municípios tanto a identificação e mapeamento das áreas de risco quanto proceder à avaliação de danos e prejuízos das áreas atingidas por desastres (BRASIL, 2012).

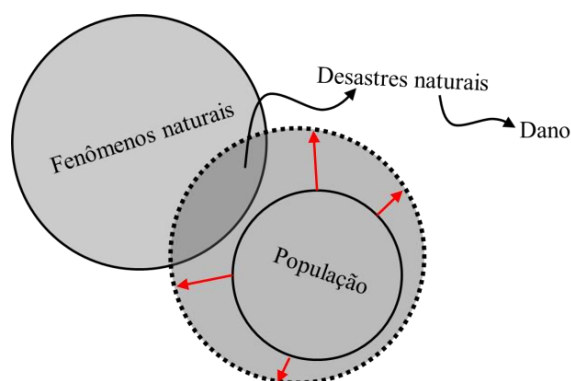
Em sintonia com os esforços brasileiros em regulamentar normas as quais facilitem e criem artifícios para a efetiva implementação da gestão de risco no Brasil, está a *UN Conference on Disaster Risk Reduction*. O grande resultado desse evento foi o Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030. Dentre as prioridades de ação propostas, destaca-se a compreensão do risco de desastre. Para isso, foi enfatizada a necessidade de que as políticas e práticas para a gestão de risco sejam baseadas em uma clara compreensão do risco

em todas as suas dimensões de vulnerabilidade, capacidade, exposição de pessoas e bens, características dos perigos e meio ambiente. Ainda, esse conhecimento deve ser aproveitado para as avaliações de riscos “pré-desastre”, buscando a prevenção e mitigação, além do desenvolvimento e implementação de adequadas e eficazes respostas a desastres (UNISDR, 2015).

#### 4.2.3. DANOS DE INUNDAÇÃO

Buscando a diminuição dos prejuízos associados a eventos de inundação, o gerenciamento das áreas inundáveis considera de forma integrada as medidas estruturais, não-estruturais e administrativas (MAYS e TUNG, 1992). No entanto, é necessário realizar um levantamento dos possíveis danos na região, para que, posteriormente, seja possível relacioná-los a inundações ocorridas. Inicialmente, é importante lembrar que o dano da inundação sempre estará associado à ocupação daquela região; o crescente número de ocorrências de eventos com danos atribuídos é acompanhado pela expansão populacional. Fenômenos naturais de grandes cheias sempre existiram; no entanto, no momento em que a população se estabelece em localidades propensas à sua ocorrência, propicia-se o acontecimento dos desastres naturais, associados, portanto, ao dano (Figura 4.5).

**FIGURA 4.5. RELAÇÃO ENTRE A OCUPAÇÃO POPULACIONAL E OS DESASTRES NATURAIS.**



Os danos causados pelas inundações podem ser primeiramente distinguidos entre tangíveis e intangíveis. Os danos tangíveis são classificados como aqueles aos quais é possível atribuir um valor monetário de perda. Já os intangíveis, consistem em danos de difícil quantificação monetária, relacionados à integridade física e psicológica daqueles atingidos e inclusive ao apreço emocional que alguns bens podem ter para seus proprietários (PENNING-ROWSELL e CHATTERTON, 1977).

Em uma segunda classificação, os danos ainda podem ser subdivididos em diretos ou indiretos, conforme mostra a tabela a seguir.



TABELA 4-1. DANOS DIRETOS E INDIRETOS.

DANOS TANGÍVEIS		DANOS INTANGÍVEIS	
DIRETOS	INDIRETOS	DIRETOS	INDIRETOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Danos físicos a estruturas de construção e interiores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tempo gasto com de limpeza</li> <li>▪ Custo de interrupção de serviços</li> <li>▪ Perda de lucros</li> <li>▪ Desemprego</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Perda de vidas humanas e de animais de estimação</li> <li>▪ Doenças</li> <li>▪ Perda de patrimônio histórico ou cultural</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estados psicológicos de estresse e ansiedade</li> <li>▪ Falta de motivação</li> <li>▪ Inconvenientes da interrupção dos serviços</li> </ul>

FONTE: ADAPTADO DE MACHADO ET AL (2005) E CAÑADO (2003)

#### 4.2.4. MEDIDAS DE CONTROLE

As medidas de controle têm como objetivo controlar ou diminuir as consequências negativas de uma inundação (MAYS e TUNG, 1992). Tais intervenções podem estar localizadas na fonte ou nas áreas de micro e macrodrenagem. Em ações do tipo ‘na fonte’ (ou distribuídas), priorizam-se intervenções diretamente no lote em questão, buscando amenizar o possível incremento de escoamento devido à impermeabilização do solo. As ações na microdrenagem consistem no controle do hidrograma resultante de mais de um loteamento, enquanto que na macrodrenagem as medidas são tomadas ao longo dos próprios cursos hídricos que cortam a região (TUCCI, 2007). Além disso, as medidas podem ser de natureza estrutural ou não estrutural.

#### **Medidas estruturais**

Medidas estruturais são as obras de engenharia que buscam reduzir o risco de inundações, modificando a resposta do sistema quando da ocorrência de um evento chuvoso. Segundo Tucci (2005) elas podem ser divididas em extensivas ou intensivas. As medidas estruturais extensivas são aquelas que procuram modificar a estrutura física da bacia. As principais ações deste tipo de medida são alterações na cobertura vegetal e uso do solo - visando à redução dos picos de cheia - e o controle de erosão, para diminuir os índices de assoreamento. Contudo, essas intervenções são possíveis apenas em pequenas bacias, sendo impraticáveis para grandes áreas. As medidas estruturais intensivas, por sua vez, agem diretamente nos cursos hídricos, podendo ser divididas naquelas que aceleram, retardam ou facilitam o desvio do escoamento para outras áreas.

Assim, as medidas estruturais são projetadas para um evento de chuva com tempo de retorno razoável para a finalidade em questão. No entanto, sempre existirá a probabilidade de

que ocorram eventos mais intensos àqueles utilizados para os parâmetros de projeto, mas nem sempre a população está ciente disso. Por isso, considera-se que as medidas estruturais podem criar uma falsa sensação de segurança, visto que protegem uma área até certo ponto; no momento em que esse patamar é superado, os danos podem ser inclusive maiores do que em situações anteriores à intervenção.

### **Medidas não estruturais**

As medidas não estruturais podem, por sua vez, minimizar os danos e reduzir os custos de proteção de áreas urbanas; isto pelo fato de que elas são do tipo preventivas e partem do princípio de “conviver” com as inundações. Contudo, tais medidas, apesar de consideravelmente menos onerosas, exigem um alto nível de planejamento e, provavelmente devido a essa característica, não são devidamente priorizadas nos países em desenvolvimento. Além disso, muitas vezes “sacrificam” áreas que poderiam ser utilizadas para desenvolver economicamente uma região afim de priorizar a segurança.

As principais intervenções não estruturais correspondem ao zoneamento das áreas inundáveis, construções à prova de enchentes, sistemas de previsão e alertas e seguros de inundação (TUCCI, 2007).

Ainda que sejam medidas de difícil implementação pela administração pública dos municípios, as medidas não estruturais podem ser notadas em diversos Planos Diretores, principalmente pelas propostas de zoneamento. Além dessa regulamentação do uso da terra, os zoneamentos têm estipulado áreas inundáveis das cidades ou então adotado cotas mínimas de construção, a fim de melhorar o convívio com eventos extremos.

Entretanto, uma das maiores dificuldades da implementação de medidas não-estruturais é a comprovação dos benefícios que cada uma dessas ações poderá gerar, além da impopularidade dessas medidas frente à população. Segundo Dougal (1969), o estado de Iowa, nos Estados Unidos, enfrentou, entre 1950 e 1960, diversos eventos severos de inundações, levantando a necessidade por um maior planejamento da ocupação urbana na região. Ainda assim, a implementação de um plano de zoneamento para a planície de inundação em questão só foi possível mediante convencimento da administração pública dos ganhos advindos dessa medida não estrutural, mostrando que os danos associados às inundações na região não eram altos suficiente para justificar economicamente os elevados gastos com medidas estruturais (DOUGAL, 1969). Com isso, percebe-se que esses empecilhos são relatados desde as primeiras tentativas de ordenação de planícies de inundação, ratificando a importância da busca por melhores e mais eficientes soluções de

gestão dessas áreas, o que até os dias de hoje representam grandes dificuldades principalmente para o poder público.

### **Influência das medidas de controle no risco de inundação**

Uma vez que o gerenciamento de inundações está intimamente ligado à definição do risco, é indispensável o conhecimento de como ele será alterado em função de cada uma das medidas de controle de cheias. Tanto as medidas estruturais quanto as não estruturais influenciam, de alguma forma, as condições para o risco de inundação. Medidas estruturais (como barramentos, diques e bacias de retenção) são geralmente utilizadas quando o interesse é a diminuição do perigo de inundação, uma vez que tais ações interferem nas características físicas da bacia, diminuindo a probabilidade de inundação e controlando os níveis e duração das cheias. Já ações que ordenam a ocupação da região afetada, uma vez que asseguram um desenvolvimento futuro compatível com o perigo de inundação, resultam na redução da exposição da população e dos bens, reduzindo conseqüentemente o prejuízo associado a cada inundação. Finalmente, a diminuição da vulnerabilidade está associada a medidas que possibilitem uma melhor resposta e recuperação mais rápida dos danos sofridos pela região atingida. Estas influências estão esquematizadas na Tabela 4-2 a seguir.

**TABELA 4-2: MEDIDAS DE CONTROLE QUE AFETAM O RISCO**

<b>MODIFICAÇÃO DO PERIGO</b>	<b>MODIFICAÇÃO DA EXPOSIÇÃO</b>	<b>MODIFICAÇÃO DA VULNERABILIDADE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Barramentos</li> <li>▪ Bacias de retenção</li> <li>▪ Diques</li> <li>▪ Derivação de canais</li> <li>▪ Alterações no canal do curso hídrico</li> <li>▪ Gestão da bacia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zoneamento de uso do solo</li> <li>▪ Aquisição das áreas de risco</li> <li>▪ Planejamento</li> <li>▪ Regulamentação das construções</li> <li>▪ Construções à prova de cheias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Previsão e alerta de cheias</li> <li>▪ Planos de resposta a emergências</li> <li>▪ Conscientização e preparação da comunidade</li> <li>▪ Ações de recuperação pós-cheias</li> <li>▪ Seguros de inundação</li> </ul>
<b>MEDIDAS ESTRUTURAIS</b>		<b>MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS</b>

Fonte: Adaptado de Kobayashi e Porter (2012)

#### **4.2.5. AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE INUNDAÇÕES**

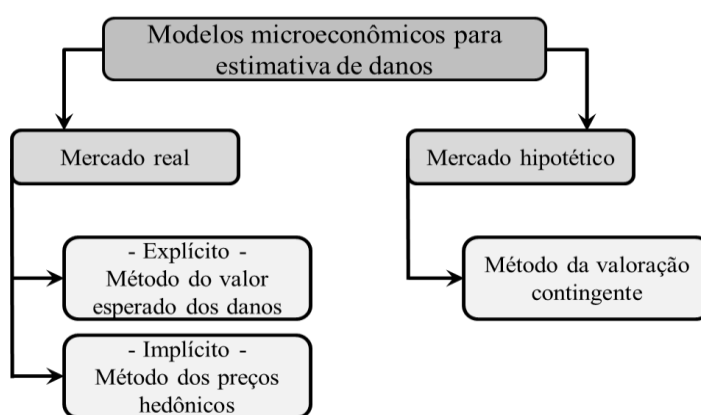
Na gestão de inundação, levar em conta o risco de prejuízo causado por um evento ainda é um conceito relativamente novo, inclusive para países desenvolvidos, como os EUA, conforme ratificam Messner *et al.* (2007). Tradicionalmente, as medidas de proteção são baseadas em decisões políticas, que muitas vezes destinam investimentos sem considerar aspectos técnicos que os justifiquem. Por outro lado, quando da existência de estudos concretos de probabilidade de inundação para definição das áreas suscetíveis, estes

difficilmente consideram o risco do prejuízo na escolha de estruturas de proteção. Dessa forma, é comum que sejam realizadas grandes e onerosas obras de contenção de cheias, assegurando que inclusive áreas de menor valor agregado sejam protegidas.

Nas análises de risco de inundação (ou risco do prejuízo), é atribuído, a cada magnitude dos eventos, um prejuízo, que estará intimamente ligado às características da região afetada. Com isso, é possível traçar estratégias de investimento, otimizando medidas a serem propostas àquelas já existentes, para considerar todos os benefícios e custos das políticas de gestão de inundação. Nesta análise, inicialmente é necessário especificar quão grande é o risco atual em termos de prejuízo; determinar as potenciais formas de redução de risco e seus respectivos custos; e, finalmente, determinar se a forma de redução de risco é adequada, comparando-se o custo de investimento ao respectivo benefício.

De todas as fases dessa análise, aquela que demanda maior esforço é, sem dúvidas, a estimativa de danos. Enquanto que, para a determinação do risco e magnitudes da uma inundação, têm-se diversos modelos hidrológicos bem conhecidos, modelos econômicos vêm sendo adaptados a fim de auxiliar na estimativa dos danos por inundação. Tais métodos utilizam, sobretudo, técnicas analíticas, nas quais se coletam dados para posteriormente comparar com os estimados pelo modelo. Os métodos mais tradicionais utilizados na análise de danos de inundação são os microeconômicos, que podem basear-se em mercados reais (método do valor esperado dos danos ou método dos preços hedônicos) ou hipotéticos (método da valoração contingente) (CANÇADO, 2009).

**FIGURA 4.6 MODELOS PARA ESTIMAR OS DANOS ECONÔMICOS DA INUNDAÇÃO.**



**FONTE: ADAPTADO DE CANÇADO (2009)**

Tanto a avaliação de contingente quanto a hedônica partem do princípio que o mercado é capaz de incorporar o risco de inundações. A análise hedônica baseia-se na disponibilidade a pagar de um mercado real, ou seja, existe a incorporação pelo mercado imobiliário dos custos

associados a regiões inundáveis ou não. Dessa forma, a diferença entre os valores de imóveis semelhantes nessas duas áreas seria equivalente ao custo de inundação. Contudo, tal avaliação depende da memória de inundações passadas. Já no método de valoração contingente, buscase avaliar junto à população qual seria a disponibilidade a pagar por medidas de proteção contra inundações, considerando alguns cenários hipotéticos. Tendo em vista que esta disponibilidade a pagar é geralmente relacionada ao aumento ou criação de um novo imposto, tal medida frequentemente não é muito bem vista pelos moradores, mesmo quando enfatizado que o investimento poderá resultar na diminuição da frequência de inundações. Ainda, da mesma forma que a análise hedônica, o método de contingente depende da memória de inundações (CANÇADO, 2009; MACHADO, 2005).

Outra avaliação baseada em um mercado real é o método do valor esperado de danos. Tal análise depende de um inventário de bens locais, traçando uma relação entre as características das inundações e respectivos danos. Destarte, pode-se estimar o prejuízo esperado por inundações com base em zonas sinistradas (avaliação *a posteriori*) ou por meio de cenários (avaliação *a priori*) (CANÇADO, 2009; MACHADO, 2005).

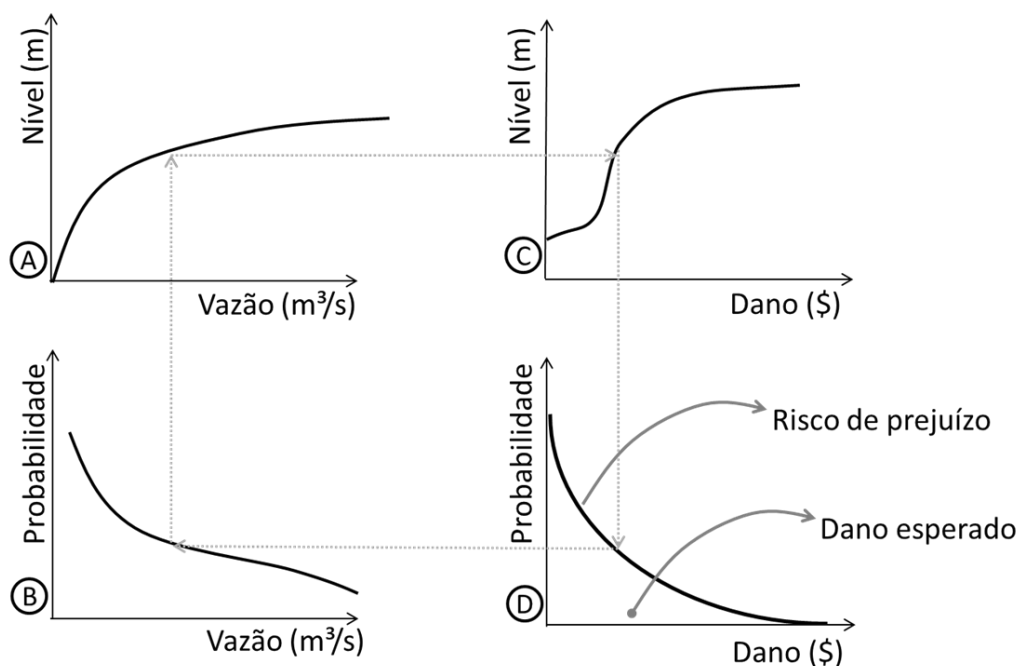
Para qualquer uma dessas análises, é necessário o estabelecimento de uma metodologia para a valoração dos bens da região a ser afetada pelos eventos de inundação; este valor estimado será equivalente ao dano evitado caso as medidas de controle de inundação sejam tomadas. Contudo, tal procedimento ainda não é uma prática no Brasil, uma vez que a valoração de danos mais comum é aquela referente somente aos prejuízos sofridos por um município após uma inundação.

A Instrução Normativa nº1 do Ministério da Integração Nacional “estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública” (BRASIL, 2012), ficando a cargo do município o encaminhamento do FIDE (Formulário de Informações do Desastre), antigo formulário AVADAN (Avaliação de danos), com informações acerca da situação após a ocorrência de um desastre, a fim de angariar recurso para restabelecimento da situação de normalidade. Porém, cabe também a cada município a valoração do prejuízo sofrido que, embora seja definido pela mesma normativa como “medida de perda relacionada com o valor econômico, social e patrimonial, de um determinado bem, em circunstâncias de desastre”, ainda não se tem uma metodologia padrão de valoração adequada à realidade brasileira.

No entanto, já existem estudos nessa área, como Machado *et al.* (2005), que apresentam uma metodologia para determinação da curva de danos de inundação em função da

profundidade de submersão. Segundo os autores, “curvas desse tipo possibilitam a avaliação global de prejuízos diretos causados por inundações segundo as profundidades de submersão em uma dada área”. A determinação desta curva faz parte do processo apresentado por Penning-RowSELL e Chatterton (1977), que busca prever o dano local relacionado a probabilidades de inundação. O primeiro passo é a obtenção da curva chave local, que relaciona vazão com nível (Figura 4.7A); outra informação importante para o processo são as probabilidades de ocorrência de cada vazão, sendo aquelas com maior tempo de retorno as mais relevantes para estudos de inundação (Figura 4.7B); a curva de dano de inundação permite a associação do nível de cheia com o prejuízo por inundação (Figura 4.7C); finalmente, de posse das demais curvas, pode-se chegar à probabilidade de dano (Figura 4.7D), informação valiosa na avaliação de custo-benefício de medidas de controle de inundação, por exemplo.

FIGURA 4.7. ESQUEMA DO PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DE DANOS POR INUNDAÇÃO.



FONTE: ADAPTADO DE PENNING-ROWSSELL E CHATTERTON (1977)

Dessa forma, Machado *et al.* (2005) discriminam em duas as possibilidades de construção de curvas de danos: a partir de dados reais obtidos em zonas sinistradas ou a partir de estimativas de danos hipotéticos. O primeiro é um método *a posteriori*, cujos danos por inundação são quantificados após um evento. O método *a priori* prega a construção de modelos de danos para diferentes setores da cidade, com base nos potenciais efeitos de inundações sobre os bens locais. A metodologia proposta por estes autores combina estes dois enfoques, iniciando pela pesquisa e identificação dos danos decorrentes de um evento de inundação de referência, com aplicação de questionários junto à população das áreas afetadas.

Os danos por inundação são então relacionados a quatro fatores: qualidade da edificação, área construída, estado de conservação da edificação e conteúdo das áreas atingidas. Uma vez que essas características estão diretamente relacionadas ao poder aquisitivo dos moradores, a amostragem da coleta de dados foi dimensionada para o município com base nas cinco classes socioeconômicas adotadas pelo Critério Brasil (ABEP, 2015).

Os prejuízos à construção foram então estimados, pelos orçamentos de reforma para a reparação das áreas atingidas, com base em quatro padrões construtivos: alto, normal, baixo e proletário. Em seguida, cada padrão construtivo foi caracterizado conforme mais nove itens: os tipos predominantes de revestimento de paredes externas e internas da edificação, cozinha e banheiros, os pisos e acessórios para a cozinha e os banheiros e o material predominante de portas e janelas. O dano ao conteúdo das propriedades atingidas, por sua vez, pode ser mensurado pela quantidade, tipo, qualidade e idade de bens duráveis expostos (móveis, eletrodomésticos, elementos de decoração), relacionados, por sua vez, à classe socioeconômica do morador, discretizadas pelo Critério Brasil. A quantificação dos danos ao conteúdo baseou-se na metodologia proposta por Penning-Rowsell e Chatterton (1977), que relaciona o prejuízo à profundidade de inundação dos bens em questão.

Uma vez que não é simples a realização de inventários de danos e conteúdo dos domicílios em área de risco de inundação, Tachini (2010) propôs uma metodologia de análise de danos a partir de uma abordagem sintética, sendo que os prejuízos foram estimados com base num imóvel padrão, tipo unifamiliar e de um pavimento. Assim como o que foi proposto por Machado *et al* (2005), a metodologia aplicada por Tachini (2010) também considera a profundidade de submersão como principal variável para a determinação dos danos. Com isso, foram estabelecidas relações entre o nível d'água e as características da região atingida pela inundação (como área construída e do lote, tipologia construtiva e ano da edificação) para quantificação dos prejuízos à edificação, ao conteúdo e referente à limpeza.

A discretização da área de estudo também deve ser um dos critérios para aplicação da metodologia. Conforme Salgado (1995), o tamanho da unidade que se irá adotar depende da disponibilidade de dados e do nível de detalhamento que se quer. Assim, para cada unidade de área, determina-se a profundidade média e a área inundável. A população atingida será, portanto, proporcional à área inundada e os respectivos danos, dependentes do nível de submersão.

Cunha e Taveira-Pinto (2011) apresentam uma metodologia de determinação de dano semelhante; no entanto, é utilizado o programa HEC-FDA (*Flood Damage Reduction*

*Analysis*), desenvolvido, pela *U.S. Army Corps of Engineers*. Tal programa permite realizar uma análise de dano baseada no risco de inundação, calculando o prejuízo anual esperado. O diferencial apresentado por esse estudo é o padrão de valoração das estruturas potencialmente atingidas pela inundação, que foi feito através de um inventário local e consulta a agências imobiliárias.

Na mesma linha, Foudi *et al.* (2014) estudaram uma proposta de ordenação do uso e ocupação da terra com base na estimativa de risco de inundação. Para isso, foram estimados os impactos para os setores residenciais, não residenciais, agrícolas e ambientais, na cidade de Zaragoza (Espanha). A metodologia propõe que o risco de inundação depende de dois fatores. O primeiro seria o dano anual esperado, que é utilizado para determinar locais e setores prioritários. O outro fator compreende as curvas dano-probabilidade, as quais fornecem informações da distribuição do risco, considerando a intensidade da cheia para determinar a magnitude do dano. Com isso, é possível estimar uma distribuição espacial do risco, indicando as localidades com maior prejuízo, orientando, assim, as políticas de prevenção.

#### 4.3. MODELOS HIDROECONÔMICOS

A modelagem hidroeconômica, apesar de ainda incipiente no Brasil, surgiu por volta de 1960-70 em regiões áridas como Israel e sudeste dos EUA (HAROU, 2009). O princípio básico deste pensamento é a valoração do recurso hídrico e respectivos sistemas, de forma que possam ser comparados a demais bens com valor econômico agregado. Os modelos propostos por esse conceito podem ser resolvidos tanto por simulação quanto por otimização. A representação temporal das entradas no modelo, por sua vez, poderá ser de forma determinística, estocástica ou dinâmica, e sua integração, modular ou holística.

A simulação consiste no teste de diferentes cenários, gerados pela questão “e se?”; dessa forma, modificações são propostas, buscando posterior comparação da influencia da variação de determinados detalhes. Embora mais simples e passíveis de executar sistemas mais complexos que na otimização, esse modelo apenas investiga os cenários propostos, ou seja, as decisões acerca de quais variações serão testadas devem partir do operador. Já na otimização, o objetivo é verificar “o que é melhor?”. Assim, dentro dos limites indicados pelo operador, o programa computacional varre uma gama de possibilidades, buscando a melhor alternativa para o objetivo proposto. A partir dessa solução ótima definida, é possível determinar também qual será a influência no objetivo final da variação dos parâmetros utilizados, com base no seu valor marginal.



Ainda, tanto modelos de simulação quanto de otimização podem ser determinísticos – trabalhando com condições de contorno e resultados determinados –, estocásticos – que consideram a probabilidade das entradas e parâmetros – ou dinâmicos, considerando a variação temporal e, assim, a atualização do valor presente. Por fim, o método de resolução poderá ser por integração modular, onde cada submodelo é processado separadamente, ou holística, conectando todos eles e resolvendo de uma única vez. Obviamente, quanto mais complexo o modelo, maior deverá ser a capacidade computacional, bem como o conhecimento do operador. (HAROU, 2009).

Nos estudos de inundações, não deve ser analisado apenas o evento máximo que poderá ocorrer, mas sim uma combinação que compreende o conhecimento da hidrologia local e avaliação da frequência dos diferentes eventos; as características hidráulicas e como uma inundação irá se propagar na região; e a avaliação econômica dos prejuízos, através do risco e dano esperado (MESSNER *et al.*, 2007). Dessa forma, anterior à decisão por quaisquer medidas de gerenciamento de inundações, é preciso o entendimento dessa dinâmica, além de propor estudos que convirjam para a melhor alternativa. A melhor alternativa, por sua vez, é aquela que apresenta resultados considerando tanto fundamentos econômicos quanto técnicos, sociais e ambientais (PENNING-ROUSELL *et al.*, 2005).

Uma vez levantadas essas informações, é possível associar a cada medida os benefícios e custos de investimento das decisões. Para tal comparação, portanto, é necessário traduzir todos os ganhos (ou prejuízo evitado) para medidas monetárias, identificando os riscos de cada tipo de gerenciamento, de forma que se maximize o retorno para a população.

É importante ressaltar que a melhor opção nem sempre será aquela mais popularmente aceita. Pode-se chegar a conclusões de que a melhor medida será a convivência com inundações, em oposição às grandes obras de contenção de cheias, uma vez que, independentemente do projeto, este apenas será economicamente viável quando os benefícios excedem os custos de implementação (PENNING-ROUSELL *et al.*, 2005).

## 5. METODOLOGIA

A metodologia deste estudo divide-se inicialmente em duas análises: a obtenção das manchas de inundação e a avaliação dos danos econômicos. Essas análises servem como base para a estimativa posterior da probabilidade do dano associado a inundações, bem como da verificação das melhores combinações custo-benefício de medidas estruturais e não estruturais para o gerenciamento de inundações urbanas. O município de Lajeado serviu

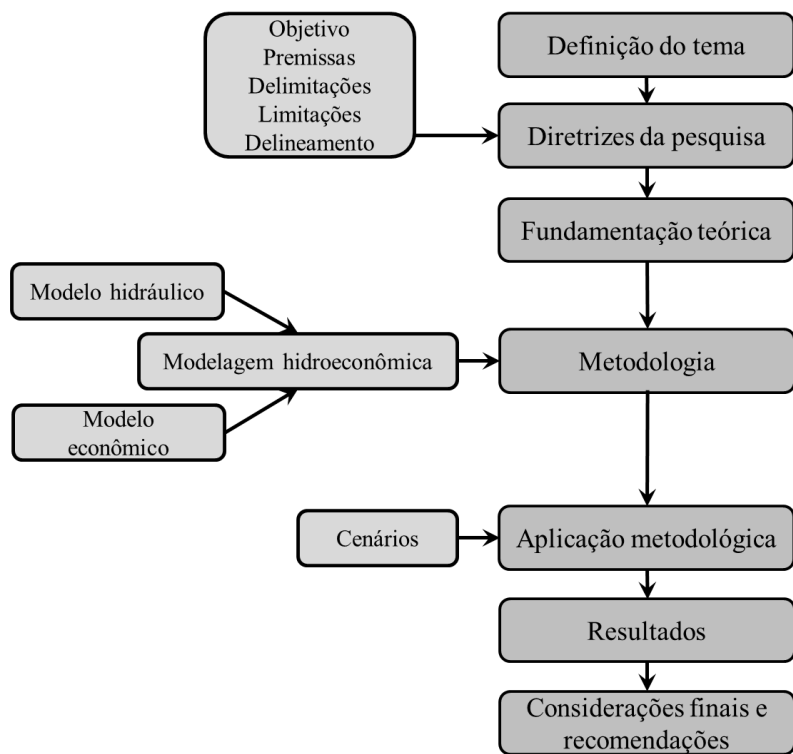
como unidade de estudo e, após a aplicação do modelo hidroeconômico (o qual simulou o comportamento hidráulico associado às características socioeconômicas locais), foi proposta uma análise combinações de medidas para se alcançar a melhor solução possível para a situação.

O comportamento hidráulico da região foi simulado pelo programa HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Centers River Analysis System*) (USACE, 2015), estabelecendo os níveis de inundação atingidos na cidade de Lajeado em cada uma das seções transversais consideradas no rio Taquari, associados aos diferentes tempos de retorno estabelecidos na regionalização de vazões para o local. De posse desses níveis, juntamente com a topografia da região, foi possível a obtenção de um mapa de áreas inundáveis, pela extensão para o programa ArcGIS, o HEC-GeoRAS (USACE, 2015), o qual compôs uma das entradas para a análise econômica. Para auxiliar no gerenciamento já existente pelas defesas civis locais, os resultados do mapeamento das inundações, bem como os respectivos prejuízos, foram relacionados aos níveis atingidos no Porto de Estrela, principal local de acompanhamento da evolução das cheias na região.

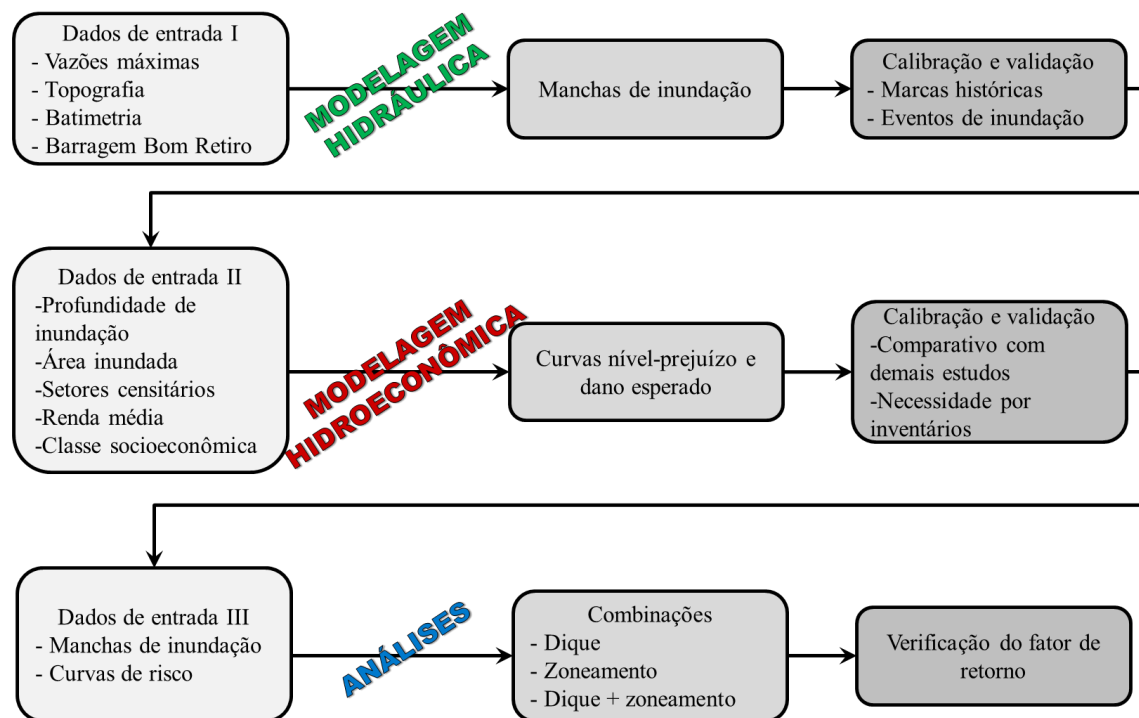
A avaliação econômica foi discretizada por setores censitários, delimitados pelo IBGE. A determinação do prejuízo foi realizada pela metodologia *a priori*, ou seja, pela estimativa dos danos passíveis de ocorrer nas áreas inundáveis do município, dependente da profundidade média de submersão estimada para cada setor. Sobrepondo as informações de caracterização socioeconômica dos setores às áreas de inundação simuladas, foi possível estimar o dano associado a cada tempo de retorno. Isto serve como base para a identificação das combinações possíveis de medidas de controle (zoneamento e/ou dique de contenção).

Como resultado final, a relação entre os custos e benefícios das duas medidas propostas, aplicadas às características locais, resultou em uma análise de risco de prejuízo, com o objetivo de fornecer ao poder público mais embasamento para a tomada de decisão referente aos investimentos em proteção. Os esquemas a seguir apresentam a estratégia metodológica, a qual será melhor explicada nos itens que seguem.

**FIGURA 5.1. FLUXOGRAMA DA PESQUISA.**



**FIGURA 5.2. DETALHAMENTO DA METODOLOGIA PROPOSTA.**



## 5.1. MODELO HIDRÁULICO

A modelagem hidráulica aqui proposta teve dois objetivos principais:

- i. Verificação da resposta do curso hídrico para o escoamento de vazões de diferentes tempos de retorno (TR);
- ii. Delimitação das áreas inundáveis para os respectivos TR.

Os dois objetivos indicados buscam como resultado a obtenção da caracterização da planície de inundação da região, associada às probabilidades para cada área. Para isto, se fez necessária inicialmente a análise do primeiro ponto, o qual busca a modelagem hidráulica propriamente dita para o trecho do curso d'água de interesse. Nesta fase da metodologia, o interesse foi estabelecer os perfis da linha d'água para cada uma das vazões de entrada, com as diferentes probabilidades de excedência. Uma vez obtidos os níveis atingidos nas diferentes seções para cada uma das vazões de entrada, delimitam-se as respectivas áreas de inundação. Além disso, estima-se a profundidade de submersão pela associação da cota da linha d'água com a cota do terreno, para cada discretização de área. Esse tipo de metodologia é bastante difundido e constantemente utilizado para delimitação de zonas de inundação, conforme apresentam Magalhães *et al.* (2013), Alcoforado e Cirilo (2001) e Castilho *et al.* (s.d.).

### 5.1.1. LEVANTAMENTO DAS INFORMAÇÕES EXISTENTES

Para o bom monitoramento hidrológico das inundações, inicialmente deve ser realizada a caracterização da bacia hidrográfica em questão, com dados das séries históricas de vazões e níveis, disponíveis a partir das estações fluviométricas existentes na região, perfil longitudinal do curso hídrico principal, cheias históricas. Além disso, tendo em vista o objetivo do mapeamento das áreas propensas a inundações, busca-se levantamentos topográficos já existentes, principalmente para as áreas de risco, idealmente detalhados com curvas de níveis de 0,5 m a 1 m, conforme Tucci (2007). Outro ponto fundamental, para posterior calibração do modelo, é o levantamento das marcas históricas de inundação, que podem ser obtidas junto à Administração Pública do município, registros de fotografias, notícias de jornais, ou então com relatos dos moradores nos locais já atingidos.

### 5.1.2. LEVANTAMENTO TOPO-BATIMÉTRICO DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS

O nível d'água ao longo do percurso considerado depende do regime de escoamento do curso hídrico e das características desse canal. Com o levantamento batimétrico das seções transversais do rio, bem como da topografia local da planície de inundação, obtém-se uma modelagem mais representativa da região. Neste levantamento, é importante a identificação de elementos que ocasionem modificações nas condições de escoamento, bem como pontes, mudanças na declividade ou na largura, bancos de areia, entre outros. Castilho *et al.* (s.d.)

ênfatizam que todas as seções levantadas devem estar referenciadas no mesmo *Datum* altimétrico da base planialtimétrica utilizada para o mapeamento das áreas inundáveis.

### 5.1.3. ANÁLISE DAS VAZÕES MÁXIMAS LOCAIS

Tendo em vista que a extensão das manchas de inundação estão diretamente relacionadas às vazões, realiza-se então a avaliação da magnitude e da frequência das vazões locais. Enquanto que vazões menores são mais frequentemente observadas, as de maior intensidade – e que conseqüentemente tem maior potencial de causar prejuízos – têm menor probabilidade de ocorrência. Tal relação é atrelada ao tempo de retorno (TR), que é relacionado à probabilidade de que ocorra um evento de cheia com magnitude igual ou maior à respectiva vazão. Assim, quanto maior o TR de uma cheia, maior será a sua magnitude. Para a determinação das zonas de inundação conforme a intensidade de cheia, são avaliadas diferentes respostas do sistema hídrico para diversos TRs.

Utilizando a séries históricas de vazões e/ou níveis no exato local de estudo, pode ser feito um estudo de frequência de eventos extremos de vazões. Para isso, ajusta-se uma distribuição estatística ao conjunto de dados, obtendo-se a relação entre vazão e probabilidade. Com isso, são extraídos os respectivos valores de vazão para demais tempos de retorno requeridos. Contudo, é comum que dados de vazões locais não estejam disponíveis, muitas vezes pela inexistência de unidades de medição ou então pela falta de manutenção e irregularidade dos dados medidos, impossibilitando, desta forma, um ajuste de distribuições representativo das características hídricas locais. Neste caso, uma alternativa é a utilização da regionalização de vazões, que consiste em ajustar uma equação de regressão entre vazões conhecidas de outras bacias àquela que não se têm dados. Com isso, é possível transportar dados existentes de outra localidade para o ponto de estudo, desde que as respectivas áreas de drenagem possuam características semelhantes. No entanto, cabe lembrar que as bacias utilizadas podem não ter a mesma resposta hidrológica para um dado evento. Além disso, deve ser evitada a extrapolação da equação de regressão para limites superiores à faixa dos dados medidos.

### 5.1.4. DEFINIÇÃO DOS PERFIS DE LINHA D'ÁGUA E MAPEAMENTO DAS ÁREAS INUNDÁVEIS

Uma vez estabelecidas as vazões de entrada, os respectivos níveis para cada seção são obtidos por meio da modelagem de escoamento. Assim, a cada seção transversal levantada, estão associados os níveis máximos atingidos para os tempos de retorno considerados. Dependendo da intensidade do evento, o perfil da linha d'água atinge apenas a calha do rio ou, então, extravasa para a planície de inundação. Interpolando os perfis de inundação das

diferentes seções, obtém-se, com o auxílio de um programa de Sistema de Informações Geográficas (SIG), as manchas de inundação para cada tempo de retorno.

Como opções de programas para simulação da hidráulica e hidrodinâmica dos cursos hídricos, tem-se o HEC-RAS, desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Center (U.S. Army Corps of Engineers)*, o qual permite a modelagem das condições de fluxo para características hidráulicas de rios, utilizado neste estudo.

Conforme é apresentado por Brunner (2010), as análises de fluxo podem ser realizadas tanto para fluxo permanente quanto não-permanente. A modelagem de fluxo permanente é destinada para calcular os perfis de nível ao longo do curso d'água para vazões constantes ou gradualmente variadas. O processamento computacional baseia-se na conservação de energia (avaliando a perda de energia de cada subtrecho pelos coeficientes de Manning e de contração/expansão), com a solução da equação de Bernoulli (1), esquematizada a seguir.

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h \quad (1)$$

Onde

1 e 2 = índice das seções consecutivas

Z = cota do fundo do canal

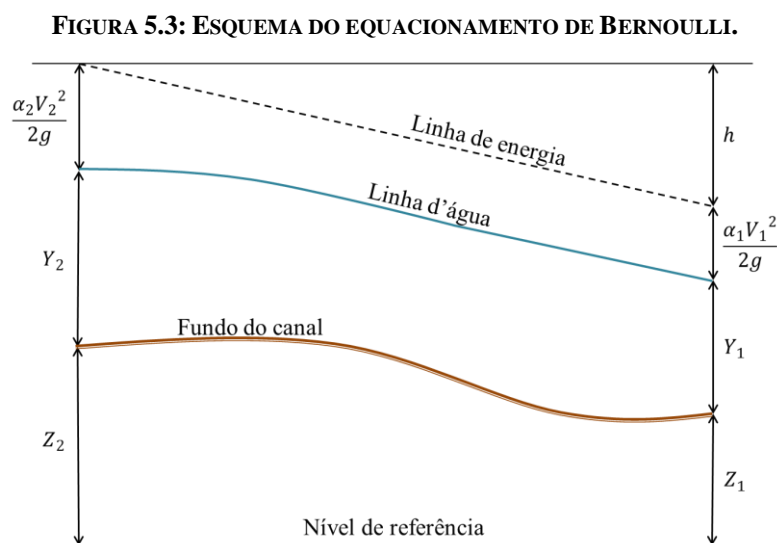
Y = profundidade da água

$\alpha$  = coeficiente de ponderação da velocidade

V = velocidade média

g = aceleração gravitacional

h = perda de energia



**FONTE: ADAPTADO DE BRUNNER (2010).**

Com base no manual do HEC-RAS, a utilização de fluxo permanente se torna interessante principalmente quando da necessidade de estudos de gestão de áreas ribeirinhas, como para delimitação de áreas inundáveis ou definição de seguros de inundação. Já a modelagem de fluxo não-permanente, permite avaliar a resposta do sistema para vazões variáveis, como em uma onda de cheia, verificando os níveis de água para cada intervalo de tempo por (BRUNNER, 2010). Para isso, o programa utiliza os mesmos cálculos hidráulicos da modelagem permanente; contudo, as equações são resolvidas para os princípios de conservação de massa (2) e de momento (3).

$$\frac{\delta A}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta x} - q = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{\delta Q V}{\delta x} + gA \left( \frac{\delta z}{\delta t} + S \right) = 0 \quad (3)$$

Onde

A = área da seção

Q = vazão

t = tempo

x = distância

q = aporte de vazão lateral

z = elevação da superfície d'água

S = declividade da linha de energia

O conjunto de (2) e (3) são as equações de Saint-Venant, resolvidas pelo Método de Preissmann “incondicionalmente estável”, ou seja, a solução geralmente converge para quaisquer intervalos de tempo e distância entre seções escolhidos inicialmente. Para isso, são consideradas três hipóteses:

1. O escoamento é unidimensional
2. A pressão é apenas hidroestática
3. A massa específica não varia no tempo e no espaço (hipótese dos fluidos incompressíveis)

Neste trabalho, foi utilizado o modelo de propagação permanente, uma vez que os dados de entrada de vazões disponíveis são apenas de máximos, não tendo sido desenvolvido, até o término deste estudo, os respectivos hidrogramas, que poderiam ser utilizados para uma simulação de escoamento não-permanente.

### 5.1.5. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO HIDRÁULICO

A calibração e a validação consistem na verificação de que o modelo é representativo da realidade simulada. Assim, inicialmente deve-se realizar a calibração, na qual parâmetros são ajustados conforme pontos de controle. Aplicando-se para o mapeamento de manchas de inundação, podem ser utilizadas, por exemplo, marcas históricas de eventos conhecidos de cheias, com os limites da inundação (como cruzamentos de ruas até onde a água chegou) e os respectivos níveis (com marcas nas paredes ou pontos conhecidos da cidade que ficaram submersos). Dessa forma, a simulação é executada para a respectiva vazão desse evento e, adequando alguns parâmetros, como o coeficiente de rugosidade da calha do rio e planície de inundação, os níveis atingidos pela água no modelo devem ser compatíveis às marcas históricas. Parte-se então para a validação, na qual outros eventos devem ser simulados por esse mesmo modelo, gerando resultados que se assemelhem à realidade.

### 5.2. MODELO HIDROECONÔMICO

Uma vez que a modelagem econômica está intimamente ligada com a etapa anterior, de modelagem hidráulica, é necessário relacionar os parâmetros econômicos à hidráulica local. Nesta fase, foram, então, atrelados a cada mancha de inundação os prejuízos potenciais da região.

Para isso, buscou-se uma metodologia de quantificação dos danos a qual fosse mais facilmente aplicada com os dados já disponíveis nos municípios, sem a necessidade de levantamentos de campo nem inventário de danos. Isso se deve ao interesse de que se possa replicar, posteriormente, a metodologia para os demais municípios que também sofrem com inundações na região. Assim, algumas variáveis envolvidas nas estimativas foram padronizadas de acordo com a classe socioeconômica de cada setor censitário. Para isso, utilizou-se o critério estabelecido pela ABEP, apresentado na Tabela 5-1, bem como o critério de Enquadramento das Edificações proposto pela ABNT (Tabela 5-2), como base para as áreas dos imóveis.

**TABELA 5-1: CRITÉRIO DE DIVISÃO DE CLASSES SOCIOECONÔMICAS DE ACORDO COM A RENDA FAMILIAR.**

<b>Classe</b>	<b>Renda familiar média (R\$)</b>
A1	9733.47
A2	6563.73
B1	3479.36
B2	2012.67
C1	1194.53
C2	726.26
D	484.97
E	276.7



FORNE: ABEP (2005)

TABELA 5-2: CARACTERÍSTICAS DAS RESIDÊNCIAS PADRÃO POR CLASSE SOCIOECONÔMICA.

Classe <sup>1</sup>	Tipo de Residência <sup>2</sup>	Código <sup>2</sup>	Descrição <sup>2</sup>	Área (m <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>
E	Popular	RP1Q	Sala, 1 quarto, banheiro e cozinha	39,56
D, C	Padrão Baixo	R1 – B	Sala, 2 quartos, banheiro, cozinha e área de serviço	58,64
B	Padrão Normal	R1 – N	Sala, 3 quartos (1 suíte), banheiro, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda/abrigo.	106,44
A	Padrão Alto	R 1 – A	Sala, 4 quartos (2 suítes e 1 closet), banheiro, cozinha, dependências completas de serviço e varanda/abrigo	224,82

<sup>1</sup>ABEP (2007)

<sup>2</sup>ABNT (2005)

FORNE: TACHINI (2010)

### 5.2.1. QUANTIFICAÇÃO DOS DANOS

A metodologia proposta por Tachini (2010) considera o prejuízo por inundações proporcional à profundidade de submersão e a característica dos domicílios. O grande facilitador para a aplicação dessa metodologia se dá pela utilização de um imóvel padrão para a análise dos danos, o que resulta em dados de prejuízo unitário, sendo este possível de ser extrapolado para quaisquer áreas inundadas, de qualquer padrão construtivo. Assim, esta ideia foi incorporada à metodologia de quantificação de danos do presente estudo, que ponderou o dano para a área inundada de cada setor censitário, para cada mancha de inundação, sendo a soma do estimado para cada setor o resultado para o município de Lajeado como um todo.

Para isto, foram analisadas quatro tipologias de danos: às edificações, ao conteúdo dos domicílios, referente à limpeza após a inundação e pelos dias parados.

#### i. Danos à edificação

O modelo proposto considera o dano à edificação conforme Tachini (2010), o qual identifica o Custo Unitário Básico de Construção Civil (CUB) como unidade base para a quantificação do prejuízo. O CUB representa um indicativo de preço para construções novas e por isso Tachini (2010) propôs a utilização de um fator de depreciação para os imóveis de 5%. A Tabela 5-3 apresenta os valores do CUB para o Rio Grande do Sul. Além disso, a profundidade de submersão também influencia na intensidade do dano à edificação; logicamente, quanto maior o nível, maior será o percentual do imóvel danificado. Da mesma forma, a classe socioeconômica também tem relação com o montante de prejuízo, uma vez que as classes mais altas tendem a ter um padrão de construção mais caro. Essa ponderação é feita pela

Tabela 5-4.

**TABELA 5-3: CUSTO UNITÁRIO BÁSICO DE CONSTRUÇÃO PARA CADA CLASSE SOCIOECONÔMICA.**

<b>Classe</b>	<b>CUB jun/15 (R\$/m<sup>2</sup>)</b>
A	1849,38
B	1474,67
D, C	1188,36
E	1209,77

**FONTE: SINDUSCON (2015)**

**TABELA 5-4: PERCENTUAL DE DANO À EDIFICAÇÃO DOS IMÓVEIS PADRÃO, CONFORMA ALTURA DE SUBMERSÃO.**

<b>Classe</b>	<b>Altura de submersão (m)</b>				
	<b>1,00</b>	<b>2,00</b>	<b>3,00</b>	<b>4,00</b>	<b>5,00</b>
A	16%	20%	24%	28%	32%
B	13%	17%	20%	26%	28%
C e D	13%	16%	18%	24%	26%
E	14%	17%	20%	26%	28%

**FONTE: TACHINI (2010)**

Assim, o dano à edificação é calculado, para cada setor atingido pela inundação, pela equação que segue.

$$DE = 0.05 \times CUB \times Ped \times Ac \quad (4)$$

Onde

DE: dano residencial relativo à edificação [R\$]

CUB: custo unitário de construção civil [R\$/m<sup>2</sup>]

Ped: percentual de dano à edificação

Ac: área construída inundada [m<sup>2</sup>]

## ii. Danos ao conteúdo

A valoração do conteúdo foi admitida como proporcional a cada classe socioeconômica a partir de um conteúdo padrão para um domicílio classe B2 (média de Lajeado). Os itens considerados foram adaptados de Tachini (2010) e seus valores atualizados com uma pesquisa de mercado local. Além dos artigos listados no Apêndice C, foi considerado um adicional de 15%, referente aos demais itens, como roupas, utensílios domésticos, peças de decoração, gêneros alimentícios, etc. (TACHINI, 2010). Uma vez que esse conteúdo padrão refere-se à classe B2, para a estimativa do dano nos setores censitários das demais classes, é aplicado um fator de multiplicação (Tabela 5-5). Ainda considera-se um fator de depreciação de conteúdo

de 0,5, simplificando o tempo de uso de todos os itens igual à metade da sua vida útil (SALGADO, 2005).

**TABELA 5-5: FATOR DE MULTIPLICAÇÃO PARA AS DEMAIS CLASSES SOCIOECONÔMICAS.**

<b>Classe</b>	<b>FM (padrão B2)</b>
A1	1.64
A2	1.46
B1	1.21
B2	1.00
C1	0.79
C2	0.60
D	0.46
E	0.25

**FONTE: TACHINI (2005)**

Igualmente ao dano à edificação, o conteúdo de um domicílio também será danificado proporcionalmente à altura de submersão. Essa ponderação está apresentada no Apêndice C, adaptada de Penning-Roswell e Chatterton (1977).

Assim, o dano ao conteúdo de cada setor atingido pela inundação é estimado pela equação que segue.

$$DC = \left( \frac{0.5 \times Cip \times Fm}{Aip} \right) \times Ac \times Pdc \quad (5)$$

Onde

DC: dano relativo ao conteúdo das residências [R\$]

Cip: custo do conteúdo do imóvel padrão [R\$]

Fm: fator de multiplicação

Aip: área do imóvel padrão do setor censitário [m<sup>2</sup>]

Ac: área construída inundada [m<sup>2</sup>]

Pdc: percentual de dano ao conteúdo

Ainda, uma vez que se está utilizando unidades padrão, a relação entre área construída (Ac) e área do imóvel padrão (Aip) pode ser substituída pelo número de domicílios atingidos pela inundação.

### iii. Custo de limpeza

O custo de limpeza está relacionado ao prejuízo em termos de horas gastas para a limpeza do domicílio atingido. A partir do levantamento de Penning-Roswell e Chatterton (1977), Tachini (2010) atualizou a variável de tempo gasto por pessoa a limpeza de um metro quadrado, apresentado na Tabela 5-6.

**TABELA 5-6: TEMPO MÉDIO DE LIMPEZA CONFORME A PROFUNDIDADE DE SUBMERSÃO.**

<b>Nível de Submersão (m)</b>	<b>Horas/m<sup>2</sup> pessoa</b>
0.50 a 0.75	0,25
0.75 a 1.00	0,5
1.00 a 1.50	1,0
1.50 a 2.00	3,0
2.00 a 3.50	5,0
3.50 a 5.00	8,0

FONTES: TACHINI (2005)

Com isso, em função também da renda familiar e demais encargos sociais que incidem no salário (estimado por Tachini (2010) a uma taxa de 1,9502), o dano relativo à limpeza é dado por:

$$DL = \frac{Rf}{POP_I} \times \frac{Es}{Hm} \times Tl \times Ac \quad (6)$$

Onde

DL: dano relativo à limpeza da residência [R\$]

Rf: renda média mensal familiar [R\$/mês]

Es: encargos sociais

Pop<sub>I</sub>: número de pessoas atingidas pela inundação

Tl: tempo de limpeza [horas/m<sup>2</sup> pessoa]

Ac: área construída inundada [m<sup>2</sup>]

Hm: total de horas de trabalho por mês [h/mês] (média de 21 dias trabalhados ao longo do mês e 8 horas diárias)

#### iv. Danos por dias parados

Assim como o custo de limpeza, o prejuízo causado pelos dias parados tem relação ao tempo perdido em função do evento de inundação. Contudo, este dano está relacionado ao impacto na economia local, ou seja, o investimento gasto em empregados que não puderam contribuir com seu trabalho em função da paralização do município frente à inundação.

Dessa forma, dependendo da duração média da inundação no local (considerada como 3 dias), o dano por dias parados é estimado pela equação que segue.

$$DDP = \frac{RF}{Nd} \times Pop_I \times D_I \quad (7)$$

Onde

DDP: dano relativo aos dias de paralização das áreas atingidas [R\$]

Rf: renda média mensal familiar [R\$/mês]  
Nd: número de dias do mês  
Pop<sub>i</sub>: número de pessoas atingidas pela inundação  
D<sub>i</sub>: duração da inundação [dias]

### 5.2.2. PREJUÍZO TOTAL DE INUNDAÇÃO

Com os tipos de danos que foram estimados apresentados, o prejuízo total por inundação será:

$$D_{total_i} = DDP_i + DE_i + DC_i + DL_i \quad (8)$$

$$D_{TR} = \sum_i D_{total_i} \quad (9)$$

Sendo

D<sub>total</sub>: dano total médio [R\$]

i: setor censitário considerado (variando de 1 ao número de setores atingidos pela inundação)

D<sub>TR</sub>: dano total para o TR considerado

### 5.2.3. RISCO DE PREJUÍZO

Risco de prejuízo nada mais é do que o risco de inundação propriamente dito (*vide* índice 4.2.1). No entanto, uma vez que o conceito de risco é abordado de diferentes formas na literatura, optou-se em especificá-lo.

A determinação do prejuízo de inundação tem como objetivo principal a possibilidade de avaliação do montante de prejuízo que uma cheia poderá causar na região. Além disso, análises desse tipo são indispensáveis para a verificação da validade ou não de investimentos em medidas de controle de inundações, tanto estruturais quanto não estruturais. No entanto, o montante efetivo do prejuízo deve estar associado à respectiva probabilidade de ocorrência. Ou seja, a área inundável por uma cheia de grande magnitude terá um dano associado maior do que aquela inundada por eventos de menor intensidade; contudo, a probabilidade de ocorrência desse evento mais intenso é menor. Dessa forma, é necessário trabalhar com a ideia de risco, no qual o prejuízo real de uma inundação esta relacionado com a probabilidade de ocorrência desse dano:

$$RP_{TR} = p_{TR} \times D_{TR} \quad (10)$$

Onde

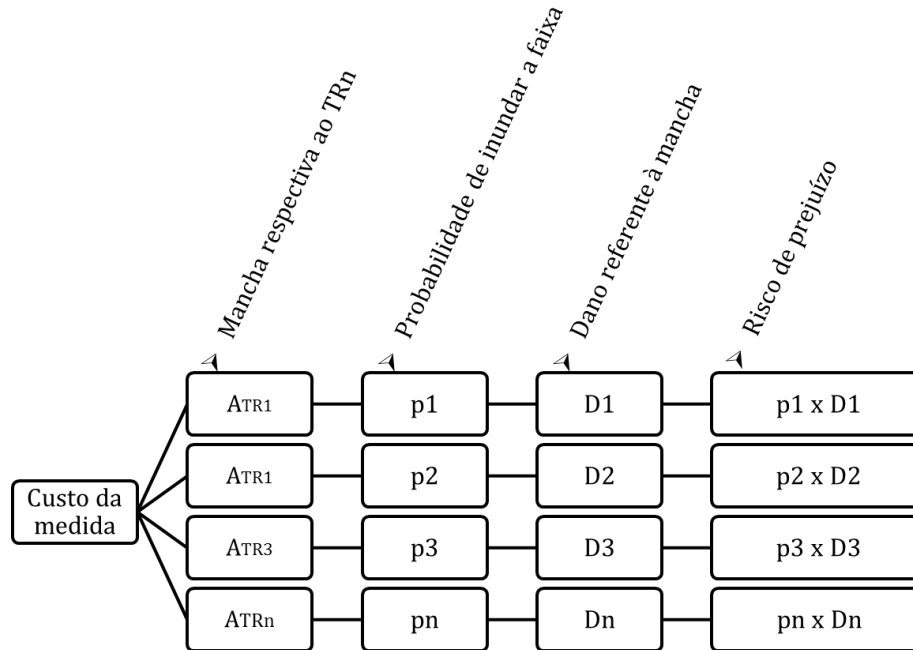
RP: risco de prejuízo de cada mancha [R\$]

TR: tempo de retorno da cheia [anos]

p<sub>TR</sub>: probabilidade do evento

D<sub>TR</sub>: dano associado à mancha de inundação ocasionada pela cheia de tempo de retorno TR [R\$]

FIGURA 5.4: FLUXOGRAMA PARA OBTENÇÃO DO RISCO DE PREJUÍZO.



Então, para cada tempo de retorno, existirá um risco, o qual depende tanto da probabilidade de ocorrência da cheia quanto do uso e ocupação da região. O que tem se utilizado para verificar se medidas de controle de inundação são eficazes e justificam o investimento, é a comparação do dano esperado, o qual corresponderia à soma de todos os prejuízos sofridos ao longo do tempo. A diferença entre o dano esperado com a presença ou ausência das medidas de controle seria um indicativo de valoração, ou seja, se o custo de investimento é compensado pela redução do prejuízo total de inúmeras inundações (PENNING-ROUSELL *et al*, 2005).

O dano esperado vem do conceito de esperança matemática e é estimado pela integral da curva de risco. Este é o valor que deverá ser comparado com o custo das medidas propostas.

$$DEsp = \int_0^1 D(p_{TR}) dp_{TR} \quad (11)$$

Com

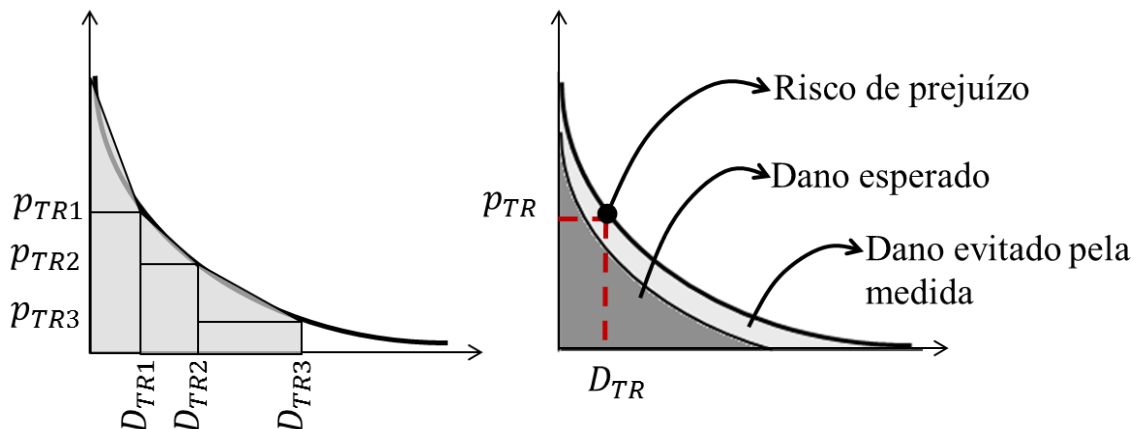
DEsp: Dano anual esperado

D(pTR): Função probabilidade de dano, ou curva de risco

Porém, se a determinação do dano associado a uma mancha de inundação já é de difícil estimativa, a definição de uma função que o associe à probabilidade é ainda mais imprecisa.

Para isso, essa integração pode ser aproximada pela área gerada pela curva de risco. A Figura 5.5 ilustra o esquema para a estimativa de integração realizada, pelo método dos trapézios, e de que forma foram comparados os diferentes cenários de medidas propostas.

**FIGURA 5.5: DETERMINAÇÃO DO DANO ESPERADO ATRAVÉS DO CONCEITO INTEGRAÇÃO DA CURVA DE RISCO.**



Com estas curvas estimadas para a região, é possível prever qual seria o impacto, em valores monetários, de medidas de controle de inundação. Especificamente para as duas medidas propostas por esse estudo, dique de contenção e zoneamento, esse diagrama sofre alterações que modificam a probabilidade do dano; enquanto que a construção de um dique de contenção modifica a curva chave do curso d'água, uma vez que altera sua seção transversal, o zoneamento irá variar a relação entre nível e prejuízo causado. Portanto, pode-se comparar o custo benefício de diversas medidas de controle com risco de prejuízo e o custo de implantação de cada.

#### 5.2.4. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO HIDROECONÔMICO

Ainda que não sejam muito frequentes as articulações dos municípios que sofrem com cheia em associar os danos sofridos com a magnitude de um evento de inundação, é comum o levantamento, pela Defesa Civil, dos prejuízos sofridos, principalmente por que tal informação é necessária nas declarações de calamidade pública. Também é importante ressaltar que esse levantamento é extremamente relevante para uma análise inicial do risco na região, bem como para utilizá-lo na a calibração dos modelos de previsão de danos, pois retratam uma situação real a qual deverá ser aproximada. Uma vez quantificado o dano e identificado o ano de ocorrência, associa-se, pelas análises hidrológicas, o prejuízo sofrido ao tempo de retorno do evento de cheia e, com isso, determina-se as probabilidades de ocorrência do dano.

No entanto, os tipos de custos considerados pela Defesa Civil estão geralmente associados aos custos da instituição para o atendimento à população e investimentos que deverão ser

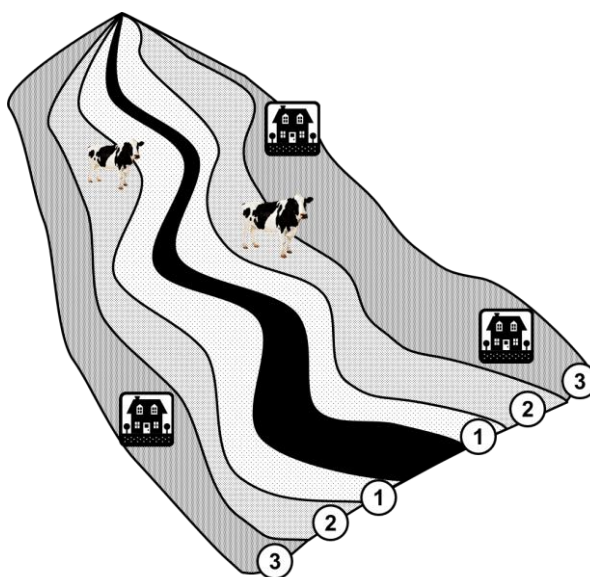
feitos em infraestrutura básica, como limpeza de ruas, e de emergência, como retirada de pessoas de áreas de alto risco. Já os considerados pela metodologia aqui proposta, envolvem não só os custos de auxílio imediato à população, mas também aqueles referentes aos prejuízos decorrentes do evento de inundação. Ainda, a Defesa Civil tem como objetivo auxiliar as localidades com risco iminente ou que sofreram danos severos em um evento de inundação; neste estudo, por sua vez, foi possível obter toda uma área atingida pela inundação, e que, embora sofram prejuízos, nem sempre necessitam dos recursos da Defesa Civil.

### 5.3. SIMULAÇÃO DAS MEDIDAS DE CONTROLE

Seguindo os objetivos já apresentados, a escolha por medidas de gerenciamento das inundações foi feita por um comparativo do custo-benefício de alguns cenários propostos. Inicialmente, foi avaliada a influência do ordenamento territorial no município, com uma proposta de zoneamento; posteriormente, foi testada a influência da alocação de um dique de contenção ao longo do rio Taquari e dos principais arroios de Lajeado; por fim, também foram avaliadas as vantagens em se assumir ambas medidas em conjunto.

Na proposta de zoneamento, foi considerada a reordenação das áreas passíveis de ocupação e daquelas com alguma restrição de ocupação. Segundo Tucci (2009) e WRC (1971), a planície de inundação do rio pode ser dividida em três partes principais, conforme exemplifica a Figura 5.6.

**FIGURA 5.6: ZONAS DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO.**



A zona de passagem de inundações (zona 1) é a região que permite o escoamento hidráulico das cheias, ou seja, é a área mais frequentemente inundável e que, por isso, deve estar totalmente livre de construções. A zona com restrições (zona 2) também é passível de



inundações, embora com menor frequência. Esta é a região em que a regulamentação do uso deve ter maior atenção nas propostas de zoneamento, pois, embora possa ser permitida a sua ocupação, ainda constituem áreas de risco. Portanto, os usos prioritários da zona 2 devem ser aqueles possíveis de conviver com cheias, como parques, quadras esportivas, agricultura, habitações com mais de um piso, etc. A zona 3 é considerada como zona de baixo risco, ou seja, possui pequena probabilidade de inundar e por isso sem restrições de uso.

Assim, a utilização do zoneamento de inundações para ordenamento da ocupação na região deve considerar a capacidade de escoamento do curso principal, a fim de que sejam estipuladas as zonas conforme o tempo de retorno das cheias na região. As zonas de inundação são indicadas, segundo os resultados da modelagem hidráulica que, associada ao nível do terreno, possibilitará o mapeamento local das áreas com maior e menor risco associado. Embora estudos tradicionais de propostas de zoneamento sugiram um TR de 100 anos para as zonas de risco (Water Resource Council, 1971), diversos outros (PENNING-ROUSELL et al, 2005; MESSNER et al, 2007; FOUADI, OSÉS-ERASO e TAMAYO, 2014) têm defendido a avaliação de diversas intensidades de eventos para que o zoneamento esteja condizente com as características locais. Dessa forma, a definição de qual TR será utilizado como parâmetro para a zona de maior risco bem como em quantas classes será subdividido o zoneamento a ser proposto devem ser discutidos após a finalização da modelagem hidráulica.

Além disso, é importante lembrar que, na maioria dos casos, o zoneamento surge como uma alternativa para minimizar o impacto que as populações já residentes junto ao rio vêm sofrendo. Portanto, geralmente, o reordenamento territorial enfrenta dificuldades de implementação, uma vez que já existem construções bem consolidadas nas áreas indicadas como de risco, sendo possibilitada apenas uma aplicação parcial de zoneamento, pois a desocupação da chamada “zona 1” e as restrições impostas à “zona 2” se tornam inviáveis tanto financeiramente quanto pelo descontentamento da população.

Por essa razão, não raro é levantada a possibilidade de construção de medidas estruturais, especialmente de diques de contenção, quando se trata de cidades com desenvolvimento adjacentes às margens de cursos hídricos. Foi, portanto, avaliado de que forma um dique poderia contribuir para a redução do prejuízo por inundações. Da mesma forma que o zoneamento, é necessário verificar quais são as características do escoamento na região, de que forma ele se espraia pela planície de inundação e quais as alturas de nível d’água atingidas em cada ponto do município. Somente após essas verificações, é possível propor um dique de contenção condizente com as necessidades locais.

De posse desses resultados, simula-se novamente o escoamento hidráulico, agora com a presença da estrutura de contenção, para verificar o custo-benefício. O benefício da construção de um dique levará em consideração o custo de oportunidade da terra que anteriormente não era ocupada em função das frequentes inundações, além da diminuição da frequência de inundações de menor intensidade. Apesar disso, deve-se ter ciência de que uma estrutura como um dique tem seu funcionamento de conter cheias até certa vazão para a qual foi dimensionado, devendo ser analisados também os prejuízos adicionais que poderão ser causados por um evento extremo de cheia. Além disso, dentre os custos dessa medida, estão os de construção e manutenção e os de remoção/relocação da população residente na área entre a margem do curso d'água e o dique, as quais não poderão lá permanecer.

Além desses dois cenários (zoneamento e dique) será ainda proposto um terceiro cenário, o qual deverá incorporar tanto a medida estrutural quando o ordenamento de uso e ocupação do solo.

## 6. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NA ÁREA DE ESTUDO

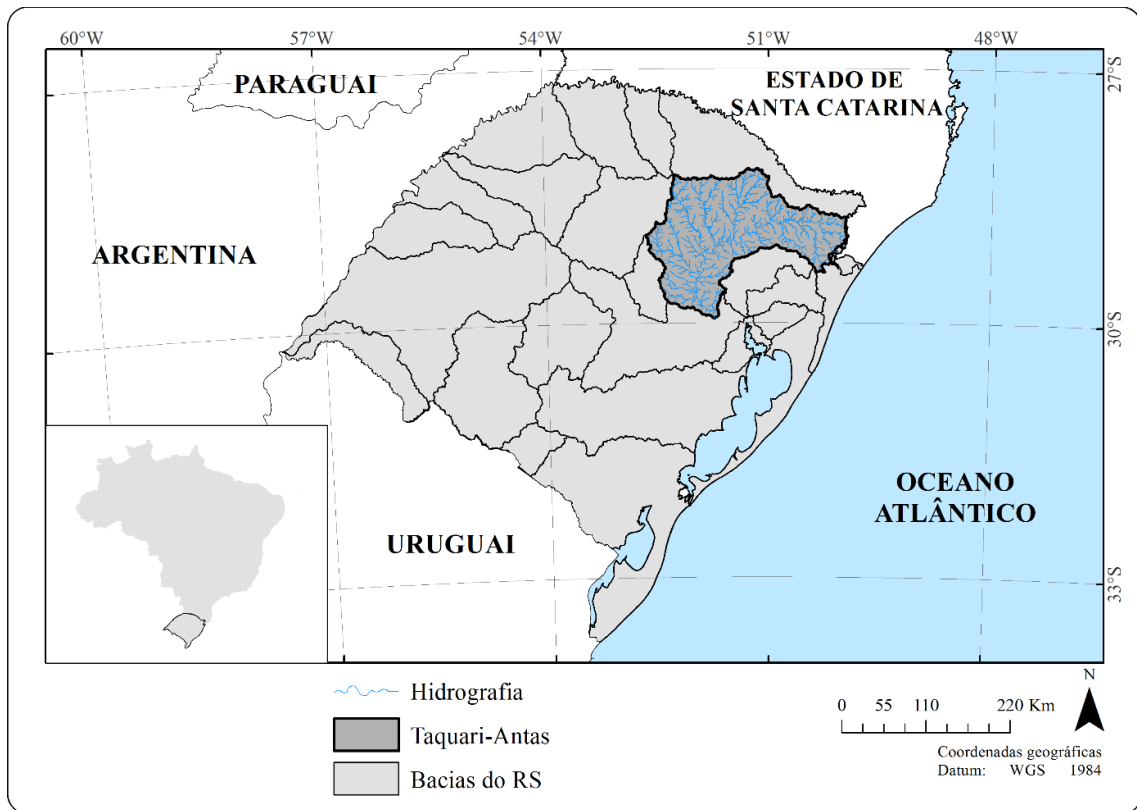
### 6.1. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS

A bacia do Taquari-Antas tem em torno de 26 mil km<sup>2</sup> e está localizada na porção nordeste do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 6.1), tendo, ao Norte, a bacia do rio Uruguai, ao Sul as bacias dos rios Jacuí e Caí e à Oeste a bacia do rio Jacuí. O rio das Antas nasce nos municípios de Cambará do Sul e Bom Jesus e, na confluência com o rio Guaporé, segue com o nome de rio Taquari, até desembocar no rio Jacuí, totalizando cerca de 530 km de extensão de curso principal da bacia. Além dos dois rios principais que dão nome à bacia, os principais afluentes são os rios Camisas, Tainhas, Lajeado Grande, da Prata, Carreiro, Guaporé, Forqueta e Taquari-Mirim (LARENTIS *et al.*, 2008).

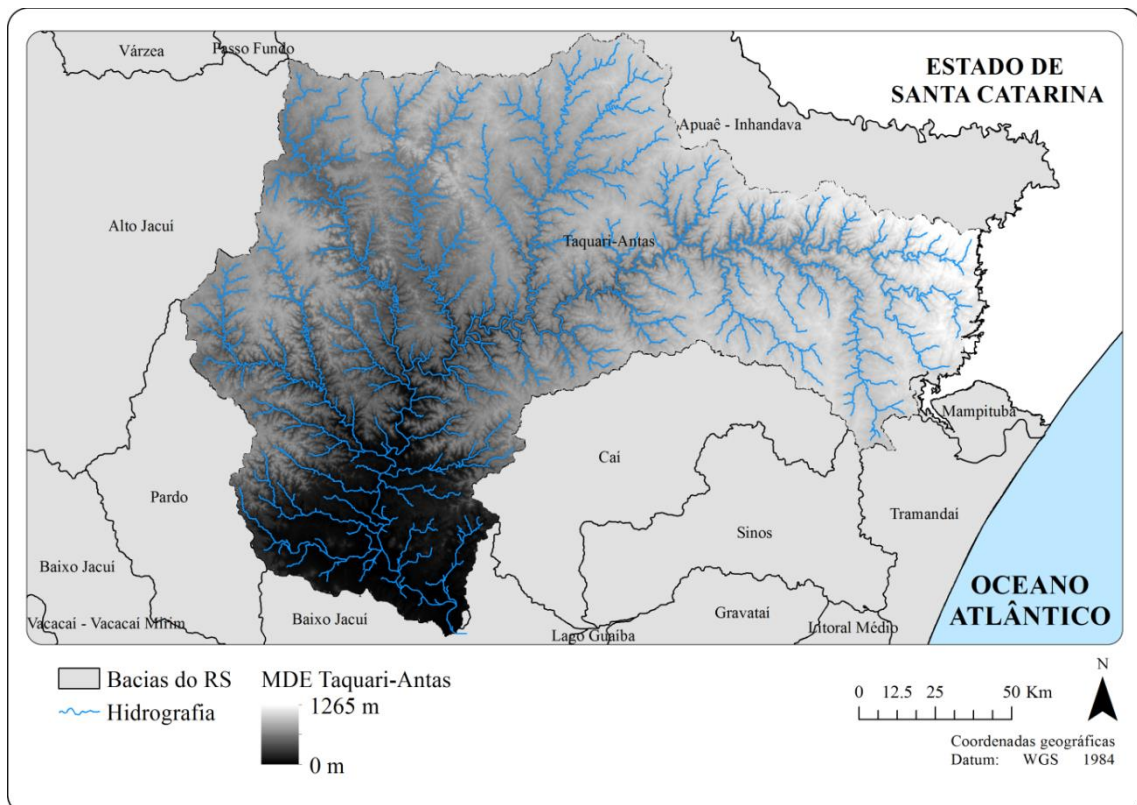
Conforme levantado pelo projeto “Desenvolvimento e preparação da implantação de uma estratégia integrada de prevenção de riscos associados a regimes hidrológicos na bacia do Taquari-Antas”, a bacia do Taquari-Antas apresenta relevo ondulado, solos pouco desenvolvidos e amplitude altimetria em torno de 1.265 m, sendo que praticamente 60% da bacia têm altitudes acima de 631m. Até o município de Muçum, a hidrografia é formada por vales encaixados de alta declividade, o que favorece o escoamento até esse ponto; em seguida, o rio apresenta planície com meandros e margens mais largas, além de menores declividades,

caracterizando a região do Vale do Taquari (região mais escura na Figura 6.2). Devido a essas características, é no Vale do Taquari que ocorrem as principais inundações da bacia.

**FIGURA 6.1. LOCALIZAÇÃO DA BACIA TAQUARI-ANTAS.**

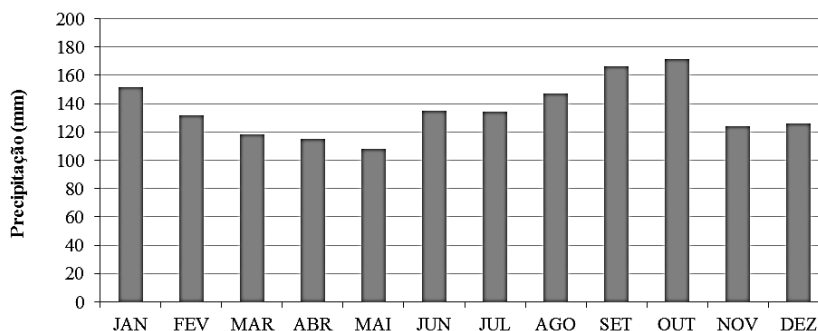


**FIGURA 6.2. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO DA BACIA TAQUARI-ANTAS**



Segundo ainda levantamentos do projeto, a região da bacia Taquari-Antas apresenta dois tipos climáticos preponderantes, subtropical e temperado (pela classificação climática de Köppen), os quais se caracterizam por chuvas bem distribuídas ao longo do ano. Pelos estudos também se obteve a média pluviométrica anual na bacia de 1624 mm, e valores máximos no mês de outubro, conforme mostra a Figura 6.3.

**FIGURA 6.3. DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL NA BACIA DO TAQUARI-ANTAS.**



**FONTE: IPH (2015)**

Para fins de comparação do regime hidrológico, o posto fluviométrico localizado no município de Muçum foi analisado para verificação das vazões locais. Nele foram registradas vazões em que a média de longo período foi de 357 m<sup>3</sup>/s, enquanto que a média de cheia chegou a 5.066 m<sup>3</sup>/s. O posto de Muçum é considerado estratégico, uma vez que está localizado na junção do rio das Antas com o Taquari, representando o ponto mais a montante do Vale do Taquari.

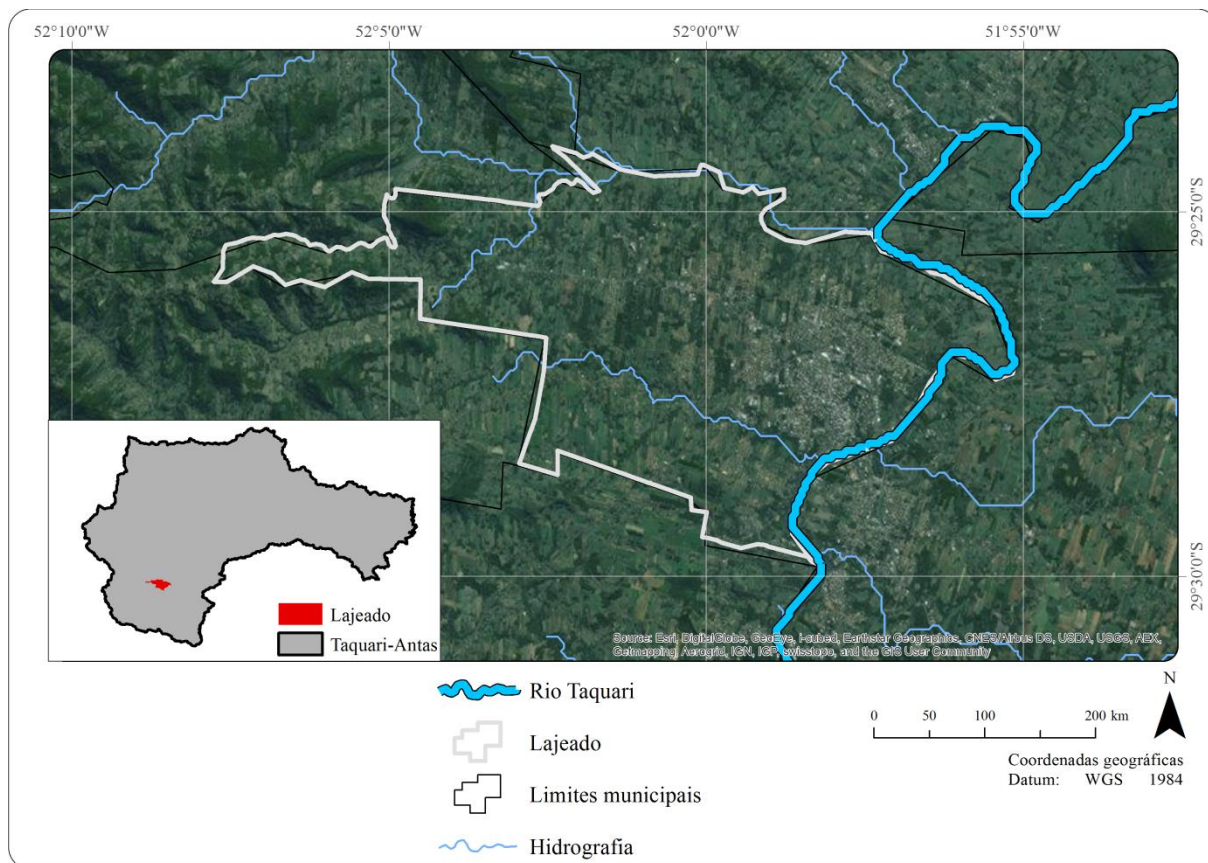
## 6.2. CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE LAJEADO

Conforme seus registros, Bombassaro e Robaina (2010) identificaram o município de Lajeado como uma das principais cidades atingidas pelas cheias na bacia do Taquari-Antas, tendo como área de contribuição cerca de 20 mil km<sup>2</sup>. Ao longo de 27 anos (1980 a 2007), foram identificados registros de 24 eventos de inundação, sendo que em metade dos casos foi decretado situação de emergência. Em 2007 foi registrada uma das maiores cheias ocorridas na região, precedida de quatro dias de chuvas e média acumulada na bacia de 246,5 mm, resultando em uma elevação do rio Taquari nas imediações de Lajeado em quase 13 m, atingindo a cota 26 m na cidade (ECKHARDT, 2008). Além das características hidrogeomorfológicas do Vale do Taquari, um fator relevante para o grande número de registros de inundações é a proximidade da área urbana de Lajeado com o rio Taquari, como se pode observar na Figura 6.4.

O município de Lajeado foi a localidades escolhidas para aplicação da metodologia proposta devido ao seu histórico frequente de inundações e pela necessidade de uma maior

gestão de tais eventos críticos. Assim, o presente estudo realizou avaliações hidroeconômicas que buscaram fornecer subsídio para a decisão por medidas de controle a serem adotadas no município.

**FIGURA 6.4. LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE LAJEADO.**



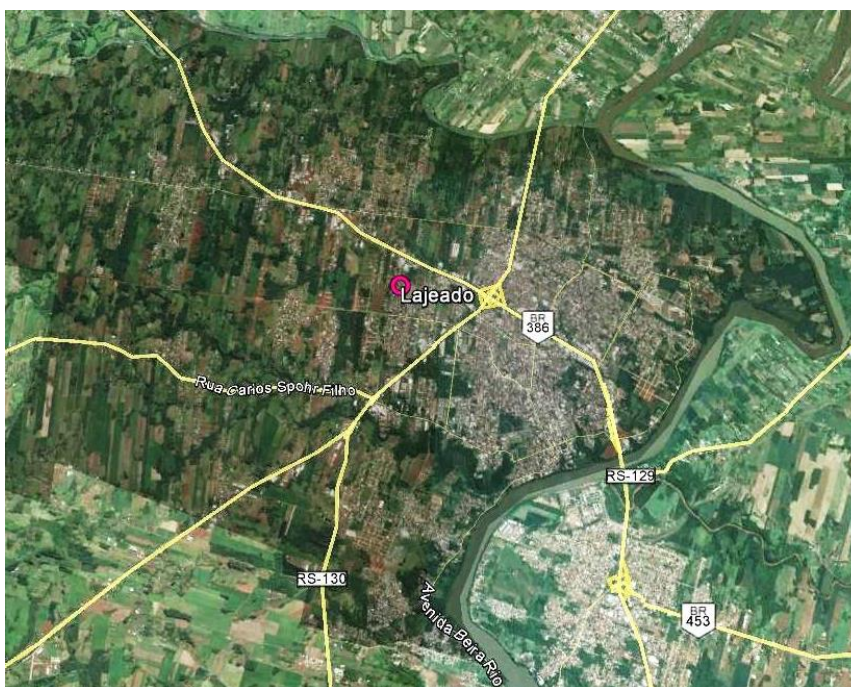
É importante destacar que, por estar localizado à margem esquerda do rio Taquari, o município de Estrela é igualmente atingido pelas mesmas inundações que Lajeado. Assim, também é necessário se considerar as características de Estrela, principalmente de topografia. Contudo, cabe ressaltar que essas informações utilizadas terão como finalidade unicamente o refinamento da modelagem hidráulica, visando uma melhor aproximação do comportamento das cheias em Lajeado, não tendo sido objeto do presente estudo a viabilidade de soluções para as inundações em Estrela. Lembra-se que, como se buscou compor uma padrão metodológico e não apenas uma metodologia para o local de estudo, nada impede que este seja aplicado, posteriormente, para demais municípios da região.

### *6.2.1. HISTÓRICO DE INUNDAÇÕES EM LAJEADO*

Lajeado teve seu início de ocupação junto às margens do rio Taquari, pela chegada dos primeiros colonizadores, e expansão urbana ao longo da BR 386, nas décadas de 1950 e 1960

(ALVES, 2010). A figura a seguir apresenta um panorama da ocupação no município, ficando clara a proximidade ao rio Taquari da mais densamente povoada área do município.

**FIGURA 6.5: SITUAÇÃO DA OCUPAÇÃO EM LAJEADO, EM 2014.**

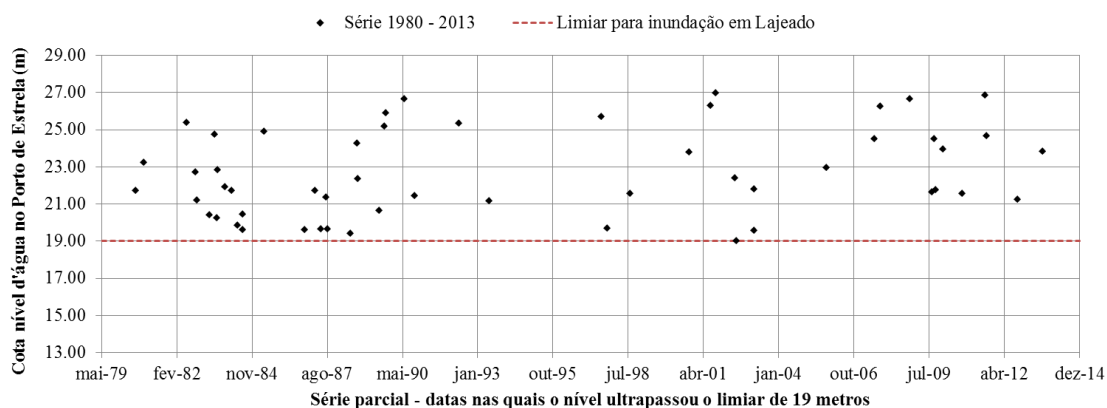


**FONTE: GOOGLE EARTH (2015)**

Pela essa proximidade ao rio, os registros de inundação são, além de frequentes, datados de muito tempo. Apesar de a histórica enchente de 1941 ter atingido diversos municípios do RS, e ser o maior evento que a população geralmente se recorda, em 1873 já ocorrera uma inundação tão severa quanto, conforme consta nos registros do livro “A História da bacia hidrográfica Taquari-Antas” (FERRI; TOGNI, 2012). O acompanhamento de eventos críticos no município se tornou mais efetivo com a instalação (em 1978) do Porto de Estrela e respectiva régua de medição de níveis, possibilitando assim que os níveis de inundações fossem registrados todos a partir de um mesmo referencial, facilitando a comparação da magnitude dos eventos. A partir de relações estabelecidas com essa régua, a Defesa Civil de Estrela também pôde registrar corretamente as cotas de inundação dos anos de 1941, 1956, 1965 e 1967, bem como todas ocorridas posteriormente.

Através da parceria firmada com o Centro de Informações Hidrometeorológicas da UNIVATES (CIH), obtiveram-se as medições dos níveis no Porto de Estrela, registrados quatro vezes ao dia, de 1980 a 2003 pela Administração das Hidrovias do Sul (AHSUL, 2007). Em conjunto com as informações fornecidas pela Defesa Civil de Estrela, foi possível observar que praticamente todos os anos é observado pelo menos um evento crítico nas cidades de Lajeado e Estrela, conforme mostra a Figura 6.6.

**FIGURA 6.6: SÉRIE DE EVENTOS CRÍTICOS (ACIMA DA COTA 19 METROS) REGISTRADOS NO PORTO DE ESTRELA.**



**FONTE: AHSUL (2007) E DEFESA CIVIL DE ESTRELA**

É importante lembrar que, embora se tenham quatro medições diárias de 1980 a 2003 realizadas pela AHSUL, este não é o padrão de registros da Defesa Civil de Estrela, uma vez que apenas são de interesse os eventos que causam inundações da região, ou seja, acima da cota 19 metros. Dessa forma, a série obtida junto à defesa civil, com dados de 1941 a 2013, apenas compreende os níveis ocorridos acima da cota 19.

Conforme o CIH, as inundações ocorridas em Lajeado são classificadas conforme sua magnitude pela Tabela 6-1.

**TABELA 6-1: RELAÇÃO ENTRE COTA DE INUNDAÇÃO E MAGNITUDE DO EVENTO.**

<b>Cota (m)</b>	<b>Magnitude</b>
19 a 22	Reduzida
22 a 25	Média
25 a 28	Grande
Maiores que 28	Extrema

**FONTE: KUREK (2012)**

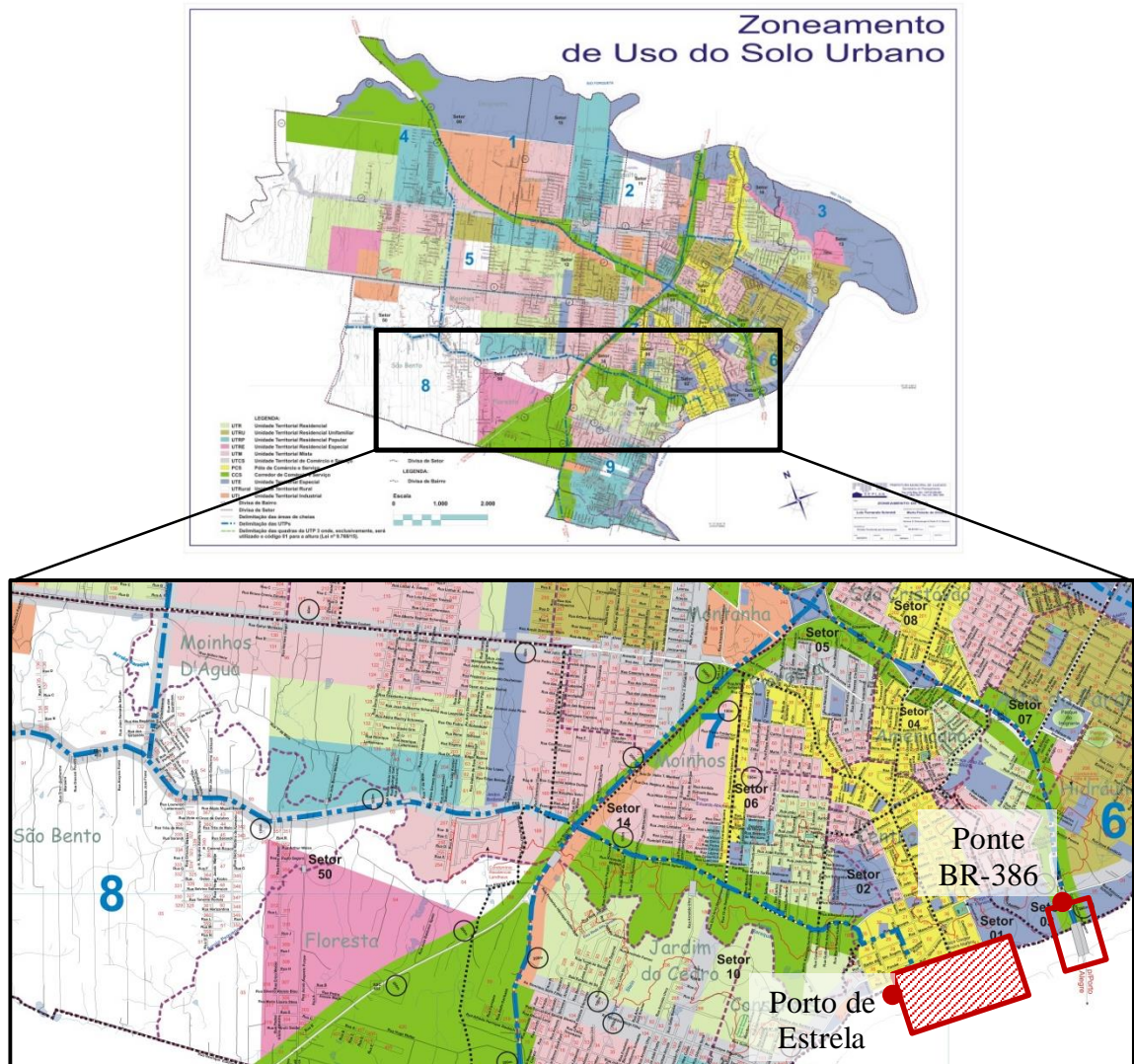
### **Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado de Lajeado**

Não são necessárias muitas análises para se perceber que o município de Lajeado sofre constantemente com inundações, uma vez que boa parte da cidade está localizada em áreas inundadas praticamente todos os anos. Ainda assim, o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado de Lajeado (PML, 2006) não traz mecanismos que regulem a renovação urbana nas áreas ocupadas inundáveis. Conforme as orientações quanto ao parcelamento do solo, embora seja vedado o parcelamento em terrenos alagadiços e sujeitos à inundação, existem casos que, mediante estudo técnico e ações que assegurem o escoamento das águas ou a proteção contra cheias e inundações, torna-se possível o parcelamento. Ainda, de acordo com o Plano Diretor, são considerados imóveis sujeitos a cheias e inundações aqueles que estiverem localizados em cota de nível inferior a 27 metros, mas sem ser apresentada nenhuma justificativa técnica para

tal. Evidencia-se, dessa forma, a fragilidade do atual Plano Diretor quanto ao ordenamento de áreas inundáveis, que abrange uma grande parte residencial e comercial do município.

Ainda assim, o município de Lajeado procura ter um maior controle da ocupação junto ao rio Taquari, onde algumas áreas estão gravadas como “especiais” (em roxo na Figura 6.7). Essas áreas ainda envolvem alguns vazios urbanos coincidentes com áreas inundáveis; para tais, permite-se a instalação de áreas de interesse público, ambiental e urbanístico. Contudo, as áreas de interesse urbanístico dividem-se em áreas de recuperação urbana, áreas de indução ao crescimento e áreas de contenção ao crescimento, não ficando claro no mapeamento essa subdivisão.

**FIGURA 6.7: MAPEAMENTO DO PLANO DIRETOR DE LAJEADO.**



**FONTE: PML (2006)**



### 6.3. ELEMENTOS PARA A SIMULAÇÃO

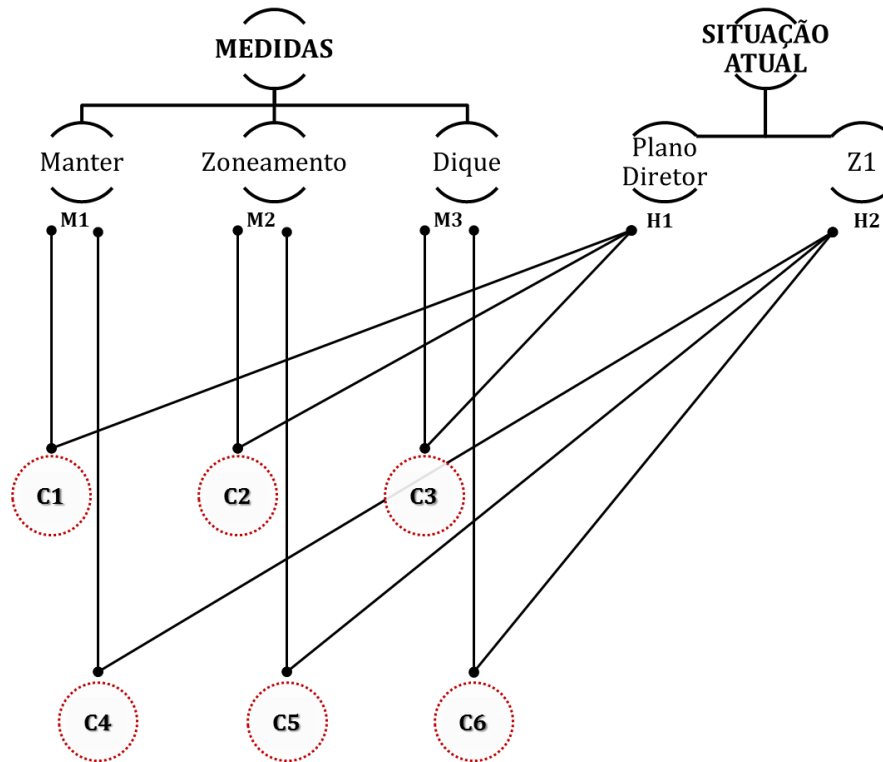
#### 6.3.1. DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS

Os cenários escolhidos para serem utilizados nessa pesquisa foram determinados com base nas intervenções já existentes e naquelas de prévio interesse local. Desde 2003, a parceria entre a UNIVATES e AHSUL vem aprimorando na região do Vale do Taquari um sistema de alertas de cheias que tem como base a medição de níveis à montante para determinação de níveis a jusante. O modelo de previsão consiste na utilização de uma curva modelada a partir da correlação linear simples entre os municípios de Veranópolis, Encantado e Estrela, utilizando uma série cronológica de cotas máximas de cheias obtidas a partir de diversos órgãos, tais como rádios locais e porto fluvial de Estrela (BOTH *et al.*, 2008). Esse sistema é complementar aos serviços das defesas civis que, pelo seu conhecimento empírico das cheias na região, verificam a possibilidade ou não de ocorrer uma inundação. Como tal sistema já está consolidado na região, não será testada, dentre as medidas não estruturais, a influência de sistemas de alerta.

Uma vez que existe uma tentativa, através do Plano Diretor, da administração pública em ordenar a ocupação em áreas inundáveis, a proposta do zoneamento de inundações vem ao encontro destes esforços. Ainda, existe uma antiga ideia na região acerca da construção de um dique junto ao rio Taquari, para conter as inundações recorrentes. Por isso, essa foi a medida estrutural escolhida nessa proposta. No entanto, sabe-se da importância em se propor alternativas menos rígidas, ou seja, nas quais se considere um conjunto ótimo de medidas; portanto, a combinação entre zoneamento e dique irá compor a análise final.

A Figura 6.8 apresenta a composição dos 6 cenários simulados (C1, C2, C3, C4, C5 e C6), de acordo com a hipótese de situação inicial de ocupação e as medidas de controle. São propostas duas hipóteses de situação atual: H1, conforme ordenamento apresentado pelo plano diretor (onde a ocupação é distribuída por toda a área do município) e H2, com uma área de não ocupação, coincidente com a primeira área do zoneamento, de passagem de cheias (Z1). Essa última aproxima-se mais da realidade de ocupação de Lajeado. Entre as medidas, são avaliadas as opções de não implementar nenhuma forma de controle (manter – M1), implementar o zoneamento (com duas zonas, Z1 e Z2 – M2) e construção de um dique ao longo do rio Taquari e principais arroios do município (M3). Na sequência, está a descrição de cada consideração feita.

FIGURA 6.8: ESQUEMA DE COMPOSIÇÃO DOS CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO.



### Situação atual

A verificação da validade das medidas aqui propostas só poderá ser feita mediante a comparação com a atual situação do município em termos de risco de prejuízo, a partir de duas hipóteses. Inicialmente, considerou-se a ocupação atual distribuída conforme constam as delimitações do Plano Diretor vigente. Como se pode perceber na Figura 6.7, as permissões de uso do solo estabelecidas não levam em conta as áreas inundáveis (apenas delimita uma região, através da linha vermelha) e nem a presença de outros locais não habitáveis, como cursos d’água ou mesmo os parques e áreas de interesse ambiental do município.

Desta forma, ao considerar que a atual população do município (conforme o CENSO IBGE 2010) teria padrão de ocupação compatível com o que especifica o Plano Diretor, o dano de inundação estimado não condiz com a realidade do município. Isso por que existem diversas áreas de ocupação prevista pelo Plano Diretor que não são habitadas justamente pelo conhecimento por parte da população de que essas são áreas de risco. Contudo, uma vez que este é o mapeamento oficial da Prefeitura, esta situação foi classificada como “hipótese 1” de condição atual.

Após as simulações iniciais pôde-se perceber, juntamente com a observação de imagens de satélite, que a área delimitada abaixo da cota 22 m é esparsamente povoada. Para se aproximar da realidade de ocupação local, a segunda hipótese de condição atual foi

considerando-se nula a presença de habitação nessa área. Além disso, como é uma região não ocupada justamente pelo fato de as inundações serem extremamente frequentes, mapeou-a como zona de acomodação de cheias, coincidindo então com a primeira faixa do zoneamento proposto.

A modelagem hidráulica foi simulada para todas as vazões dos tempos de retorno determinados, resultando no mapeamento de inundações do município de Lajeado. Com isso, para cada setor censitário obteve-se a população e domicílios afetados, proporcional ao percentual de área inundável. Com a renda mensal familiar média, cada setor foi discriminado conforme a classe socioeconômica. A estimativa dos danos depende fortemente da profundidade de submersão, que foi gerada pela extensão GEO-RAS, sendo considerada a média de cada setor censitário.

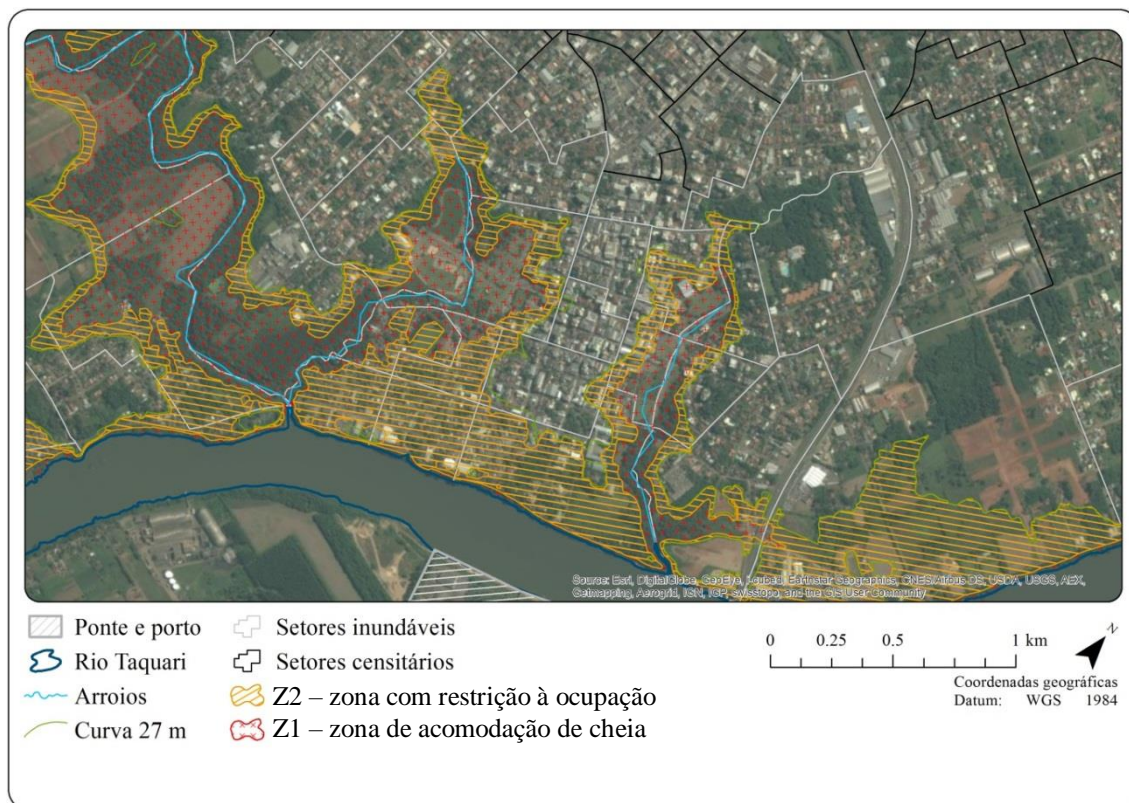
Assim, independentemente da hipótese considerada, a situação atual foi o ponto de partida para a comparação dos benefícios advindos de cada medida.

### **Zoneamento**

Como a definição das áreas do zoneamento é dependente do comportamento do escoamento na planície de inundação, as faixas foram delimitadas apenas após a simulação do modelo hidráulico. Uma dificuldade previamente levantada seria o gerenciamento da primeira zona de risco, ou seja, aquela que deveria ter sua ocupação totalmente livre de construções, o que seria difícil em uma cidade com ocupação já consolidada como Lajeado.

Contudo, conforme já explicado, foi possível identificar dois tipos de ocupação (Figura 6.9). Uma parte da área de maior recorrência de inundações (adjacente aos arroios), não é ocupada pela população (Z1: zona de acomodação de cheias; delimitada pela cota 22 m). Já na segunda faixa de maior frequência (Z2: zona de restrição à moradia; delimitada pelas manchas de TR 2, 5 e 10 anos), é onde se percebe a maior densidade de ocupações. Para essa faixa, propõe-se que apenas sejam permitidas moradias com primeiro patamar habitável a 3,5 metros do nível do terreno. Esse limiar corresponde à profundidade média das inundações na região.

FIGURA 6.9: DELIMITAÇÃO DO ZONEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS.



Entretanto, sabe-se da dificuldade de implementação de uma restrição desse tipo, uma vez que a ocupação dessa área do município está em boa parte já consolidada, sendo possível apenas a remoção da população de risco iminente e de moradias irregulares. Ainda que no presente estudo o risco de prejuízo calculado para este cenário considere a total implementação dessa medida, sugere-se que, na prática, essa regulamentação seja obrigatória apenas para as futuras construções.

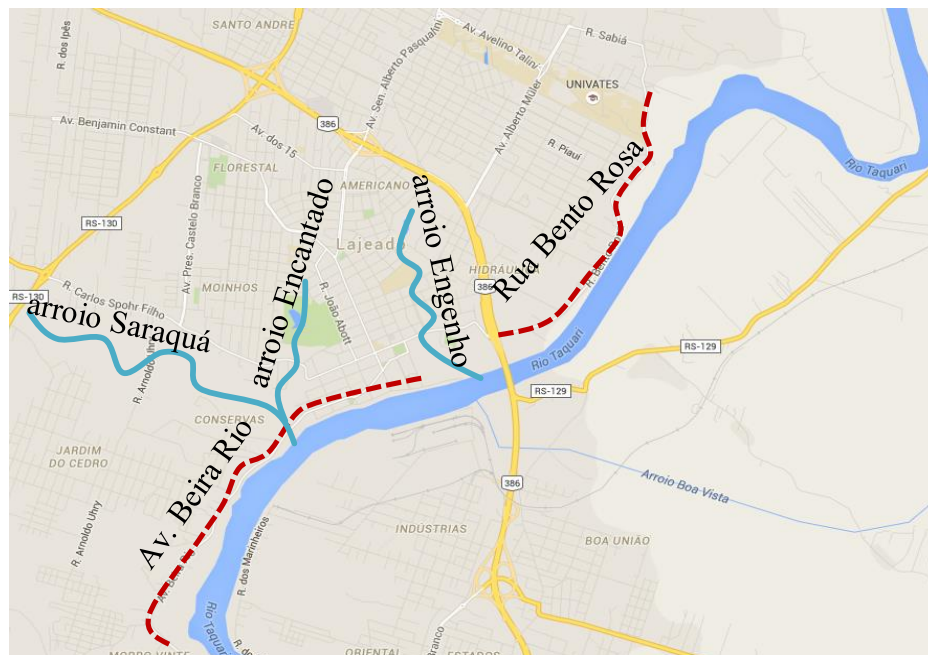
No entanto, a simples aceitação pela gestão municipal de que existirão ocupações previamente regulamentadas e suscetíveis a danos frequentes com inundações pode causar sérias onerações tanto para o município quanto para a União. Lembra-se ainda que é frequente a declaração de situação de calamidade pública quando da ocorrência de eventos de cheias na região. Dessa forma, devem ser estudadas propostas ou de recolhimento de tributos a um fundo municipal ou na forma de seguro de inundações. Essas medidas deverão ser pensadas para as antigas moradias localizadas na faixa Z2 que optarem por não se adequar às restrições, mas que, ao permanecerem em área inundável, estão se assumindo o risco de um futuro prejuízo.

### Dique

Após a caracterização socioeconômica de Lajeado, inicialmente foi proposta a análise de um dique na cidade adjacente à margem direita do rio Taquari. Verificou-se, após o

mapeamento preliminar das áreas inundáveis, que a inundação no município de Lajeado não se dá apenas pelo extravasamento das águas no rio Taquari, mas principalmente pela influência que este tem no represamento do escoamento dos arroios do município. Foi constatado que tanto a Av. Beira Rio quanto a Rua Bento Rosa e demais ruas que costeiam o rio Taquari (Figura 6.10), apresentam um desnível de cerca de 12 metros em relação ao nível médio do rio. Isso significa que apenas quando o próprio rio Taquari atinge cotas acima de 25 metros, ele extravasa para a planície de inundação.

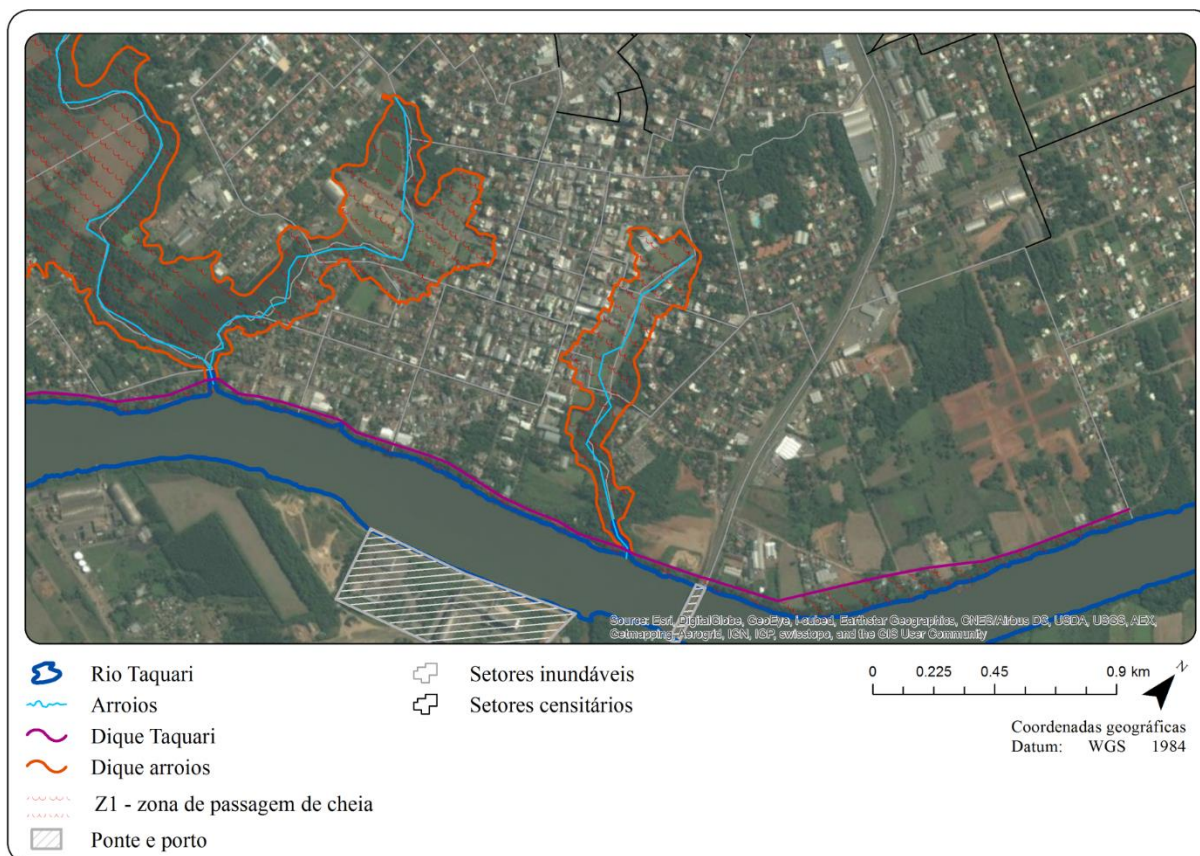
**FIGURA 6.10: LOCALIZAÇÃO DAS RUAS QUE COSTEIAM O RIO TAQUARI E PRINCIPAIS ARROIOS EM LAJEADO.**



Com isso, essas ruas já funcionam como um dique, contendo as águas do Taquari até este nível. A foz dos arroios, por sua vez, tem cotas menos elevadas e é por meio desses que as inundações de maior frequência atingem o município.

Dessa forma, pensar em um dique apenas ao longo do rio Taquari se mostra ineficiente ou no mínimo incoerente com o escoamento das cheias na região. Com isso, buscou-se adaptar a ideia do dique de contenção, propondo a elevação também das margens dos arroios, agregando diques internos de proteção (Figura 6.11).

FIGURA 6.11: DELIMITAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS DIQUES PROPOSTOS.



### Zoneamento + dique

Como os diques propostos estão localizados junto à área mais urbanizada de Lajeado, existe uma região a qual não estará protegida dos eventos de até 25 anos de recorrência. Ainda, pode ser interessante evitar ainda mais os danos quando ocorrer uma cheia que supere a capacidade de contenção do dique. Será então avaliada também a incorporação da zona de restrição a esse cenário, uma vez que a zona de acomodação de cheias já é considerada, pois não se pode permitir que pessoas habitem as áreas entre o curso d'água e o dique. A validade dessa proposta conjunta, contudo, também será avaliada em termos de custo-benefício, para fins de comparação com os demais cenários.

#### 6.3.2. DADOS DE ENTRADA

##### Vazões máximas

O posto fluviométrico 86870000 localizado no município de Lajeado (29°25' S e 51°57' O), de responsabilidade e operação pela ANA, encontra-se fora de operação. Essa estação possui apenas dois meses de dados de vazões, enquanto que para cotas existem informações entre os anos de 1939 a 1986. Tais dados de cotas poderiam ser extremamente úteis para agregar aos dados disponibilizados pela AHSUL e Defesa Civil de Estrela; contudo, percebeu-se que, pela ordem de grandeza dos valores, a medição destes foi realizada em um

referencial diferente e não identificado, impossibilitando a comparação. Tendo em vista esta carência por dados medidos no local, buscou-se por estudos já realizados em Lajeado.

Uma alternativa seria a utilização da regionalização realizada em por IPH (1991) e atualizada recentemente. No entanto, ao testar a validade dessa metodologia para regionalizar as vazões do posto de Muçum (posto próximo e com período de dados mais completo) para Lajeado, verificou-se que os resultados obtidos destoavam muito da realidade local. Algumas hipóteses foram levantadas para essa distorção. Entre elas, observou-se que o posto de medições em Muçum apresentava valores extrapolados de uma curva-chave local para eventos extremos, não tendo sido encontradas vazões efetivamente medidas para altos tempos de retorno; além disso, alguns eventos extremos sabidamente ocorridos em Lajeado, como a cheia de 1941, não estavam registrados na série de Muçum. Outra hipótese é da dificuldade de representação da regionalização para áreas maiores àquelas utilizadas no estudo de 1991, pois a regionalização geralmente é indicada para a transposição de informações de bacias maiores para menores. O que se identificou é que a área de contribuição de Lajeado é muito maior do que a maior bacia utilizada nos estudos do IPH (1991).

Rezende (1993) realizou um estudo de análise hidrológica das inundações em Lajeado para a prefeitura municipal, no qual já havia confirmado a impossibilidade de se utilizar o antigo posto fluviométrico do município. Contudo, em virtude das inundações frequentes e da existência do Porto de Estrela e eclusa de Bom Retiro do Sul (ambos com início de operação em 1977), existe na região a medição sistemática da cota dos níveis d'água. Além disso, apesar de não ter sido possível a identificação de uma curva-chave confiável para o município de Lajeado, detectou-se a validade dos ajustes obtidos pelo autor tanto para a curva-chave das descargas em Bom Retiro, quanto para a relação entre os níveis em Lajeado (régua do Porto) e Bom Retiro.

Neste estudo, a seguinte curva-chave foi estabelecida para o posto de Bom Retiro do Sul:

$$Q = 31,834(h_{BRS} - 0.5)^{1,976} \quad (12)$$

Onde:

Q: vazão [m<sup>3</sup>/s]

h<sub>BRS</sub>: cota do nível d'água no posto de Bom Retiro do Sul [m]

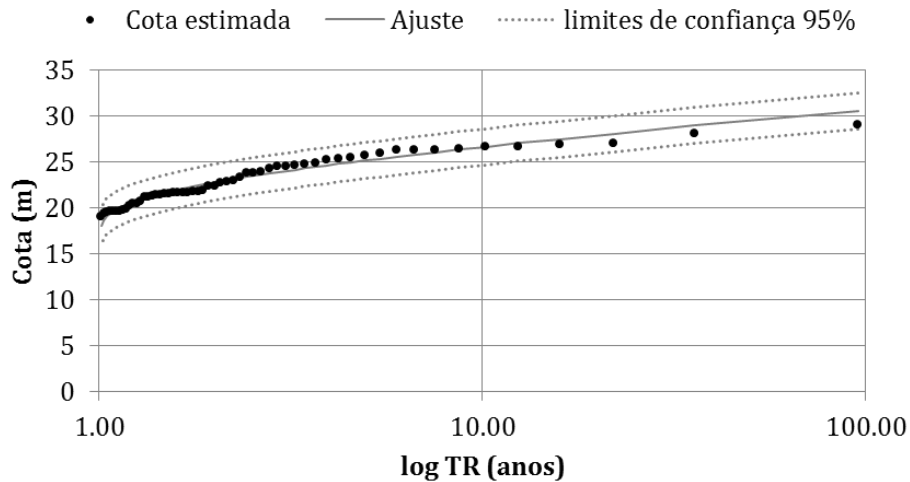
A fim de verificar a influencia da operação da eclusa nas inundações em Lajeado, Rezende (1993) estabeleceu, ainda, duas relações da linha d'água entre os dois municípios:

$$h_L = 7,5524 \times 1,0671^{h_{BRS}}, \text{ para cota d'água em lajeado } (h_L) \text{ inferior a 21 m} \quad (13)$$

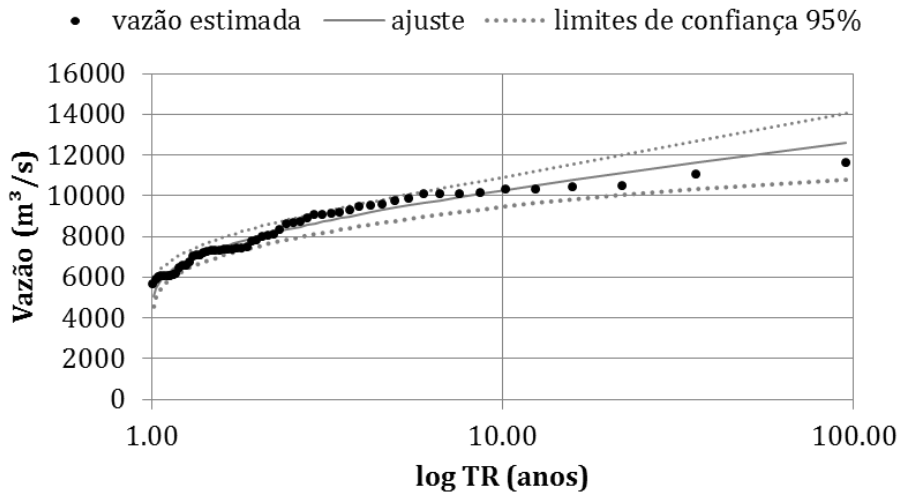
$$h_L = 6,8436 \times 1,0737^{h_{BRS}}, \text{ para cota d'água em lajeado } (h_L) \text{ superior a 21 m} \quad (14)$$

Uma vez que não existem grandes contribuições de tributários entre o município de Lajeado e a eclusa, considerou-se nesse estudo a vazão em Bom Retiro igual à de Lajeado. Para isso, realizou-se o processo inverso de Rezende (1993). Com a série de cotas do Porto de Estrela (adjacente a Lajeado), e pelas relações descritas, estimaram-se as cotas em Bom Retiro do Sul. Após, pela curva-chave, estimaram-se as respectivas vazões (Apêndice A). Para essas duas séries, ajustou-se uma distribuição log-pearson III (Apêndice A), conforme a Figura 6.12 e Figura 6.13.

**FIGURA 6.12: AJUSTE LOG-PEARSON III PARA COTAS EM LAJEADO.**



**FIGURA 6.13: AJUSTE LOG-PEARSON III PARA VAZÕES EM LAJEADO.**



Com isso, estimaram-se também as cotas e vazões para cada tempo de retorno de interesse, apresentadas na Tabela 6-2.

**TABELA 6-2: COTAS E VAZÕES MÁXIMAS PARA LAJEADO.**

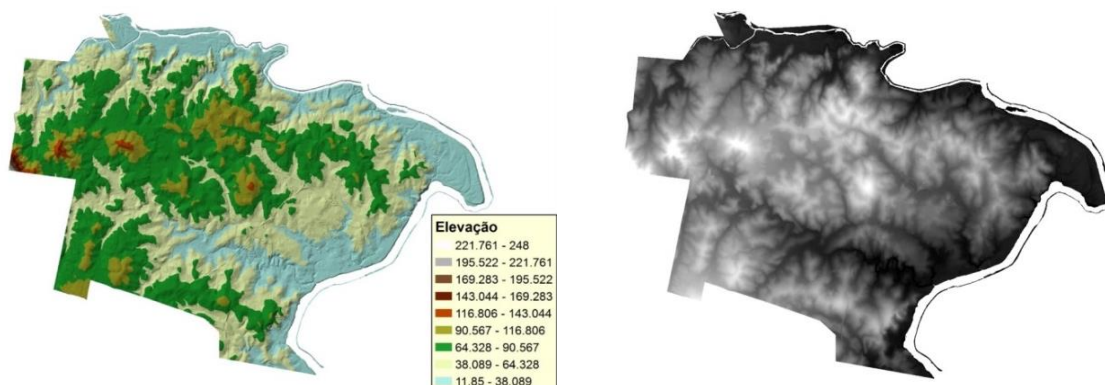
TR (anos)	2	5	10	25	50	100	200
Cota (m)	22,75	25,15	26,58	28,28	29,17	30,62	31,74
Vazão (m³/s)	7.982	9.369	10.188	11.142	11.604	12.438	13.046



### Topobatimetria

A topografia de Lajeado utilizada para este estudo foi a carta digitalizada com curvas de nível de 1 em 1 metro, obtida junto à Prefeitura Municipal de Lajeado. Tal mapeamento foi utilizado para gerar o TIN (Triangulated Irregular Network) e o MDE (Modelo Digital de Elevação) da região, úteis para posterior modelagem do escoamento hidráulico no Rio Taquari.

FIGURA 6.14. TIN E MDE DA CIDADE DE LAJEADO.



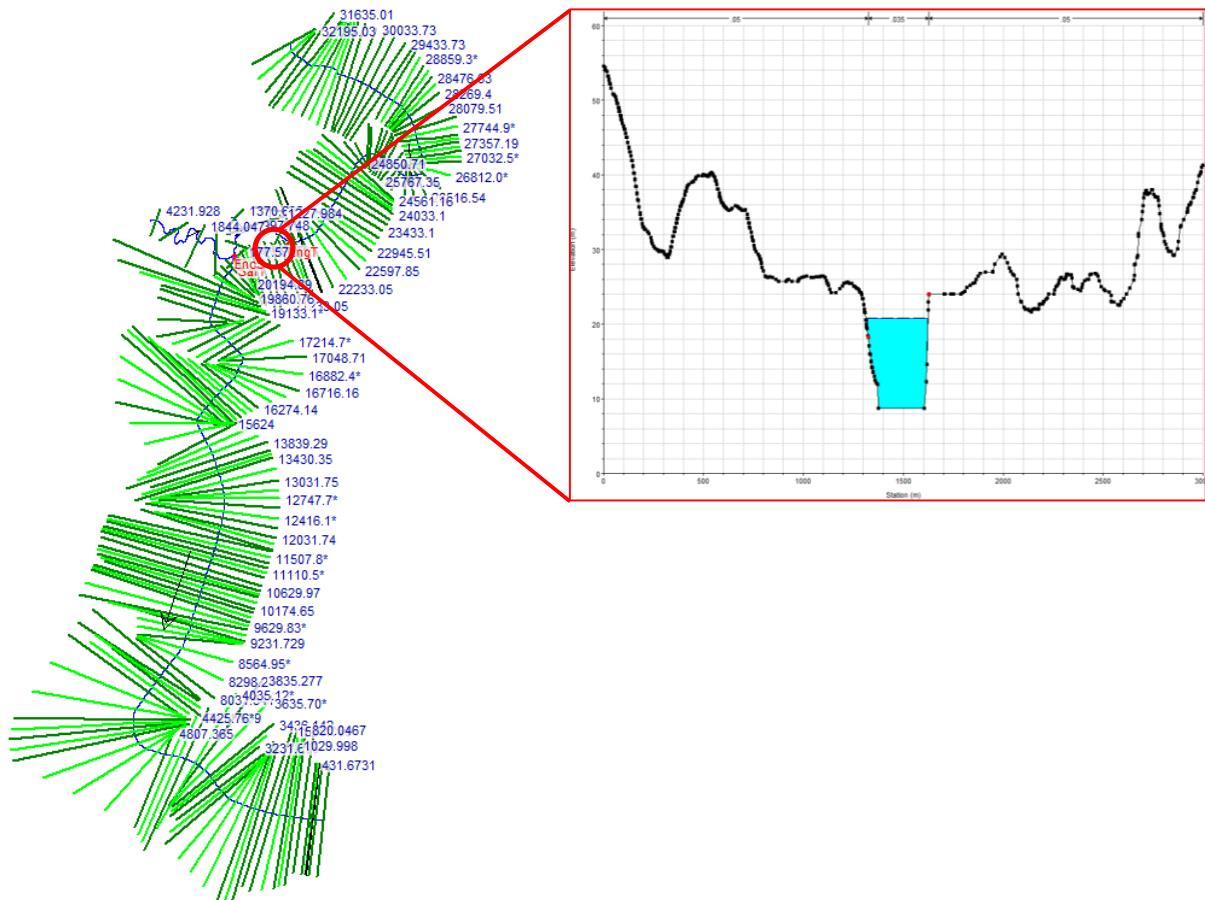
Além disso, uma vez que a propagação do escoamento se dá tanto para Lajeado quanto para Estrela, também é necessário o levantamento topográfico deste município. Foi, então, obtido junto à CPRM o levantamento de 2,5 metros de resolução. Já que a modelagem terá como condição final de contorno a barragem de Bom Retiro, são necessárias informações de topografia até o local. Como não existe levantamento topográfico para esta região, foi utilizado, o SRTM de 30 metros de resolução, disponibilizado pela CGIAR-CSI para complementar o modelo de terreno utilizado.

A batimetria do rio Taquari se faz imprescindível para o mapeamento de áreas de inundação, uma vez que auxiliará no processo de modelagem do escoamento hidráulico na região. Para isso, são necessárias seções transversais distantes o suficiente para incorporar as características do curso hídrico e que se estendam ao longo de todo trecho influenciável das inundações no município de Lajeado, até a barragem de Bom Retiro. Apesar de previsto no projeto “Desenvolvimento e preparação da implantação de uma estratégia integrada de prevenção de riscos associados a regimes hidrológicos na bacia do Taquari-Antas” o levantamento batimétrico nessa região não foi realizado em tempo hábil de ser utilizado neste estudo. Dessa forma, foi considerada uma profundidade média da calha do rio de 3 metros (REZENDE, 1993).

Na Figura 6.15 está o esquema do projeto dentro do programa HEC-RAS, com destaque para a seção localizada junto ao Porto de Estrela. As seções em verde mais escuro

representam aquelas extraídas do MDE gerado e as em verde claro, as seções interpoladas espaçadas em 200 m.

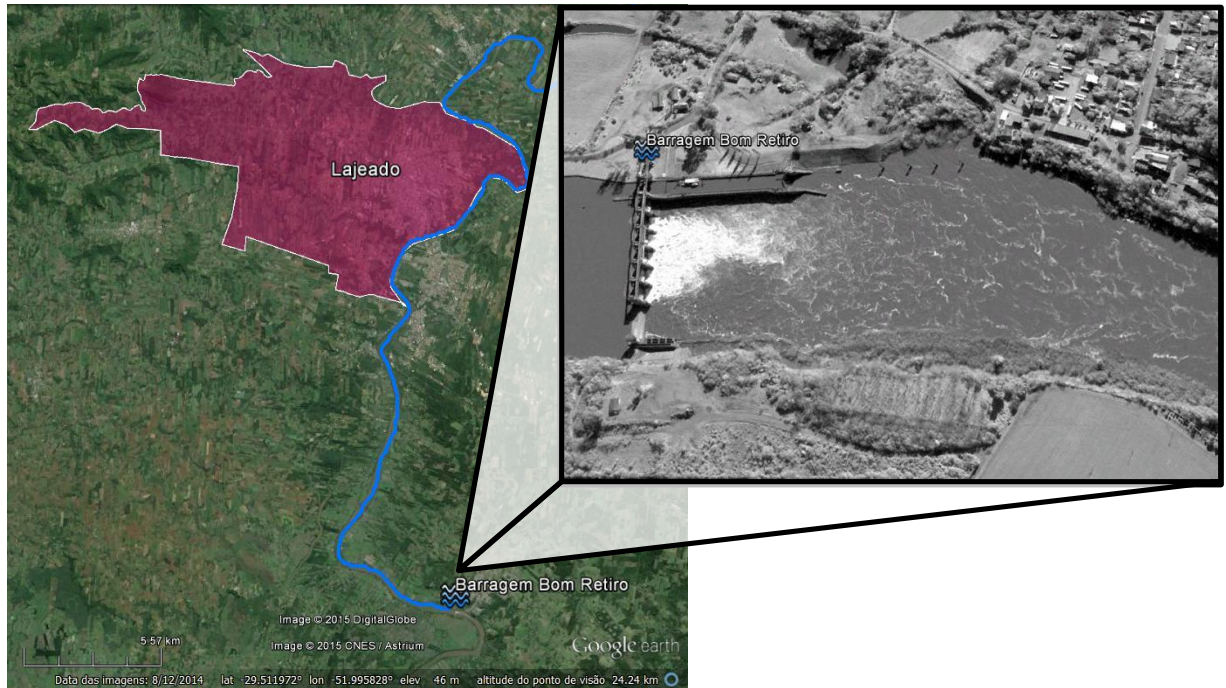
**FIGURA 6.15: ESQUEMA DO MODELO DE ESCOAMENTO HIDRÁULICO.**



### **Barragem de Bom Retiro**

A barragem de Bom Retiro, localizada à jusante de Lajeado (Figura 6.16), teve finalizada sua construção em 1977 para fins de navegação. Esta obra possibilitou a integração entre o porto de Rio Grande e o Vale do Taquari, sendo que o remanso de cerca de 30 km formado à montante pelo barramento contribui para um trecho navegável de 150 km (PMBRS, 2015). Dessa forma, devido à influência dessa eclusa no regime do rio Taquari, não é possível desconsiderá-la nos modelos propostos, sendo necessário o levantamento de seções batimétricas até a construção, bem como inserir a estrutura da barragem no modelo.

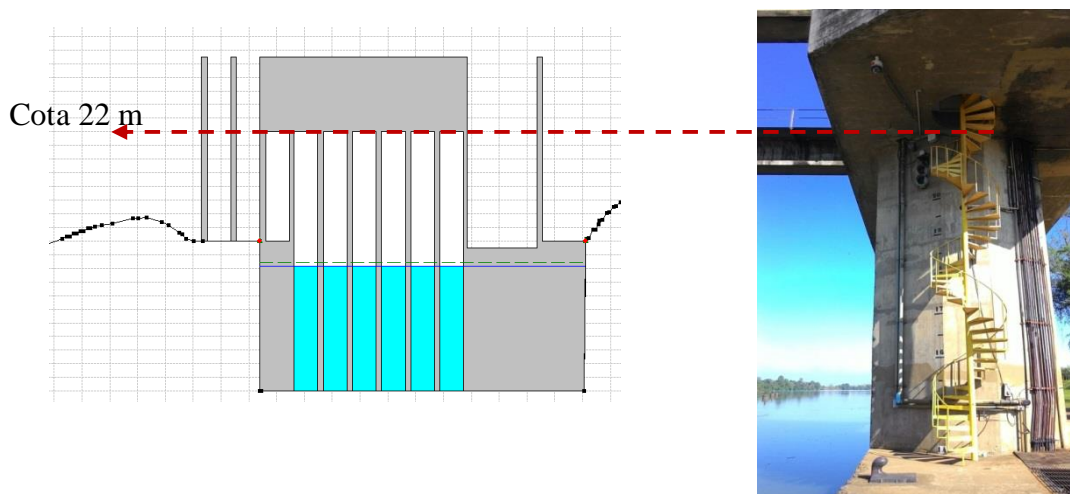
**FIGURA 6.16: LOCALIZAÇÃO E DETALHE DA BARRAGEM DE BOM RETIRO.**



**FONTE: ADAPTADO DE GOOGLE EARTH (2015)**

As informações necessárias foram obtidas junto aos operadores da eclusa. A operação da eclusa funciona para manter o nível à montante sempre em 13 metros, para a navegabilidade. Por isso, como regra geral as seis comportas são mantidas fechadas. Contudo, quando informados sobre uma onda de cheia, o funcionamento da eclusa é interrompido e todas as comportas abertas ao máximo, liberando o fluxo sem interferências até a cota 22 (Figura 6.17). Na cheia de 1941, para qual a barragem foi dimensionada, o nível das águas atingiu a cota de 21,5 metros no local.

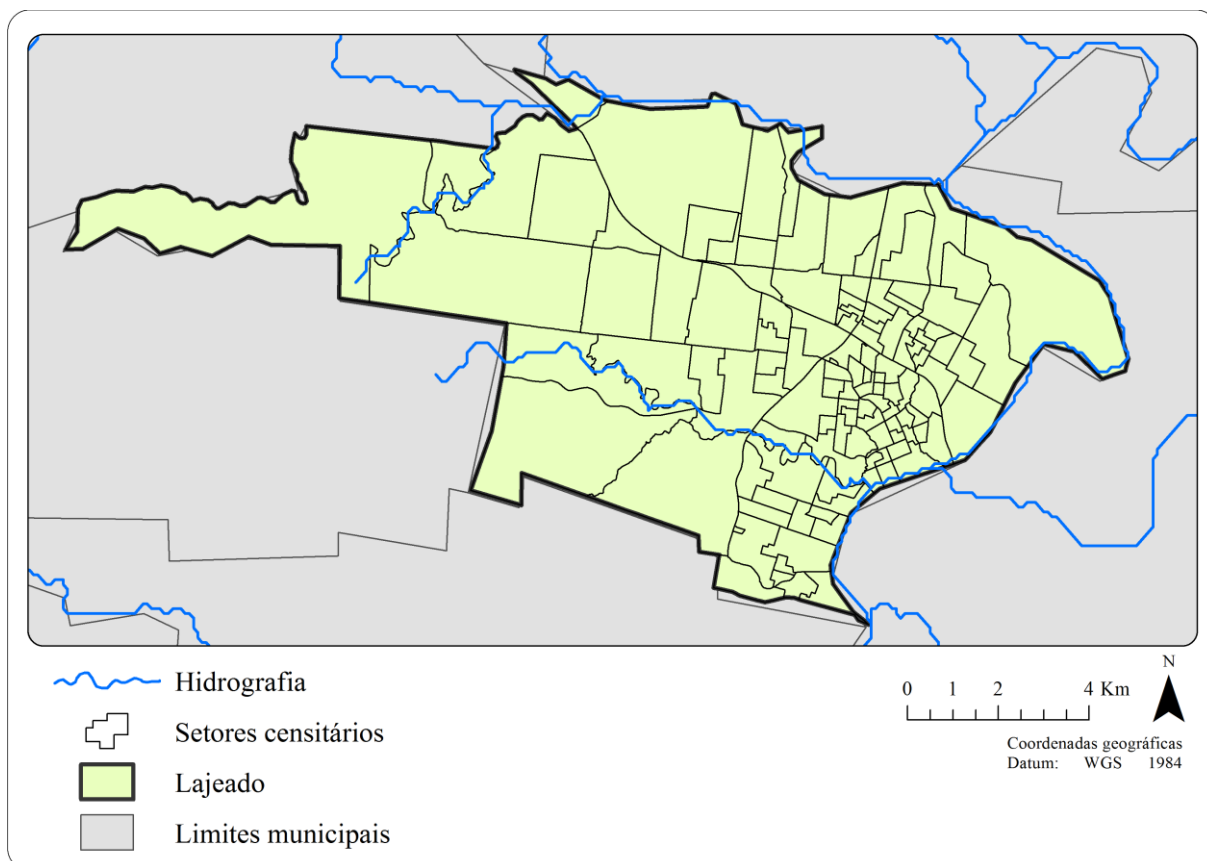
**FIGURA 6.17: ESQUEMA DA BARRAGEM DE BOM RETIRO E DETALHE DA RÉGUA.**



### **Análise por 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). Para a presente pesquisa, foram levantados os setores censitários do município de Lajeado (Figura 6.18) e respectivos dados do Censo IBGE 2010, a fim de caracterizar socioeconomicamente as diferentes regiões da cidade.

**FIGURA 6.18. SETORES CENSITÁRIOS DE LAJEADO – RS.**



Para cada setor censitário atingido pela inundação, identificaram-se os dados conforme apresenta Tachini (2010) em seus estudos, adaptado para a situação do município de Lajeado. Embora a metodologia de Tachini (2010) tenha sido desenvolvida para o município de Blumenau (SC), considerou-se que esta poderá ser aplicada para Lajeado, uma vez que os municípios têm características socioeconômicas similares, como pode ser verificado na Tabela 6-3.

TABELA 6-3: COMPARATIVO SOCIOECONÔMICO ENTE OS MUNICÍPIOS DE BLUMENAU E LAJEADO.

	Blumenau	Lajeado
População <sup>1</sup>	309.011	71.445
Área da cidade (km <sup>2</sup> ) <sup>1</sup>	518,50	90,09
Densidade populacional (hab/km <sup>2</sup> ) <sup>1</sup>	595,97	793,07
População urbana <sup>1</sup>	294.773	71.180
% população urbana	95.39%	99.63%
IDH <sup>1</sup>	0.806	0.778
PIB per capita (R\$) <sup>2</sup>	34.564,16	35.669,82
Renda per capita (R\$) <sup>3</sup>	1.253,17	1.130,85
Índice de Gini <sup>3</sup>	0,46	0,46

<sup>1</sup>IBGE (2010)

<sup>2</sup>IBGE (2012)

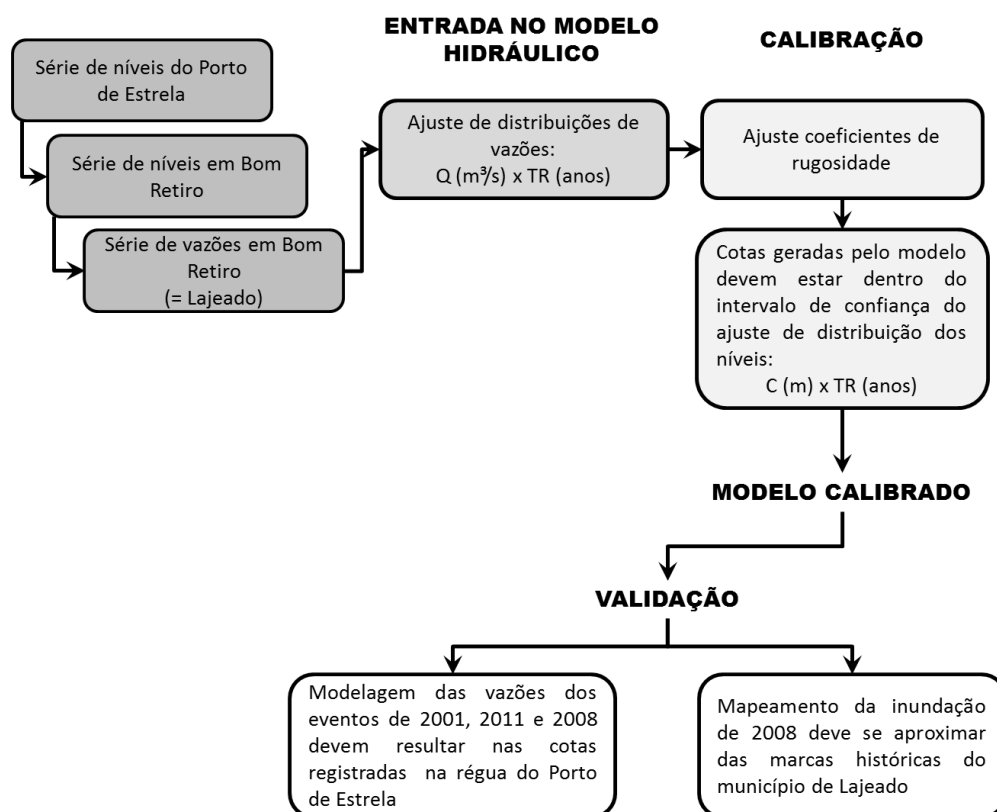
<sup>3</sup>PNUD (2013)

### 6.3.3. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO

#### Modelo hidráulico

A calibração e validação da modelagem hidráulica foram realizadas com base em registros de inundações históricas fornecidos pelas defesas civis de Estrela e Lajeado, pela parceria firmada com a UNIVATES, fotos tiradas pelos moradores em períodos de inundação, além de levantamentos de campo na região. A Figura 6.19 apresenta a linha de etapas para a calibração e validação do modelo, seguida pelo descritivo de cada processo.

FIGURA 6.19: FLUXOGRAMA DE CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDRÁULICO.



Uma vez que não existem postos de medição fluviométricos em Lajeado, utilizaram-se as relações de Rezende (1993), já apresentadas, para obter a série de máximos de vazões para o município. Essas vazões foram então utilizadas como entradas do modelo e, ajustados os coeficientes de rugosidade da calha e margens, buscou-se com que o nível d'água na seção de controle do Porto de Estrela (ponto amarelo na Figura 6.20) estivesse o mais próximo possível, dentro do intervalo de confiança de 95% da distribuição. Contudo, em função da heterogeneidade da planície de inundação, é preciso adaptar os coeficientes para essa localidade, pois quanto maior for a extensão da mancha de inundação, maior será a sua rugosidade. Ainda, por limitações da representação topo batimétrica do modelo hidráulico, foi necessário variar o coeficiente de rugosidade do canal. Contudo, sabe-se que isto não condiz com a realidade, uma vez que, para um mesmo curso d'água, a sua rugosidade não será alterada pelo incremento de vazão escoado; mas, buscando uma melhor aproximação da relação cota-vazão local, optou-se por incorporar os possíveis erros da modelagem neste parâmetro. Dessa forma, o coeficiente de Manning perdeu o significado físico para ser utilizado como um parâmetro de calibração, absorvendo erros devido à imprecisão das seções transversais estimadas.

**TABELA 6-4: COEFICIENTES DE RUGOSIDADE UTILIZADOS PARA CADA TR.**

<b>Tempo de retorno modelado (anos)</b>	<b>Coefficiente de rugosidade</b>	
	<b>Canal</b>	<b>Planície</b>
2 a 5	0,067	0,10
10 a 25	0,072	0,15
50 a 200	0,095	0,20

**TABELA 6-5: COTAS CALIBRADAS PARA OS EVENTOS MÁXIMOS PARA CADA TEMPO DE RETORNO.**

<b>TR (anos)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Cota (m)</b>	<b>Intervalo Confiança (95%)</b>		<b>Cota modelo (m)</b>
2	7982,00	22,75	24,71	20,79	24,50
5	9369,00	25,15	27,11	23,19	25,25
10	10188,00	26,58	28,54	24,62	26,57
25	11142,00	28,28	30,24	26,32	27,14
50	11604,30	29,20	31,97	28,05	29,18
100	12438,00	30,62	32,58	28,66	29,68
200	13046,00	31,74	33,70	29,78	30,03

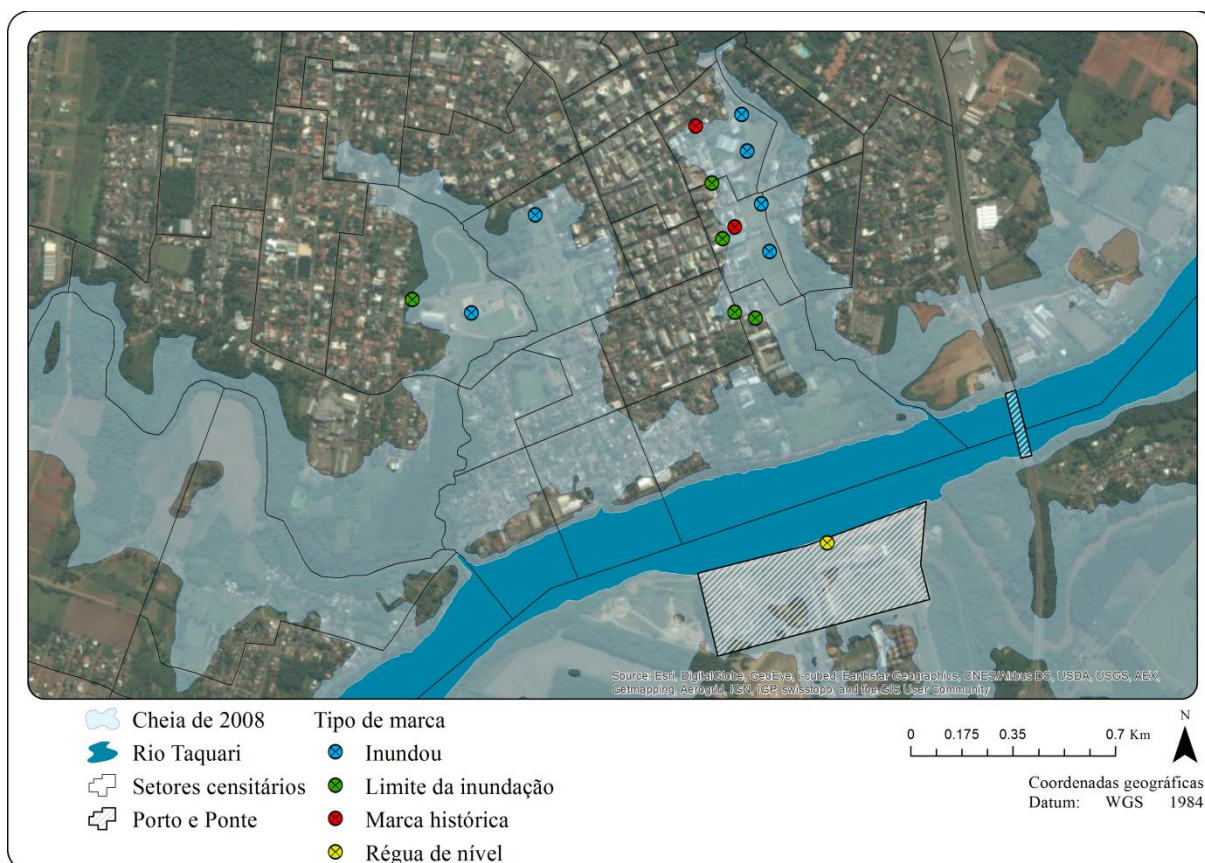
Para a validação, foi verificado de que forma o modelo calibrado consegue se aproximar das marcas históricas registradas na cidade de Lajeado. Inicialmente, o modelo foi rodado para as vazões dos eventos de 2001, 2008 e 2011, e verificado se o nível d'água encontra-se dentro do intervalo de confiança estimado (Tabela 6-6). Após, foi escolhido para validação

das manchas geradas para o evento de 2008 (ano em que se obteve uma maior quantidade de registros de níveis atingidos na cidade e limites da mancha de inundação). As marcas identificadas na Figura 6.20 em verde representam o limite da inundação de 2008, mapeadas a partir de registros fotográficos e servem como parâmetro do erro horizontal. As marcas vermelhas são as marcas históricas presentes no Colégio Alberto Torres e na Associação Rural de Lajeado, e as cotas atingidas na inundação de 2008 nesses pontos foram referenciadas por Greiner (2014), servindo como parâmetro do erro horizontal. Já as marcas azuis, servem apenas como parâmetro visual, pois indicam alguns pontos com registro de inundação no município. Os registros fotográficos encontram-se no Apêndice B.

**TABELA 6-6: COTAS VALIDADAS PARA OS EVENTOS CRÍTICOS RECENTES EM LAJEADO.**

Evento	TR (anos)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Cota (m)	Intervalo Confiança (95%)		Cota modelo (m)
2001	19,33	10.465	26,96	30,01	26,09	26.74
2011	14,50	10.402	26,85	29,42	25,50	26.70
2008	11,60	10.286	26,65	28,96	25,04	26.63

**FIGURA 6.20: INUNDAÇÃO DE 2008 E PONTOS DE CONTROLE.**



### Modelo hidroeconômico

Ainda não se tem uma metodologia específica para a calibração hidroeconômica, uma vez que não é comum o registro dos danos sofridos com a magnitude da cheia. Além disso, o

registro de eventos de inundações geralmente é realizado apenas quando resulta em um grande número de perda de vidas humanas ou então de paralização do município em função desse evento. Ainda assim, buscaram-se tais dados junto à Defesa Civil da região, a fim de comparar os resultados da modelagem com o registrado.

Para o evento de 2013, por exemplo, os custos foram quantificados pelas Defesas Cíveis de Estrela e Lajeado, conforme a Tabela 6-7. Esses quantitativos são referentes aos gastos da Defesa Civil durante o evento de inundação, o que foram úteis justamente para estimar os custos médios da administração pública para atender a população a cada cheia. Também foi possível, a partir desses dados fazer uma relação entre população afetada por uma inundação (estimada pelo modelo) e população que efetivamente precisou de auxílio, chegando-se a um percentual geral de 5%.

**TABELA 6-7: QUANTITATIVO DOS CUSTOS PARA LAJEADO E ESTRELA NA INUNDAÇÃO DE AGOSTO DE 2013.**

	<b>LAJEADO</b>	<b>ESTRELA</b>
Desalojados (pessoas/famílias)	416/104	320/80
Habitação	R\$ 30.000,00	R\$ 11.136,42
Transporte	R\$ 3.300,00	R\$ 729,05
Infraestrutura	R\$ 4.315,00	R\$ 87.938,10
Apoio população	R\$ 85.880,00	-
Agropecuária (EMATER)	-	R\$ 211.000,00
Total	R\$ 124.245,00	R\$ 99.803,57 + agropec.

**FONTE: DEFESAS CIVIS DE ESTRELA E LAJEADO.**

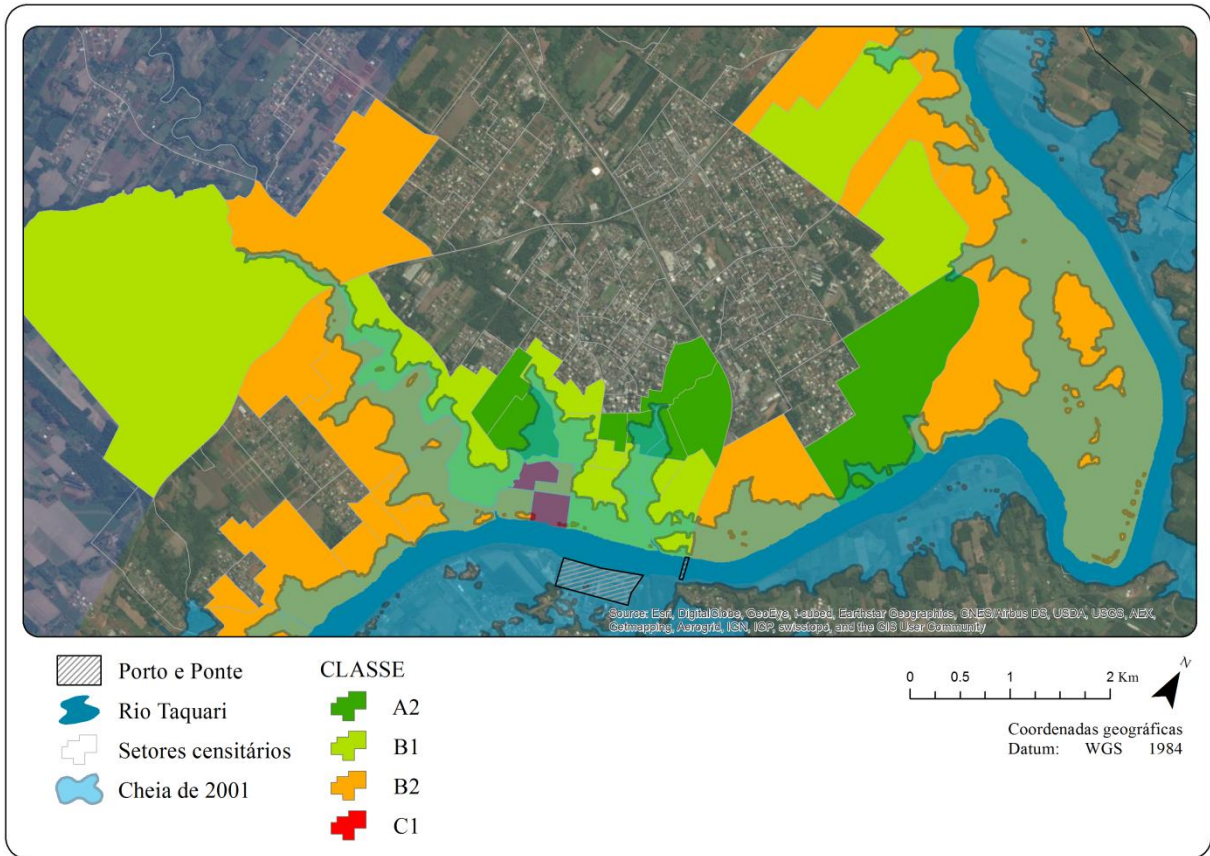
## 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS ATINGIDAS

Para caracterização da região com risco de inundação, foi utilizada como parâmetro a mancha de inundação de 2001, maior evento recente registrado na região. Assim, 42 setores censitários, dos 120 existentes em Lajeado, possuem área inundável e correspondem principalmente aos setores adjacentes ao rio Taquari, arroio Saraquá, parque dos Dick (arroio Encantado) e arroio do Engenho. Desses setores, a maioria é classificada com classe socioeconômica B2 (Figura 7.1).

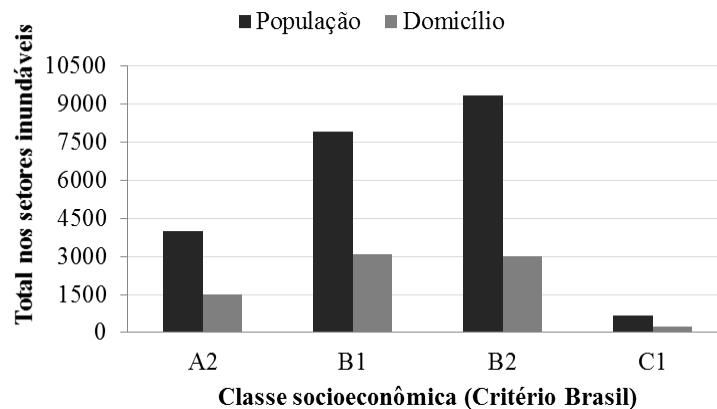


**FIGURA 7.1: CLASSIFICAÇÃO SOCIOECONÔMICA DOS SETORES CENSITÁRIOS INUNDÁVEIS.**

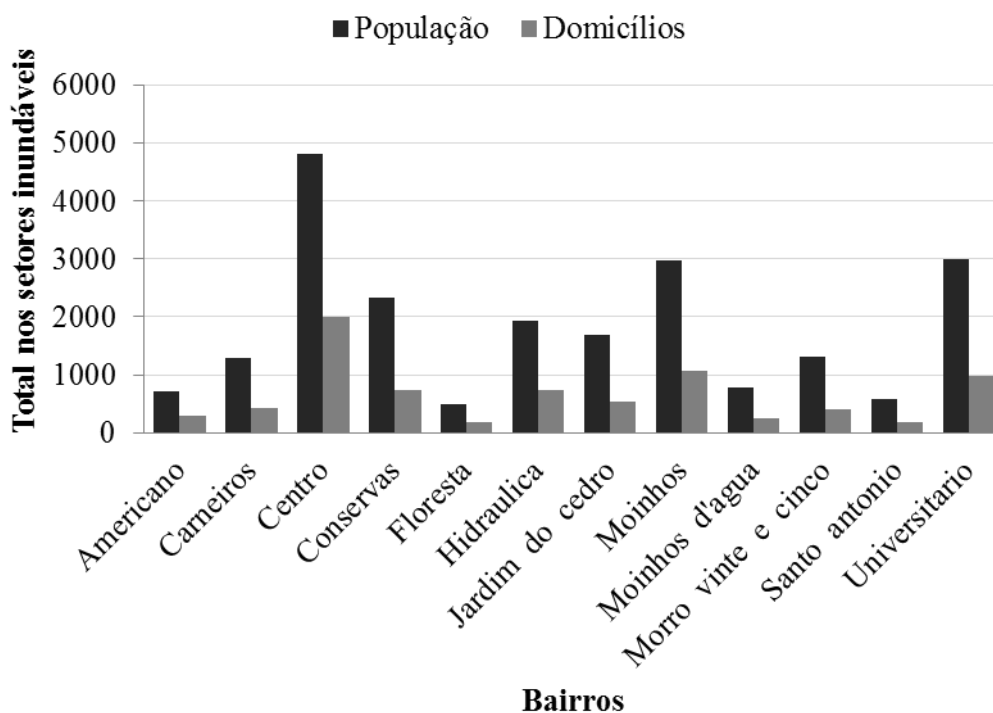


É importante lembrar que não necessariamente todo o setor censitário será inundado. E é por isso que cada setor possui a respectiva área inundável para cada de tempo de retorno. Como a população afetada é proporcional à área inundável do setor, em um primeiro momento, buscou-se verificar os totais de população e domicílios existentes nos setores que apresentam áreas inundáveis (Figura 7.3), relacionando também com as classes socioeconômicas (Figura 7.2)

**FIGURA 7.2: TOTAL DA POPULAÇÃO E DOMICÍLIOS NOS SETORES, RELACIONADOS À CLASSE SOCIOECONÔMICA.**

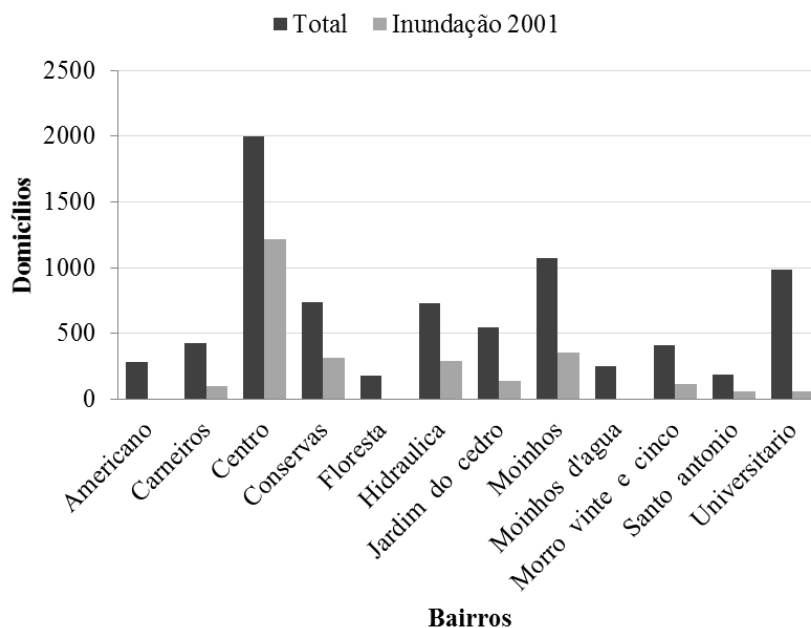


**FIGURA 7.3: TOTAL DA POPULAÇÃO E DOMICÍLIOS NOS SETORES CENSITÁRIOS INUNDÁVEIS.**



Os bairros que possuem maior população em risco de sofrer com inundações são o Centro, Conservas, Hidráulica e Moinhos, como mostra a Figura 7.4, tendo como base a cheia de 2001. Uma vez que essa metodologia considera uniforme a distribuição de população ao longo de toda área habitável, o percentual de área inundada é proporcional à relação entre domicílios afetados e total para cada setor.

**FIGURA 7.4: TOTAL DE DOMICÍLIOS POR BAIRRO E ATINGIDOS CONFORME O MODELO PARA A CHEIA DE 2001.**



Encontrou-se como limitador da aplicação dessa estimativa por setor censitário a verticalização do município, pois domicílios contabilizados como “inundados” podem estar localizados em andares superiores de edifícios, aonde não chegaria o nível d’água. Para tanto, optou-se por utilizar os termos população e domicílios “afetados” e não “inundados”, uma vez que ainda assim sofrerão com parte dos danos da inundação se a mancha atingir o prédio, mesmo que localizados em andares acima do nível d’água. Entretanto, para o refinamento dessa estimativa, sugere-se agregar ao modelo um índice de verticalização, o qual possibilitaria a discriminação dos danos relacionados diretamente a entrada de água nos domicílios. Para os demais danos, como dias parados e da estrutura, acredita-se que os mesmos afetarão de forma similar tanto a população residente em casas quanto em edifícios.

## 7.2. MAPEAMENTO DE INUNDAÇÕES

Conforme explanado ao longo da metodologia (capítulo 5), o mapeamento das áreas inundáveis foi gerado a partir da simulação do escoamento de cheias de diversos tempos de retorno, com base na distribuição de vazões da área de estudo. De acordo com a classificação do CIH para as inundações na região do Vale do Taquari, as inundações de 1941 e 1956 fazem parte do grupo de eventos extremos (cota maior do que 28 m). Ainda, verifica-se um tempo de recorrência de 10 a 20 anos para eventos de grande magnitude (cota entre 25 e 28 m), de 3 a 10 anos para magnitude média (entre 22 e 25 m), e menor do que 2 anos para reduzida magnitude (19 a 22 m). A partir disso, observando os dados no Apêndice A, pode-se perceber que tais períodos de recorrência são de certa forma coerentes com o que tem se observado no local. Quase todos os anos pelo menos um nível de alerta pela Defesa Civil é registrado. Ainda, a inundação ocorrida em outubro de 2015, por exemplo, atingiu quase todos os municípios do Vale do Taquari, interditando diversas áreas de Lajeado, em especial nos bairros Centro e Hidráulica. A esse evento se atribuiu um tempo de retorno de quase 4 anos, assim como para os eventos registrados em 2007 e julho de 2011.

O mapeamento de inundações no município foi, então, simulado para os sete tempos de retorno escolhidos para as análises e encontram-se no Apêndice D. Na Figura 7.5 está a evolução das áreas inundáveis conforme o aumento da magnitude dos eventos, para a área central de Lajeado. Na Tabela 7-1 tem-se a extensão de cada mancha de inundação.

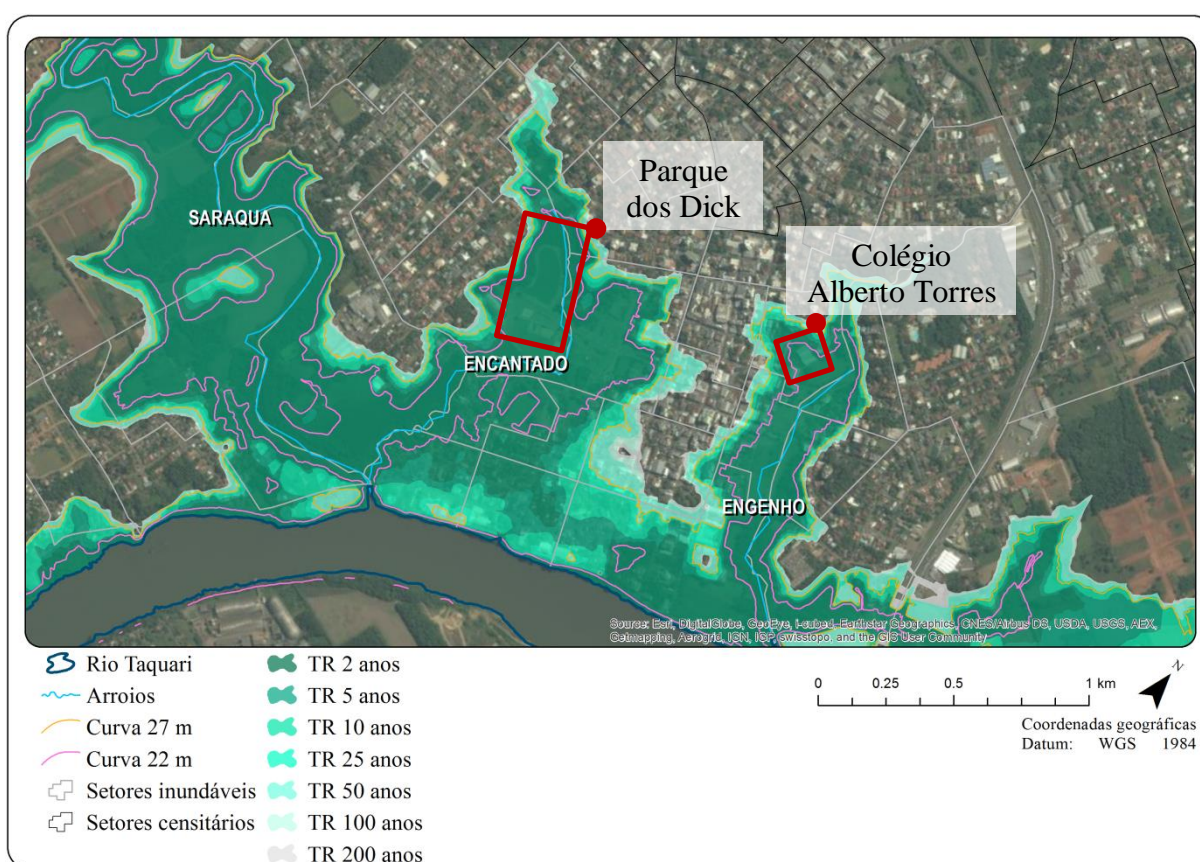
Embora o modelo tenha sido calibrado com base nas séries medidas de cotas no Porto de Estrela, acredita-se que manchas estimadas poderiam ser melhor validadas se existissem outros pontos de monitoramento na região, tanto de níveis do rio Taquari quanto de réguas de marcação de inundações no interior do município. Certamente, de posse de um monitoramento difuso dessas áreas inundáveis, os resultados estimados teriam maior precisão.

Ainda atenta-se para o fato de que não foi proposto neste estudo uma mancha de inundação com intervalo de confiança, tal qual foi estimado para as cotas e vazões.

**TABELA 7-1: EXTENSÃO DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO.**

TR (anos)	Área de extensão (km <sup>2</sup> )
2	4,10
5	5,10
10	6,29
25	6,68
50	7,56
100	7,72
200	7,83

**FIGURA 7.5: MAPEAMENTO DAS INUNDAÇÕES SEM MEDIDAS DE CONTROLE.**



A curva 27 m mostra o limite que hoje é considerado pelo Plano Diretor para delimitar as áreas inundáveis. A curva 22 m representa o limiar encontrado para o estabelecimento de uma zona de acomodação de cheias. Embora Lajeado já tenha uma ocupação bem consolidada junto ao rio Taquari, essa área mostrou-se esparsamente habitada por corresponder às planícies de inundação dos arroios Saraquá, Encantado e Engenho.

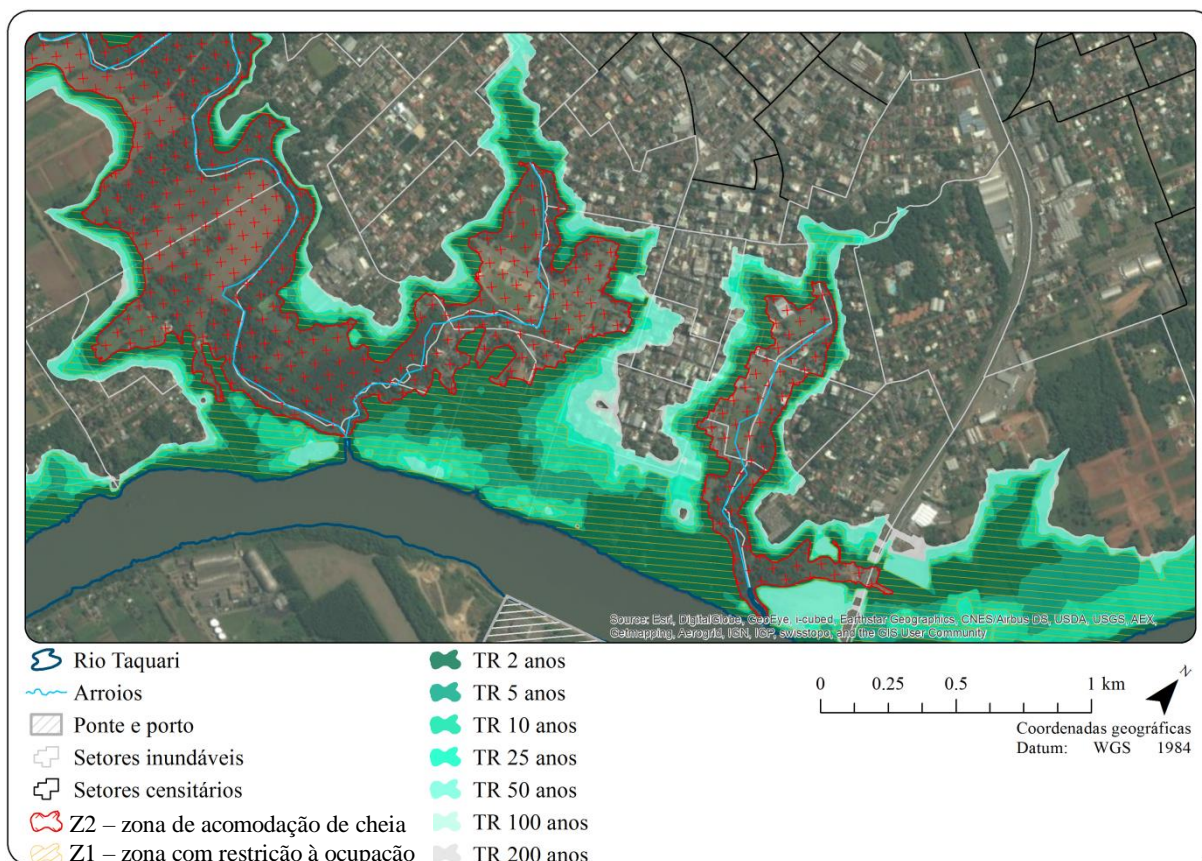
Além disso, outros fatores colaboram para essa não ocupação. O arroio Engenho, recentemente canalizado junto à sua foz (sob a Av. Décio Martins Costa), apresenta, por

exemplo, diversas áreas restritas a estacionamentos, área de lazer e outras áreas livres ainda sem uso definido. Porém, um ponto a ser destacado é a presença do Colégio Evangélico Alberto Torres, totalmente inserido nessa área de alto risco.

Junto ao arroio Encantado, está localizado o Parque dos Dick, o qual contribui para a não ocupação da área, mesmo que ainda não esteja devidamente regulamentado no Plano Diretor Municipal. Ainda assim, no entorno do parque, entre as ruas Borges de Medeiros e Carlos Spohr Filho, existem algumas moradias, principalmente de famílias de baixa renda, as quais necessitariam de realocação com intuito de evitar danos. Em relação à ocupação próxima ao arroio Saraquá, predominam terrenos com características rurais, ainda que pelo Plano Diretor seja uma área classificada como urbana. Então, nessa região, as áreas inundáveis correspondem principalmente a plantações.

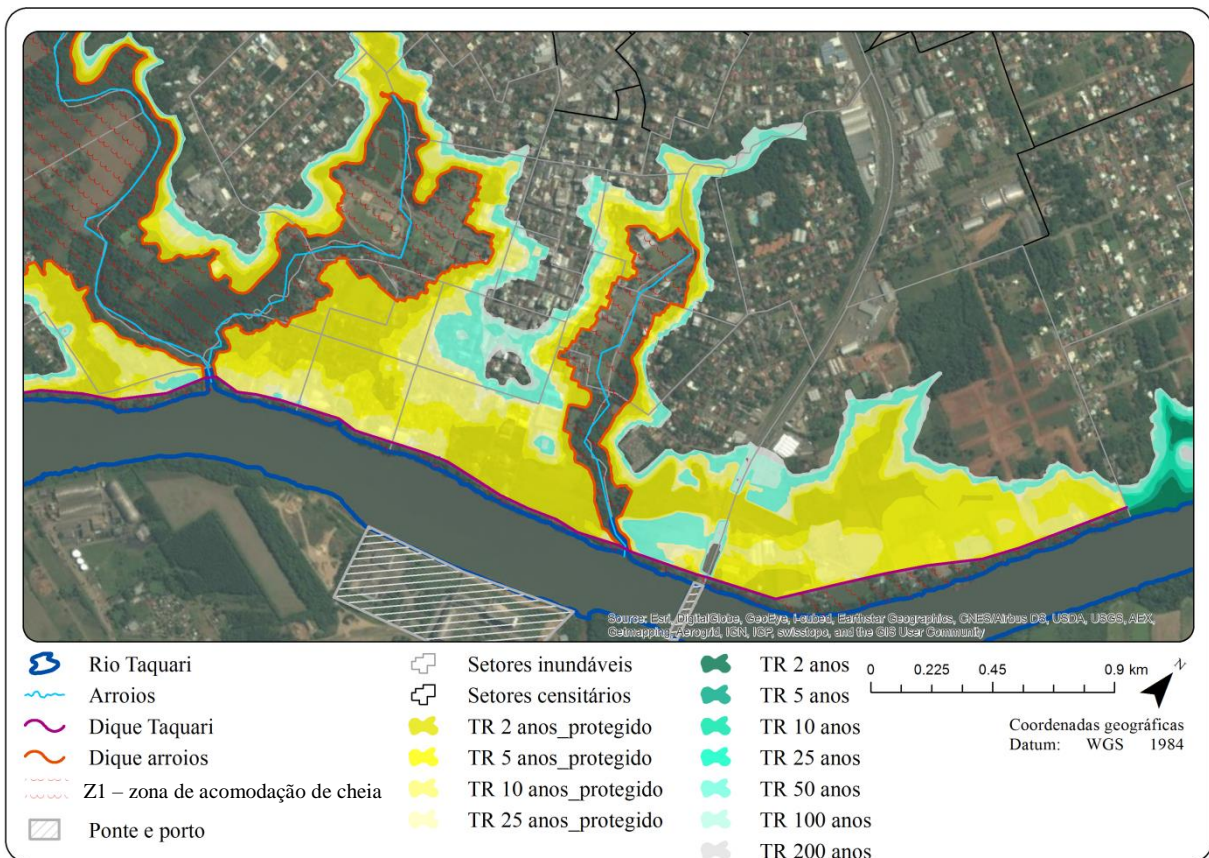
Para o mapeamento de áreas inundáveis, agora considerando o zoneamento, as manchas de inundação seguem da mesma forma do que já foi apresentado, porém considerando a ausência de ocupação na zona de acomodação de cheias (Figura 7.6). Além disso, estipulou-se mancha de TR 10 anos como limite da zona de restrição à ocupação, na qual apenas seriam permitidas residências com 3,5 metros para o primeiro patamar habitável das construções, definido a partir das profundidades médias de inundação.

**FIGURA 7.6: MAPEAMENTO DAS INUNDAÇÕES CONSIDERANDO O ZONEAMENTO.**



Diferentemente da medida de zoneamento, o dique de proteção influencia diretamente no escoamento da cheia, ou seja, as manchas de inundação apresentam uma espacialização diferente do cenário atual. Os diques propostos no presente estudo (identificados na Figura 7.7), tanto para o rio Taquari quanto para os arroios Saraquá, Engenho e Encantado foram dimensionados para uma altura capaz de conter uma cheia de 25 anos de tempo de retorno. Esse TR foi definido em função da exigência do Ministério das Cidades para possíveis financiamentos de projetos. Portanto, para cada seção de avaliação do modelo de simulação hidráulico, pôde-se estimar qual deveria ser a cota de um possível dique capaz de conter uma cheia de até 25 anos. Chegou-se então em um sistema de diques com proteção para a cota 28 m. Em termos de altura, a estrutura ao longo do rio Taquari teria uma elevação média de 3 m, enquanto que, para os diques internos, junto aos arroios, essa elevação poderia chegar a 6 m; isso sem considerar incrementos de altura e profundidade pela necessidade de se estabelecer uma borda livre para a estrutura. Vale salientar que este é apenas um valor preliminar indicativo, pois diversos outros fatores devem ser considerados para a determinação do melhor dimensionamento do sistema de diques.

**FIGURA 7.7: MAPEAMENTO DAS INUNDAÇÕES CONSIDERANDO OS DIQUES DE PROTEÇÃO.**



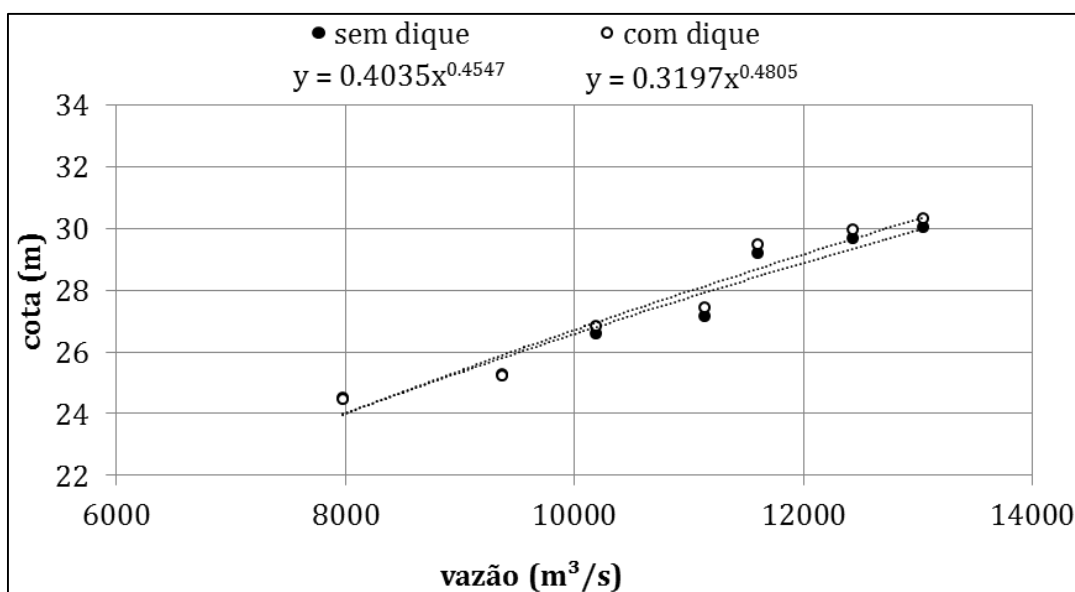
Comparando o escoamento após a simulação com os diques, para o posto de controle no Porto de Estrela, houve uma tendência de aumento de altura no nível d'água de cerca de 30

cm para as inundações (Figura 7.8). Em função disso, se pôde observar um aumento também na extensão das manchas referente aos eventos de TR maior do que 25 anos, apresentado na Tabela 7-2. Para os eventos com TR menor do que 25 anos, apenas as áreas fora do alcance de proteção por parte do dique serão inundadas, e com isso há uma diminuição na área total.

**TABELA 7-2: EXTENSÃO DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO PARA O CENÁRIO COM DIQUE DE PROTEÇÃO.**

TR (anos)	Área de extensão (km <sup>2</sup> )
2	2,02
5	2,75
10	3,42
25	3,53
50	7,86
100	8,08
200	8,22

**FIGURA 7.8: COMPARATIVO ENTRE AS CURVA-CHAVE SEM E COM O DIQUE DE PROTEÇÃO.**



### 7.3. PREJUÍZO

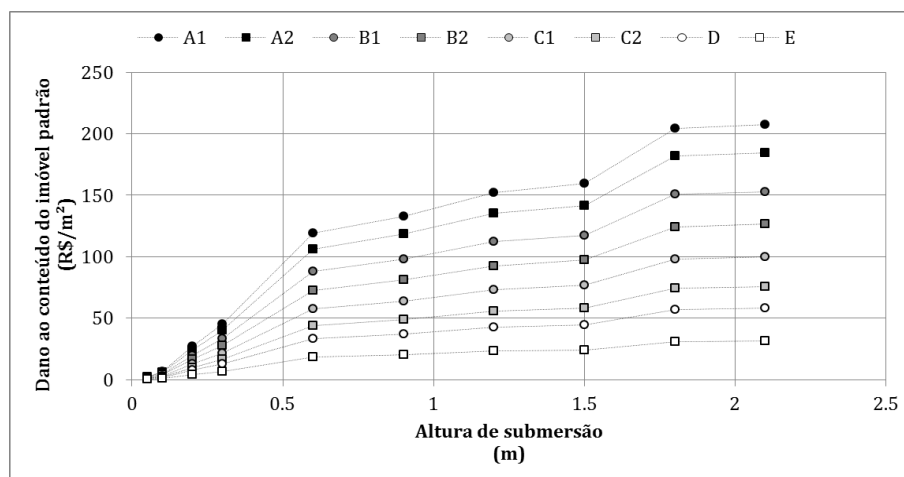
Os danos resultantes das inundações simuladas na região foram estimados e relacionados às cotas no Porto de Estrela. A opção por este ponto para traçar a curva nível-prejuízo foi em função de ser um referencial bastante utilizado pela Defesa Civil local para o gerenciamento das ações quando da ocorrência de eventos extremos. Dessa forma, será possível a antecipação da magnitude dos efeitos da cheia a partir do sistema de previsão da região.

Também é importante ressaltar que a metodologia proposta estima os danos com base em dados padrão, como área do imóvel, valoração do conteúdo, custo de reformas, etc. bem como

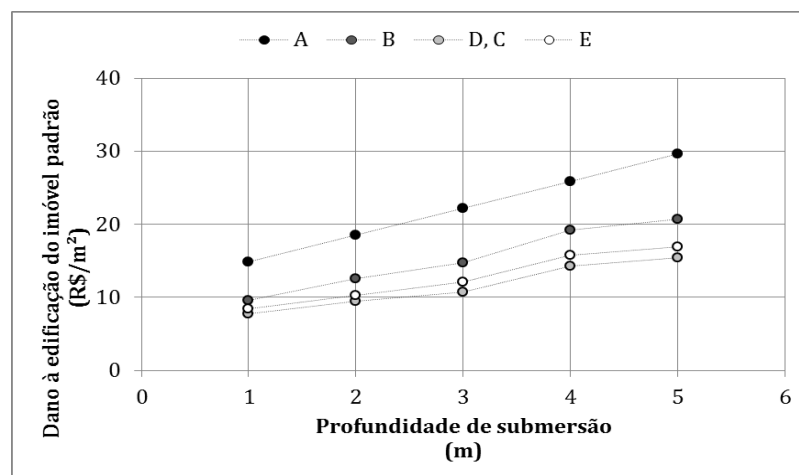
os dados censitários, fornecidos sistematicamente pelo IBGE. Essas informações padrão atreladas às profundidades de água e à classe socioeconômica fornecem as informações básicas para a estimativa do prejuízo. Dessa forma, as variáveis que ficam a cargo da simulação propriamente dita são apenas os percentuais de áreas inundáveis e as profundidades de submersão para cada ponto do município. Para este estudo, foram consideradas áreas inundáveis representativas aquelas acima de 10% da área total do setor.

As figuras a seguir apresentam a evolução dos danos ao conteúdo (Figura 7.9) e às edificações (Figura 7.10) de imóveis padrão para o aumento da altura de submersão. Ao comparar esses resultados, verificou-se que a metodologia proposta se aproximou dos valores inventariados por Machado et. al. (2005), conforme mostra a Tabela 7-3. Os valores são os prejuízos médios ao conteúdo e edificações para as classes socioeconômicas A e B, e C e D. Isso mostra que a estimativa de danos tendo como base imóveis padrão para cada classe social se aproxima das informações levantadas *in loco*.

**FIGURA 7.9: DANO UNITÁRIO AO CONTEÚDO DO IMÓVEL PADRÃO, CONFORME PROFUNDIDADES DE SUBMERSÃO E CLASSE SOCIOECONÔMICA.**



**FIGURA 7.10: DANO UNITÁRIO À EDIFICAÇÃO DO IMÓVEL PADRÃO, CONFORME PROFUNDIDADE DE SUBMERSÃO E CLASSE SOCIOECONÔMICA.**



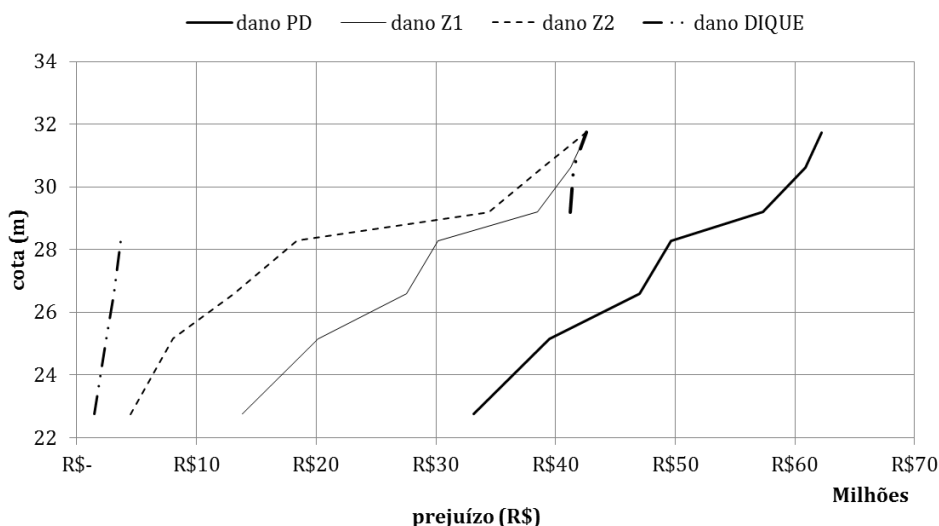


**TABELA 7-3: COMPARATIVO ENTRE OS VALORES DE DANOS AO CONTEÚDO E EDIFICAÇÕES.**

Profundidade de submersão (m)	Dano médio para as classes (R\$/m <sup>2</sup> )			
	Machado et. al. (2005)		Metodologia proposta	
	Classe A e B	Classe C e D	Classe A e B	Classe C e D
1	131	69	120	56
2	170	90	184	85

Juntamente com as demais tipologias de danos estimadas, os danos totais foram somados para cada tempo de retorno das inundações simuladas. Enfatiza-se ainda a necessidade por atualizar as considerações utilizadas para estimativa dos danos para os danos inventariados na região. As curvas cota-prejuízo para cada medida encontram-se na Figura 7.11.

**FIGURA 7.11: RELAÇÃO COTA-PREJUÍZO PARA AS INUNDAÇÕES EM LAJEADO.**



Inicialmente, o que se percebe nessas relações é que as simulações realizadas indicam um dano muito maior para uma situação na qual se considera a distribuição populacional conforme as diretrizes do Plano Diretor. Isso se mostra coerente, uma vez que esta lei não impõe restrições de moradias junto às áreas inundáveis.

Ainda, as áreas referentes a planícies de inundações aqui mapeadas (bem como aquelas já identificadas por Rezende (1993) e Eckhardt (2008)), estão classificadas como residencial, comercial ou especial. O que se percebeu, no entanto, é que esse padrão apresentado pelo Plano Diretor não corresponde com o padrão de ocupação do município. Dessa forma, o dano estimado funciona como um indicativo de gestão, ou seja, qual seria o prejuízo caso a população atual seguisse as diretrizes do presente planejamento urbano do município.

Buscando se aproximar da real ocupação, delimitou-se a zona de acomodação de cheia compatível com a área não ocupada verificada por imagens de satélite, adjacente aos cursos hídricos. Com isso, as estimativas de danos para a medida Z1 consideram o prejuízo apenas para as demais áreas inundáveis do município. Ainda entre as propostas de zoneamento, a profundidade média de cheia de 3,5 m para o TR 10 anos foi o limiar para a proposta de restrição à ocupação. Com isso, diminui-se ainda mais o prejuízo, uma vez que em Z2 apenas quando o nível d'água atingir os 3,5 m de profundidade é que começará a ocorrer dano. Essa diminuição é maior para as menores cotas; já para as cotas acima de 28 m, o prejuízo se aproximará da situação sem restrição. Para grandes eventos de inundação, portanto, a profundidade de submersão é tão grande que o prejuízo total independe se as moradias tem primeiro piso habitável rente ao terreno ou a 3,5 m acima.

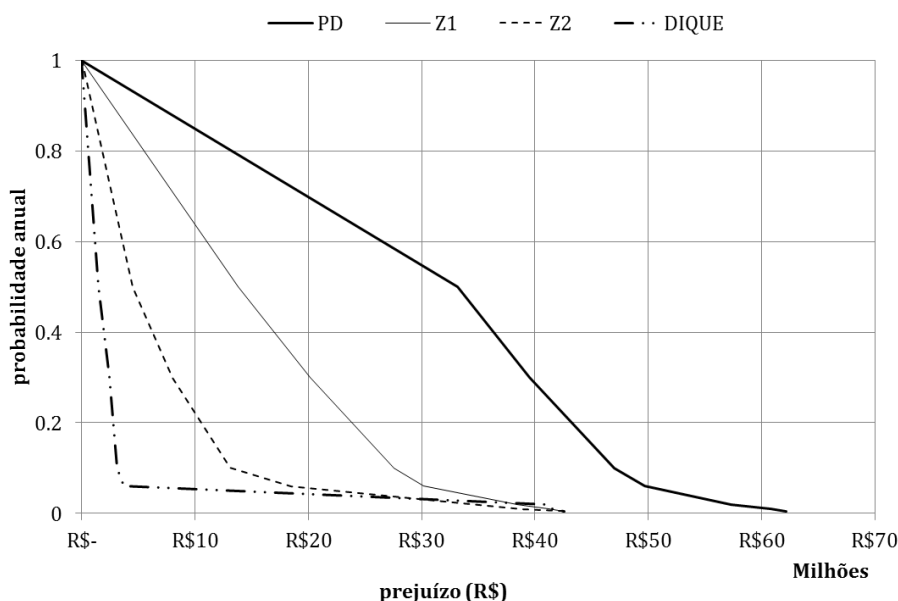
Para a situação simulada com a influência dos diques de proteção, o dano ocorrerá apenas para aquelas regiões as quais não estão protegidas pelo dique ou ainda quando a sua capacidade de controle for superada (TR 25 anos). Atenta-se que se buscou compatibilizar a localização do dique à zona de acomodação de cheias, uma vez que com a instalação dessa estrutura não se pode aceitar moradias entre ele e o curso d'água. De tal modo, o prejuízo total para as cotas acima do referencial de 28 m aproxima-se da situação sem a medida de proteção. Também percebe-se um ligeiro aumento do dano para eventos extremos, compatível com a simulação hidráulica, que mostrou um incremento tanto da extensão quanto das profundidades de submersão. A situação da implementação da zona de restrição Z2 juntamente com o dique não se apresentou vantajosa, uma vez que os danos estimados diferem muito pouco. Isso é explicado pelo fato de que, quando o nível de contensão do dique é extrapolado, as profundidades de submersão são muito altas.

É importante ressaltar que o presente estudo buscou estimar os danos para o município de Lajeado para população levantada pelo censo 2010. Com isso, os comparativos aqui apresentados indicam quais seriam as estimativas de prejuízo caso a estrutura da cidade estivesse planejada para as medidas testadas. Para o planejamento urbano futuro, caso seja aproveitada a metodologia proposta, deverá ser considerado o estímulo à ocupação que cada medida poderá causar no ordenamento territorial. Para o dique em especial, deve-se realizar um estudo extremamente cauteloso, pois se cria uma falsa sensação de proteção, a qual resulte em um alto crescimento das áreas que antes não eram ocupadas justamente pelo receio de inundação. Assim, os prejuízos associados aos grandes eventos tendem a ser ainda maiores.

#### 7.4. AVALIAÇÃO DO BENEFÍCIO DAS MEDIDAS

O benefício de cada decisão por uma ou outra medida está atrelado não só à diminuição do dano bruto ocasionado por um evento qualquer de inundação, mas principalmente pela diminuição do risco de inundações. O risco de inundações, por sua vez, é o resultado da vinculação das consequências negativas de cada evento de inundação potencial com a probabilidade anual de excedência de tais eventos. Através dessas relações é que foi possível a estimativa das curvas de prejuízo para o município de Lajeado, para cada medida de controle, conforme mostra a Figura 7.12.

**FIGURA 7.12: CURVAS DE RISCO PARA O MUNICÍPIO DE LAJEADO, PARA CADA MEDIDA DE CONTROLE.**



As informações fornecidas por essas curvas permitem estimar o dano esperado anual, que é a forma mais usual para comparar os riscos de inundação. O dano esperado é a média dos danos por inundação computados ao longo de muitos anos, mas é pela falta de séries de dados desse tipo de informação que as curvas de dano-probabilidade são utilizadas. O dano esperado para cada uma das situações simuladas segue na tabela Tabela 7-4.

**TABELA 7-4: DANO ESPERADO PARA CADA SITUAÇÃO DE MEDIDAS DE CONTROLE.**

Situação	Dano esperado (R\$/ano)
Plano Diretor	28.694.175
Zoneamento Z1	14.181.381
Zoneamento Z1+Z2	6.304.369
Dique	2.720.710

##### 7.4.1. INVESTIMENTO NECESSÁRIO DAS MEDIDAS

Ainda que em termos de redução dos danos por uma medida de controle aparentemente se apresente como um cenário vantajoso, é indispensável que se faça uma avaliação dos custos

envolvidos em cada medida. Esta é uma parte importante para a verificação da viabilidade de implementação de um sistema de controle de inundações.

Para este estudo, foram utilizados valores indicativos médios de custos, onde os custos foram divididos entre aqueles presentes sempre que ocorre um evento de inundação, e aqueles considerados apenas no início de implementação da medida.

Com base em um levantamento da Defesa Civil de Lajeado, foi possível extrair o custo médio de mobilização para atender a população durante uma inundação, estimado em R\$ 239 por família para cada dia. O custo de mobilização da Defesa Civil aumenta para eventos mais frequentes e diminui na medida em que as medidas de controle evitam com que a população seja afetada.

Os custos associados ao zoneamento são de ordem única, ou seja, essa despesa existirá apenas quando se tomar a decisão por essa medida. Foram considerados para isso os custos com desapropriação médios sugeridos pela SOP para o estudo de cheias no rio Caí, de R\$40/m<sup>2</sup> (RIO GRANDE DO SUL, 2014). Os custos de desapropriação se tornam extremamente caros quando considerada a hipótese de distribuição da população conforme o Plano Diretor vigente, uma vez que teria que ser desapropriada uma área de cerca de 1,3 km<sup>2</sup>, correspondente à zona de acomodação de cheias. Para a segunda hipótese, uma vez que se desconsiderou a ocupação nessa área, os custos serão apenas de reintegração de posse das ocupações irregulares. Entretanto, por existirem poucas ocupações e pela dificuldade de se obter uma estimativa de valores, as ocupações irregulares não foram consideradas no presente estudo. Além disso, também não foram estimados os custos com adequação do Plano Diretor e regulamentação de demais normas necessárias, pois já está previsto pela Prefeitura de Lajeado uma atualização da legislação de ocupação e uso do solo no município. Espera-se, portanto, que sejam considerados os resultados aqui obtidos para tais ajustes.

Uma vez que o objetivo desse estudo não é o dimensionamento das medidas de controle, mas sim uma avaliação de que forma pode-se melhor geri-las a partir da variação do risco de inundações, os custos com o dique também foram obtidos de literatura. O custo médio para um dique de características similares, de acordo com o estudo da SOP (RIO GRANDE DO SUL, 2014), é de R\$2.000/m. Além disso, existiriam os custos de operação e manutenção dessa estrutura, que não foram estimados.

#### 7.4.2. AVALIAÇÃO POR CENÁRIOS

A avaliação dos diferentes cenários buscou elucidar de que forma as medidas propostas de controle e o gerenciamento atual impactam o município em termos de prejuízo financeiro. As 3 alternativas dividem-se entre duas hipóteses: a de considerar a ocupação distribuída conforme prega o Plano Diretor; e de se considerar que existe uma faixa não ocupada em função das inundações recorrentes. Com isso, totalizam 6 cenários.

A primeira informação necessária para a avaliação dos custos totais é o dano anual esperado para cada cenário. O custo total de cada cenário será a soma do dano esperado com a medida e os investimentos necessários para a aplicação da mesma. Dependendo de qual é a consideração para a situação inicial, determina-se o dano evitado por cada medida, que será igual à diferença entre o dano esperado para a situação atual e o dano esperado com a medida. Caso a decisão tomada seja de manter a situação como está, sem realizar nenhuma intervenção, logicamente o dano evitado será nulo.

Finalmente, o fator de retorno ( $F_{R\$}$ ) indica quanto de dano se estará evitando para cada Real monetário de investimento em proteção. Logo, a medida se torna vantajosa se  $F_{R\$}$  for maior do que 1, o que indicaria que todo o montante investido foi compensado por uma redução dos prejuízos decorrentes das inundações. A situação mais desfavorável se dá quando  $F_{R\$}$  for igual a zero; nesse caso, todo e qualquer investimento realizado para minimizar os danos decorrentes de um evento não resultam em retorno econômico para o município e sua população. Para  $F_{R\$}$  entre zero e 1 a situação não é tão vantajosa, mas se apresenta como uma melhor opção à fazer nada.

A simplificação por adotar apenas um limite central para a delimitação das áreas inundáveis, acarreta em estimativas de valores médios, sem, no entanto, ser possível avaliar o intervalo de confiança dessas estimativas. Dessa forma, ratifica-se que os valores aqui apresentados são apenas indicativos iniciais para análises futuras e devem ser utilizados com cautela, sem tomá-los como valores absolutos. Acredita-se que com a ampliação do monitoramento das inundações nessa região, com inventário de danos e levantamento das manchas durante o período de inundação, seja possível atribuir aos resultados maior confiabilidade para eventuais utilizações em ante projetos das medidas de controle.

#### **Hipótese 1: situação atual conforme o Plano Diretor**

A Tabela 7-5 apresenta a avaliação de custos para a hipótese 1. Para essa hipótese foi considerada necessária a desapropriação de toda a área classificada como zona de acomodação de cheias. Dessa forma, tanto o cenário 2 quanto o cenário 3 englobam esse

custo, além dos gastos de mobilização da defesa civil. Para o cenário 3, ainda, tem-se o investimento com a construção dos diques, sem considerar os gastos futuros com manutenção e operação da estrutura. Com isso, em função dos altos custos relacionados ao investimento necessário em medidas de controle, nenhum desses cenários apresenta um  $F_{R\$}$  maior do que 1. Já para o cenário 1 como não se tem redução dos danos, o  $F_{R\$}$  é zero, representando o cenário mais desfavorável.

**TABELA 7-5: RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE CUSTOS PARA A HIPÓTESE 1.**

Custos (R\$/ano)	CENÁRIO 1		CENÁRIO 2		CENÁRIO 3	
	Hipótese:	Atual = PD	Hipótese:	Atual = PD	Hipótese:	Atual = PD
	Medida:	Manter	Medida:	Zoneamento	Medida:	Dique
Dano esperado		28.694.175		6.304.369		2.720.609
Investimento medidas		56.777		50.364.626		94.960.535
Custo total		28.750.952		56.668.995		97.681.144
Dano evitado		-		22.389.806		25.973.566
Fator de retorno (R\$evitado/R\$investido)		0,00		0,44		0,27

### **Hipótese 2: situação atual sem habitações na zona de acomodação de cheia**

A Tabela 7-6 apresenta a avaliação de custos para a hipótese 2. Para essa hipótese não é necessária a desapropriação da zona de acomodação de cheias, uma vez que considerou-se que essa estaria completamente desocupada. Contudo, ressalta-se a importância de um levantamento *in loco* afim de verificar essa condição, bem como avaliar possíveis moradias que tenham que ser desapropriadas ou por serem ocupação irregular ou por estarem em áreas de risco.

Para o cenário 1, o dano esperado estimado foi menor que na hipótese anterior, uma vez que não existirá prejuízos para a zona de acomodação de cheias. Conseqüentemente, o dano evitado para cada medida também diminui. Essa consideração resulta em um cenário menos favorável ainda para a implementação de um dique, pois a relação entre valor evitado e investido é menor. Já o cenário 5 mostra-se como o mais vantajoso, pois cada real investido em medidas de controle o retorno em prejuízo evitado seria de aproximadamente R\$ 588; contudo, a discussão mais relevante a ser feita é o fato do  $F_{R\$}$  para o cenário 5 ter sido maior do que 1, o que indica que os benefícios da medida seriam maiores do que os custos necessários para tal.

Embora não se tenha estimado os custos envolvidos no processo de regulamentação e implementação das medidas de zoneamento, o resultado aqui apresentado, pode ser interpretado como o montante de economia que se pode atingir com esse cenário. O saldo

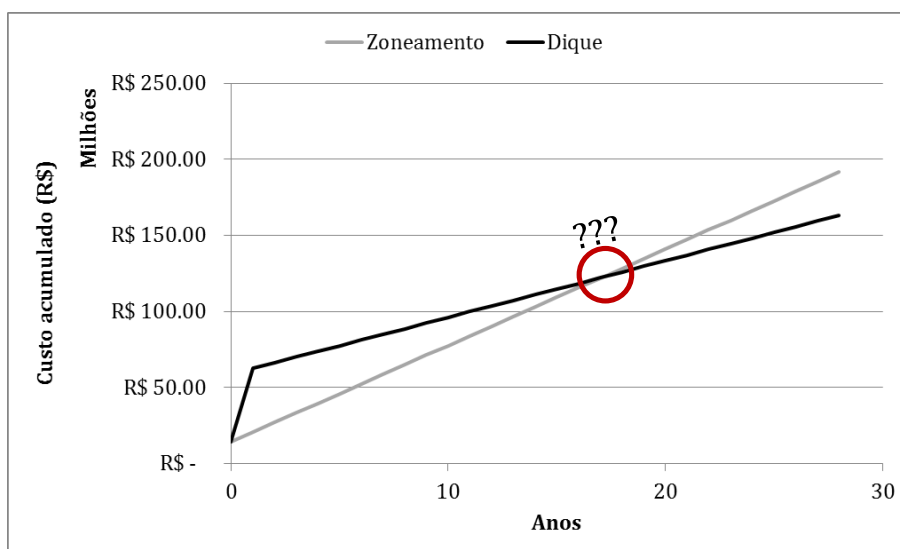
entre o dano evitado e os gastos com mobilização da defesa civil estariam em torno de R\$ 7,8 milhões. Esse valor, por exemplo, pode servir como um indicativo de até quanto se poderia investir, afim de não se gastar mais com a medida do que se terá de retorno, em termos de diminuição do dano esperado.

**TABELA 7-6: RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE CUSTOS PARA A HIPÓTESE 2.**

Custos (R\$/ano)	CENÁRIO 4		CENÁRIO 5		CENÁRIO 6	
	Hipótese:	Atual = Z1	Hipótese:	Atual = Z1	Hipótese:	Atual = Z1
	Medida:	Manter	Medida:	Zoneamento	Medida:	Dique
Dano esperado		14.181.381		6.304.369		2.720.609
Investimento medidas		29.695		13.401		44.609.309
Custo total		14.211.077		6.317.770		47.329.919
Dano evitado		-		7.877.012		11.460.772
Fator de retorno (R\$evitado/R\$investido)		0,00		587,76		0,26

A limitação do fator de retorno aqui proposto é que esse considera apenas as condições iniciais para uma análise de medidas. Isso por que é avaliado qual será a diminuição de danos imediatamente após a implementação das alternativas de controle. Contudo, sabe-se da necessidade de verificação de como será o comportamento dos diferentes cenários com o passar dos anos. Para isso, deve ser estimado o  $F_{R\$}$  de longo prazo, tendo como base os custos totais acumulados para cada medida. Enquanto que para o primeiro ano os custos envolvem tanto o dano esperado quanto o investimento das medidas, os anos seguintes irão apenas contabilizar o dano esperado e os custos necessários para a manutenção dessas medidas. Dessa forma, pode haver um ano futuro que, no comparativo entre zoneamento e dique, por exemplo, os custos acumulados dessas medidas se igualem, tal qual mostra o esquema da Figura 7.13. Se esse ano for inferior à vida útil do dique, pode-se também cogitar as possibilidade de que essa medida seja vantajosa a longo prazo. É importante enfatizar, no entanto, que o esquema apresentado sugere uma metodologia a ser utilizada para a verificação de um  $F_{R\$}$  de longo prazo, e deve se considerar todos os custos envolvidos na implementação, operação e manutenção das medidas a serem avaliadas, o que não foi foco do presente estudo.

FIGURA 7.13: CUSTO ACUMULADO HIPOTÉTICO COMPARATIVO ENTRE ZONEAMENTO E DIQUE.



## 8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O intuito desse trabalho foi verificar combinações de medidas estruturais e não estruturais para o controle de inundações, com a incorporação do conceito de risco de prejuízo às análises, tendo o município de Lajeado como cidade de aplicação da metodologia. Para isso, foram propostas três medidas: a) manutenção da situação atual - não implementar nenhuma forma de controle; b) medida não estrutural de restrição de ocupação a partir de estudos de zoneamento; c) medida estrutural de construção de um dique ao longo do rio Taquari e principais arroios urbanos do município. Para a avaliação da validade de tais medidas, duas hipóteses de ocupação atual foram consideradas: conforme ordenamento apresentado pelo plano diretor (hipótese 1); e com uma área de não ocupação coincidente com a zona de acomodação de cheias (hipótese 2). Os benefícios advindos de cada medida foram estimados com base na diminuição do dano anual esperado. Tanto o risco quanto o dano esperado anual traduzem o possível prejuízo sofrido de uma forma que se aproxime da realidade local, devido à consideração dos fatores de perigo, exposição e vulnerabilidade não por um índice específico para cada um, mas pela possibilidade de representá-los na forma de danos.

Com o Fator de retorno proposto, foi possível avaliar de que forma os investimentos em medidas de controle voltam na forma de diminuição de prejuízos decorrentes de inundações. Dessa forma, fica evidente que a opção por manter o atual sistema de gestão sempre irá onerar o município, uma vez que o  $F_{R\$}$  é nulo para os cenários 1 e 4. Para os cenários 3 e 6, com a implementação de diques, existe a diminuição do dano, mas como essa é uma medida muito cara, ainda gasta-se mais do que sem tem em retorno. Embora se apresente como um pouco mais vantajoso, o mesmo ocorre para o cenário 2, com a medida de zoneamento, pois nesse



caso teriam gastos elevados com a desapropriação. A medida de zoneamento no cenário 5 foi a que se mostrou mais vantajosa, sendo a única a apresentar um  $F_{RS}$  maior do que 1, indicando que a diminuição dos danos é maior do que os gastos necessários para tal.

A escolha por desenvolver uma metodologia a qual utilize grande parte dos dados na forma padronizada permite que seja replicada para diversos outros municípios com características socioeconômicas semelhantes. Trabalhar as estimativas com base na classe socioeconômica e com o setor censitário como unidade espacial também favorece a comparação dos resultados obtidos entre localidades diferentes, bem como avaliar a evolução no próprio município. Uma vez que existe uma periodicidade de atualização do Censo Brasileiro pelo IBGE, por exemplo, facilita para a própria Administração Pública atualizar e verificar a validade das medidas propostas.

Os resultados obtidos a partir da hipótese 1 de ocupação, enfatizam a necessidade de adaptação do atual Plano Diretor à realidade de tendências de ocupação no município de Lajeado. Ratifica-se a importância da consideração das áreas frequentemente inundáveis, bem como da correta demarcação das áreas verdes e de expansão. Lembra-se ainda que a zona de acomodação de cheias aqui proposta, mesmo englobando uma região sem muitas moradias, não é uma área de restrição à ocupação conforme as diretrizes do município. A estimativa dos gastos com desapropriação dessa zona, portanto, demonstra a atenção especial que se deve ter para que tal região não venha a ser ocupada em um futuro.

Como esse estudo buscou avaliar de que forma poderia ser realizada a verificação de medidas de controle através do risco de prejuízo decorrente das inundações, não foi considerado o crescimento populacional nem o comportamento dessas medidas com o passar dos anos. Dessa forma, ressalta-se a importância de se considerar tais aspectos em futuras estimativas. Ainda, a adoção por quaisquer medidas de controle poderá resultar em um estímulo à ocupação de áreas que antes não eram consideradas aptas a receberem moradias. Tal fato deve ser previsto principalmente na escolha por implementação do dique de contenção, uma vez que grandes áreas poderiam passar a ser ocupadas, contribuindo para um aumento no prejuízo decorrente de eventos extremos que superem a capacidade da estrutura. Além disso, devem ser previstos os gastos com operação e manutenção dos diques, bem como testes da eficiência do sistema pelo menos uma vez ao ano.

Uma vez que ainda não se têm registros detalhados dos prejuízos sofridos em Lajeado, sugere-se que seja realizado um inventário de danos para eventos futuros. Afim de fornecer maior confiabilidade para a aplicação dessa metodologia, considera-se importante a realização

da comparação dos resultados aqui estimados com o levantamento dos danos sofridos no próprio município. O mesmo sugere-se para o monitoramento de níveis e limites das áreas inundadas por eventos críticos no município, que pode ser complementado desde a implantação de réguas distribuídas ao longo do município para demarcação desses eventos como também pelo levantamento fotoaéreo durante o pico da inundação.

Por fim, recomenda-se que sejam inseridas demais tipologias de danos tangíveis, bem como os intangíveis, afim de se aproximar cada vez mais dos reais prejuízos decorrentes das inundações, além de estimativas para as demais medidas de controle conhecidas.

## 9. REFERÊNCIAS

ABEP. Associação Brasileira de Empresas e Pesquisa. **Critério Brasil**. Disponível em: <http://www.abep.org/criterioBrasil.aspx>. Acesso em: 9 de fevereiro de 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12721**: Critérios para avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

AHSUL – Administração das Hidrovias do Sul. Enchentes do Rio Taquari (informações pessoais não publicadas). Porto Alegre: José Luiz Fay de Azambuja, 2007.

ALCOFORADO, R. G. e CIRILO, J. A. Sistema de suporte à decisão para análise, previsão e controle de inundações. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 6 n.4 p. 133-153. Out/Dez 2001.

ALVES, A. W. **Planejamento e crescimento urbano: um estudo sobre os planos diretores da cidade de Lajeado, Rio Grande do Sul**. 2010. 158 p. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento) – Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2010.

BANCO MUNDIAL e NAÇÕES UNIDAS. **Natural hazards, unnatural disasters: the economics of effective prevention**. Washington, EUA. Banco Mundial, 2010.

BERTONE, P.; MARINHO, C. Gestão de riscos e resposta a desastres naturais: a visão do planejamento. In: CONGRESSO CONSAD DE GESTÃO PÚBLICA, 4., 2013, Brasília. **Painel**. Brasília: Multiempresarial, 2013. p. 1 - 24. Disponível em: <http://consadnacional.org.br/wp-content/uploads/2013/05/069-GESTÃO-DE-RISCOS-E-RESPOSTA-A-DESASTRES-NATURAIS-A-VISÃO-DO-PLANEJAMENTO.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2015.

BOMBASSARO, M. e ROBAINA, L. E. S. Contribuição geográfica para o estudo das inundações na bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, RS. **Geografias**, v. 6, n. 2, p. 69-86, 2010.

BOTH, G. C.; HAETINGER, C.; FERREIRA, E. R.; DIEDRICH, V. L.; AZAMBUJA, J. L. F. Uso da modelagem matemática para a previsão de enchentes no Vale do Taquari. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 6., 2008. Serra Negra. Disponível em: <http://ensino.univates.br/~chaet/Materiais/Modelagem/trab01000140.pdf>. Acesso em: 16 de novembro de 2015.

BRASIL. Ministério das Cidades. SNIS. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos**. Brasília, 2011.

BRASIL. Instrução Normativa nº 1, de 24 de agosto de 2012. Estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos Municípios, Estados e pelo Distrito Federal, e para o reconhecimento federal das situações de anormalidade decretadas pelos entes federativos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF 30 ago. 2012. n. 169, seção 1, p. 30.

BRASIL. **Lei nº 12.608** de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nos 12.340, de 1o de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm). Acesso em: 16 de dezembro de 2015.

BRUNNER, G. W. **HEC-RAS**: river analysis system user's manual - version 4.1. U.S. Army Corps of Engineers. Davis, CA. 2010.

CANÇADO, V. L. **Consequências econômicas das inundações e vulnerabilidade**: Desenvolvimento de metodologia para avaliação do impacto nos domicílios e na cidade. 2009. 394 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2009.

CASTILHO, A. S. *et. al.* **Utilização de modelo hidráulico associado a um SIG para a definição de áreas inundáveis na cidade de Governador Valadares, Minas Gerais**. s.d. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/rehi/simposio/bh/UTILIZACAO%20DE%20MODELO%20HIDRAULICO%20ASSOCIADO%20A%20UM%20SIG%20PARA%20A%20DEFINICAO%20DE%20AREAS%20INUNDAVEIS%20NA%20CIDADE.pdf>. Acesso em: 02 de setembro de 2014.

CIGIAR-CSI – Consortium for Spatial Information. **SRTM 90m Digital Elevation Data**. Disponível em: <http://srtm.csi.cgiar.org/>. Acesso em: 3 de março de 2015.

CRICHTON, D. **The Risk Triangle**. 1999. Disponível em: <<http://www.ilankelman.org/crichton.html>>. Acesso em: 08 abr. 2015.

CUNHA, S. e TAVEIRA-PINTO, F. Aplicação de uma metodologia de análise de risco de inundações à zona ribeirinha do Peso da Régua. In: JORNADA DE HIDRÁULICA, RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE, 6., 2011, Porto. **Anais...** Porto: FEUP, 2011. p. 103-112.

DECKERS, P. *et. al.* **A GIS for Flood Risk Management in Flanders**. Department of Geography, Faculty of Sciences, Ghent University. Gent, Belgium. 2010.

DEP. Departamento de Esgotos Pluviais. **Sistema de Proteção contra Cheias e Plano Diretor de Drenagem Urbana**. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2015.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Eclusa de Bom Retiro**. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/hidrovias/obras-da-diretoria-aquaviaria/eclusas/eclusa-de-bom-retiro-rs>. Acesso em: 9 de fevereiro de 2015.

DOUGAL, M. D. (Ed.). **Flood plain management: Iowa's experience**. Iowa: The Iowa State University Press, 1969. 270 p.

ECKHARDT, R. R. **Geração de modelo cartográfico aplicado ao mapeamento das áreas sujeiras às inundações urbanas na cidade de Lajeado/RS**. 2008. 116 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

FERRI, G.; TOGNI, A. C. **A história da bacia Taquari-Antas**. Lajeado: Ed. da Univates, 2012. 375 p. ISBN 980-85-8167-016-4.

FOUDI, S., OSÉS-ERASO, N. e TAMAYO, I. Integrated spatial flood risk assessment: The case of Zaragoza. **Land Use Policy**, n. 42, p. 278–292, 2014.

GOOGLE EARTH. Versão 7.1.2.2041. **Imagens de satélite**. Acesso em 9 de fevereiro de 2015.

GREINER, C. **Avaliação do referencial de nível das inundações da cidade de Lajeado/RS**. 2014. 85 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2014.

HAROU, J. J. *et. al.* Hydro-economic models: Concepts, design, applications and future prospect. **Journal of Hidrology**, n. 375, p. 627-643, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário**. Rio de Janeiro: Centro de Documentação e Disseminação de Informações. 2011.

IBGE. SIDRA - Banco de dados Agregados. **Dados do senso 2000 e 2010**. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em 14 de abril de 2014.

IPH. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. **Regionalização de vazões do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 1991. v.1, p.149-150.

IPH. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. **Relatório parcial de andamento**. Não publicado.

IPH. **Relatório de caracterização da bacia hidrográfica Taquari-Antas**. Desenvolvimento e preparação da implantação de uma estratégia integrada de prevenção de riscos associados a regimes hidrológicos na bacia do Taquari-Antas. Porto Alegre, 2015.

JAMES, L. A.; SINGER, M. B. Development of the Lower Sacramento Valley Flood-Control System: Historical Perspective. **Natural Hazards Review**, p. 125-135, ago., 2008.

KAMAKURA, W. A. e MAZZON, J. A. **Estratificação Socioeconômica e Consumo no Brasil**. São Paulo: Blucher. 2013. Disponível em: [www.pesquisasocioeconomica.com.br](http://www.pesquisasocioeconomica.com.br). Acesso em: 9 de fevereiro de 2015.

KOBAYASHI, Y. e PORTER, J. W. **Flood risk management in the People's Republic of China**: Learning to live with flood risk. Mandaluyong City, Philippines: Asian Development Bank, 2012.

KUREK, R. K. M. **Avaliação do tempo de retorno dos níveis das inundações no Vale do TaquariRS**. 2014. 85 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2012.

LARENTIS, D. G., COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação da Qualidade de Água em Grandes Bacias: Rio Taquari-Antas, RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13 n. 3, p. 05-22, 2008.

MACHADO, M. L., *et. al.* Curvas de danos de inundação *versus* profundidade de submersão: desenvolvimento de metodologia. **Revista de gestão de água da América Latina (REGA)**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 35-52, jan./jun. 2005.

MAGALHÃES, L. F. O. *et. al.* Calibração de um modelo hidráulico para zoneamento de manchas de inundação no município de Rio Largo/AL baseada no evento de 2010. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 10., 2013, Bento Gonçalves. **Sumário**. Porto Alegre: RBRH, 2013.

MARQUES, G. F. **FLOC - Flood Control Decision Support Model**. 2001.

MARSALEK, J. *et. al.* Urban water cycle processes and interactions. **Urban water series**. UNESCO, v. 2. 2007.

MAYS, L. W. e TUNG, Y. **Hydrosistem engineering and management**. New York: McGraw-Hill. 1992. 530 p.

MEDEIROS, M. J. **Diagnóstico da ocorrência de inundações no Brasil como ferramenta de planejamento**: o Atlas de Vulnerabilidade a Inundações. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 14., 2011, Maceió. **Sumário...** Porto Alegre: RBRH, 2011.

MESSNER, F. *et. al.* **Evaluating flood damages**: guidance and recommendations on principles and methods. Wallingford: FLOODsite. 2007. 178 p.

OLSEN, J. R. *et. al.* Dynamic models for floodplain management. **Journal of Water Resource Planning and Management**, p. 167-174, mai./jun., 2000.

PENNING-ROUSELL, E. C. e CHATTERTON, J. B. **The benefits of flood alleviation**: A manual of assessment techniques. England: Saxon House. 1977. 297 p.

PENNING-ROUSELL, E. C. *et. al.* **The Benefits of Flood and Coastal Risk Management**: A Handbook of Assessment Techniques. Flood Hazard Research Centre. London: Middlesex University Press. 2005. 81 p.

PMBRS. Prefeitura Municipal de Bom Retiro do Sul. **Barragem Eclusa de Bom Retiro do Sul**. Disponível em: <http://www.bomretirodosul.rs.gov.br/>. Acesso em: 9 de fevereiro de 2015.

PML. Prefeitura Municipal de Lajeado. Lei nº 7.650, de 10 de outubro de 2006. Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado de Lajeado. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-lajeado-rs>. Acesso em: 17 de setembro de 2015.

PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. 2013. Disponível em: <http://atlasbrasil.org.br/2013/pt/>. Acesso em: 20 de outubro de 2015.

REZENDE, B. S. **Análise hidrológica sobre as ocorrências de inundações na área urbana da Cidade de Lajeado**. Lajeado. 1993.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Obras Públicas, Irrigação e Desenvolvimento Urbano. **Estudos de alternativas para minimização do efeito das cheias do trecho baixo do Rio Caí/RS**. Porto Alegre, 2014. Disponível em: <http://www.metroplan.rs.gov.br/lista/671>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2015.

SALGADO, J. C. M. **Avaliação econômica de projetos de drenagem e de controle de inundações em bacias urbanas**. 1995, 113 p. Dissertação (Mestrado em ciências em engenharia civil) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1995.

SINDUSCON. **Custo Unitário Básico do RS**. Disponível em: <http://www.sinduscon-rs.com.br/produtos-e-servicos/pesquisas-e-indices/cub-rs/>. Acesso em: 22 de julho de 2015.

TACHINI, M. **Avaliação de danos associados às inundações no município de Blumenau**. 2010. 167 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. **Estudos avançados**. edição 22, p. 97-112. 2008.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2009. 943 p.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília. 2005.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. **Coleção ABRH de Recursos Hídricos**, v. 11. 2007.



UNISDR. The United Nations Office for Disaster Risk Reduction. **UN World Conference on Disaster Risk Reduction**. Disponível em: <http://www.wcdrr.org/>. 2015.

USACE. U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. **Computer software for hydrologic engineering and planning analysis procedures**. Disponível em: <http://www.hec.usace.army.mil/software/>. Acesso em: 3 de dezembro de 2015.

WRC - U. S. Water Resources Council. **Regulation of flood hazard areas to reduce flood losses**. Washington: Superintendent of Documents, 1971. 578 p.

# APÊNDICES

## APÊNDICE A

### AJUSTE DE DISTRIBUIÇÃO DE COTAS PARA O PORTO DE ESTRELA.

Data	Cota obs (m)	Posição Plotagem	TR	Cota est	Intervalo confiança (95%)	
06/05/1941	29.01	0.01	95.33	30.55	32.51	28.59
06/04/1956	28.02	0.03	35.75	28.91	30.87	26.95
01/10/2001	26.96	0.05	22.00	28.05	30.01	26.09
21/07/2011	26.85	0.06	15.89	27.46	29.42	25.50
27/10/2008	26.65	0.08	12.43	27.00	28.96	25.04
01/06/1990	26.64	0.10	10.21	26.63	28.59	24.67
20/09/1967	26.40	0.12	8.67	26.30	28.26	24.34
21/08/1965	26.32	0.13	7.53	26.02	27.98	24.06
21/07/2001	26.30	0.15	6.65	25.76	27.72	23.80
24/09/2007	26.25	0.17	5.96	25.53	27.49	23.57
24/09/1989	25.89	0.19	5.40	25.31	27.27	23.35
04/08/1997	25.70	0.20	4.93	25.11	27.07	23.16
29/06/1982	25.40	0.22	4.54	24.93	26.89	22.97
28/05/1992	25.35	0.24	4.21	24.75	26.71	22.79
12/09/1989	25.20	0.26	3.92	24.59	26.55	22.63
24/04/1985	24.90	0.27	3.67	24.43	26.39	22.47
06/07/1983	24.75	0.29	3.45	24.27	26.23	22.31
10/08/2011	24.66	0.31	3.25	24.13	26.09	22.17
11/07/2007	24.52	0.33	3.08	23.99	25.95	22.03
13/09/2009	24.51	0.34	2.92	23.85	25.81	21.89
15/09/1988	24.25	0.36	2.78	23.72	25.68	21.76
05/01/2010	23.95	0.38	2.65	23.59	25.55	21.63
26/08/2013	23.83	0.40	2.53	23.46	25.42	21.50
13/10/2000	23.80	0.41	2.42	23.34	25.30	21.38
07/12/1980	23.25	0.43	2.33	23.22	25.18	21.26
10/10/2005	22.95	0.45	2.23	23.10	25.06	21.14
18/08/1983	22.84	0.47	2.15	22.98	24.94	21.02
24/10/1982	22.70	0.48	2.07	22.86	24.82	20.90
12/06/2002	22.40	0.50	2.00	22.75	24.71	20.79
25/09/1988	22.35	0.52	1.93	22.64	24.60	20.68
25/11/1983	21.90	0.54	1.87	22.52	24.48	20.56
21/02/2003	21.80	0.55	1.81	22.41	24.37	20.45
28/09/2009	21.75	0.57	1.76	22.30	24.26	20.34
23/08/1980	21.70	0.59	1.70	22.19	24.15	20.23
20/02/1984	21.70	0.59	1.65	22.08	24.04	20.12
06/03/1987	21.70	0.59	1.61	21.96	23.92	20.00
10/08/2009	21.62	0.64	1.56	21.85	23.81	19.89
16/08/1998	21.55	0.66	1.52	21.74	23.70	19.78
23/09/2010	21.55	0.66	1.48	21.63	23.59	19.67
15/10/1990	21.45	0.69	1.44	21.51	23.47	19.55
30/07/1987	21.35	0.71	1.41	21.39	23.35	19.43
19/09/2012	21.25	0.73	1.38	21.27	23.23	19.31
12/11/1982	21.20	0.75	1.34	21.15	23.11	19.19
06/07/1993	21.15	0.76	1.31	21.03	22.99	19.07
06/07/1989	20.65	0.78	1.28	20.90	22.86	18.94
09/07/1984	20.45	0.80	1.25	20.77	22.73	18.81
03/05/1983	20.40	0.82	1.23	20.63	22.59	18.67
02/08/1983	20.26	0.83	1.20	20.48	22.44	18.52

**AJUSTE DE DISTRIBUIÇÃO DE COTAS PARA O PORTO DE ESTRELA.**

<b>Data</b>	<b>Cota obs (m)</b>	<b>Posição Plotagem</b>	<b>TR</b>	<b>Cota est</b>	<b>Intervalo confiança (95%)</b>	
08/05/1984	19.85	0.85	1.18	20.33	22.29	18.37
16/10/1997	19.70	0.87	1.15	20.17	22.13	18.21
15/05/1987	19.65	0.89	1.13	19.99	21.95	18.03
15/08/1987	19.65	0.89	1.11	19.80	21.76	17.84
18/07/1984	19.60	0.92	1.09	19.59	21.55	17.63
11/10/1986	19.60	0.92	1.07	19.34	21.30	17.39
22/02/2003	19.55	0.96	1.05	19.05	21.01	17.09
15/06/1988	19.40	0.97	1.03	18.65	20.61	16.69
03/07/2002	19.00	0.99	1.01	17.98	19.94	16.02

**AJUSTE DE DISTRIBUIÇÃO DE VAZÕES PARA LAJEADO**

<b>Vazão (m³/s)</b>	<b>Posição de Plotagem</b>	<b>TR</b>	<b>Vazão est. (m³/s)</b>	<b>Intervalo Conf. (95%)</b>	
11630	0.01	95.33	12586	10764	14027
11070	0.03	35.75	11636	10315	12664
10465	0.05	22.00	11140	10031	12000
10402	0.06	15.89	10794	9811	11557
10286	0.08	12.43	10524	9628	11223
10281	0.10	10.21	10300	9469	10955
10142	0.12	8.67	10109	9327	10729
10096	0.13	7.53	9940	9197	10534
10085	0.15	6.65	9788	9078	10362
10056	0.17	5.96	9650	8967	10208
9847	0.19	5.40	9522	8863	10067
9737	0.20	4.93	9404	8765	9937
9562	0.22	4.54	9292	8671	9817
9533	0.24	4.21	9187	8582	9704
9445	0.26	3.92	9088	8497	9597
9270	0.27	3.67	8992	8414	9496
9182	0.29	3.45	8901	8335	9400
9129	0.31	3.25	8813	8258	9308
9047	0.33	3.08	8728	8183	9219
9041	0.34	2.92	8646	8110	9134
8888	0.36	2.78	8566	8039	9051
8711	0.38	2.65	8488	7970	8970
8640	0.40	2.53	8412	7902	8891
8622	0.41	2.42	8338	7835	8815
8297	0.43	2.33	8265	7769	8739
8118	0.45	2.23	8193	7705	8666
8053	0.47	2.15	8122	7641	8593
7969	0.48	2.07	8052	7577	8521
7790	0.50	2.00	7983	7514	8451
7760	0.52	1.93	7915	7452	8380
7491	0.54	1.87	7846	7390	8311
7431	0.55	1.81	7779	7328	8242
7401	0.57	1.76	7711	7266	8173
7371	0.59	1.70	7644	7204	8104
7371	0.59	1.65	7576	7142	8036
7371	0.59	1.61	7508	7080	7967
7323	0.64	1.56	7440	7017	7898
7281	0.66	1.52	7371	6953	7829
7281	0.66	1.48	7302	6889	7759
7221	0.69	1.44	7232	6823	7689
7161	0.71	1.41	7161	6756	7618
7101	0.73	1.38	7088	6688	7545
7071	0.75	1.34	7014	6618	7472

**AJUSTE DE DISTRIBUIÇÃO DE VAZÕES PARA LAJEADO**

<b>Vazão (m³/s)</b>	<b>Posição de Plotagem</b>	<b>TR</b>	<b>Vazão est. (m³/s)</b>	<b>Intervalo Conf. (95%)</b>	
7040	0.76	1.31	6938	6545	7397
6721	0.78	1.28	6860	6470	7321
6589	0.80	1.25	6779	6391	7242
6556	0.82	1.23	6695	6309	7161
6463	0.83	1.20	6606	6221	7077
6193	0.85	1.18	6513	6128	6990
6094	0.87	1.15	6414	6028	6898
6061	0.89	1.13	6308	5917	6801
6061	0.90	1.11	6191	5794	6696
6028	0.92	1.09	6060	5654	6582
6028	0.92	1.07	5909	5488	6455
5995	0.96	1.05	5727	5280	6306
5896	0.97	1.03	5484	4994	6119
5632	0.99	1.01	5074	4484	5826

**RELAÇÃO DE COTAS EM LAJEADO E BOM RETIRO E RESPECTIVA VAZÃO.**

<b>Cota Lajeado (m)</b>	<b>Cota Bom Retiro (m)</b>	<b>Vazão Bom Retiro (m³/s)</b>
23.83	17.54	8640
21.25	15.93	7101
24.66	18.03	9129
26.85	19.22	10402
21.55	16.13	7281
23.95	17.62	8711
21.75	16.26	7401
24.51	17.94	9041
21.62	16.18	7323
26.65	19.12	10286
26.25	18.91	10056
24.52	17.95	9047
22.95	17.02	8118
19.55	14.67	5995
21.80	16.29	7431
19.00	14.23	5632
22.40	16.67	7790
26.96	19.28	10465
26.30	18.93	10085
23.80	17.53	8622
21.55	16.13	7281
19.70	14.78	6094
25.70	18.61	9737
21.15	15.87	7040
25.35	18.41	9533
21.45	16.07	7221
26.64	19.11	10281
25.89	18.71	9847
25.20	18.33	9445
20.65	15.51	6721
22.35	16.64	7760
24.25	17.79	8888
19.40	14.55	5896
19.65	14.74	6061
21.35	16.00	7161
19.65	14.74	6061
21.70	16.23	7371

**RELAÇÃO DE COTAS EM LAJEADO E BOM RETIRO E RESPECTIVA VAZÃO.**

<b>Cota Lajeado (m)</b>	<b>Cota Bom Retiro (m)</b>	<b>Vazão Bom Retiro (m<sup>3</sup>/s)</b>
19.60	14.71	6028
24.90	18.16	9270
19.60	14.71	6028
20.45	15.36	6589
19.85	14.90	6193
21.70	16.23	7371
21.90	16.36	7491
22.84	16.95	8053
20.26	15.22	6463
24.75	18.08	9182
20.40	15.32	6556
21.20	15.90	7071
22.70	16.86	7969
25.40	18.44	9562
23.25	17.20	8297
21.70	16.23	7371
26.40	18.99	10142
26.32	18.94	10096
28.02	19.82	11070
29.01	20.31	11630

**APÊNDICE B**

**REGISTROS FOTOGRÁFICOS DOS PONTOS DE INUNDAÇÃO.**

**Município de Lajeado**



Parque dos Dick – Rua Santos Filho  
Data: 27/10/2008  
Créditos: Deonizio Lang



Rua Bento Gonçalves  
Data: 27/10/2008  
Créditos: Deonizio Lang



Rua Bento Rosa  
Data: 27/10/2008  
Créditos: Deonizio Lang



ALRA - Rua João Batista de Melo  
Data: 27/10/2008  
Créditos: Deonizio Lang



Colégio Evangélico Alberto Torres - Rua  
Bento Gonçalves  
Data: 27/10/2008  
Créditos: Leonardo Carlesso



Marca de inundação em árvores da Av. Décio  
Martins Costa  
Data: 16/07/2015



Ponte sobre arroio Saraquá  
Data: 16/07/2015



Parque dos Dick – Rua João Abott  
Data: 16/07/2015



Esquina ruas Décio Martins Costa com  
Carlos Von Koseritz  
Data: 10/10/2015



Ponte sobre arroio Saraquá  
Data: 10/10/2015



Parque dos Dick – Rua Santos Filho  
Data: 10/10/2015



Colégio Alberto Torres  
Data: 10/10/2015



Rio Taquari próximo à foz do arroio Saraquá  
- Rua Delfino Costa  
Data: 10/10/2015

Município de Estrela



Marcas históricas na Rua 20 de maio  
Data: 14/11/2014



Marcas históricas na Rua Júlio de Castilhos  
Data: 14/11/2014





**LEVANTAMENTO DE PREÇOS DOS CONTEÚDOS DO IMÓVEL PADRÃO E RESPECTIVOS PERCENTUAIS DE DANO CONFORMA A ALTURA DE SUBMERSÃO.**

<i>Conteúdo residência padrão B</i>			<i>Percentual de dano ao conteúdo</i>									
<b>Cômodo</b>	<b>Item</b>	<b>Valor (R\$)¹</b>	<b>Altura de submersão (m)</b>									
			<b>0,05</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,6</b>	<b>0,9</b>	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>	<b>1,8</b>	<b>2,1</b>
	Mesa de cabeceira (2 unidades)	207,34	0%	10%	30%	30%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Luminária de mesa	37,90	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Rádio relógio	113,84	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Quarto de solteiro	Cama de solteiro - D33	296,33	0%	0	30%	30%	90%	90%	100%	100%	100%	100%
	Colchão de solteiro - D33	396,77	0%	0	30%	30%	90%	90%	100%	100%	100%	100%
	Armário duplex	182,30	0%	10%	50%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Cômoda	218,23	0%	10%	35%	35%	60%	60%	100%	100%	100%	100%
	Mesa de cabeceira	103,67	0%	10%	30%	30%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Luminária de mesa	37,90	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Rádio relógio	113,84	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Mesa de estudo	163,50	0%	10%	30%	30%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Cadeira	218,66	0%	0%	20%	20%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Ar-condicionado Split - 9,000 Btu"s (Quente/Frio)	1152,00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
	Ventilador - 30 cm	65,14	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%
Cozinha e Área de serviço	Armário de cozinha balcão	270,97	0%	10%	25%	25%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Armário de cozinha painel	298,00	0%	10%	25%	25%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Armário de cozinha parede	148,56	0%	0	0%	0%	0%	0%	0%	10%	50%	100%
	Conjunto de mesa e 4 cadeiras	568,63	20%	20%	20%	20%	33%	60%	60%	100%	100%	100%
	Fogão - 4 bocas	361,83	0%	5%	5%	10%	10%	40%	100%	100%	100%	100%
	Depurador	185,58	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
	Forno elétrico	341,30	0%	0%	10%	10%	30%	60%	60%	100%	100%	100%
	Microondas	292,00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
	Geladeira Frost-Free	1188,77	0%	0%	15%	60%	60%	80%	100%	100%	100%	100%
	Torradeira (Sanduicheira Grill)	55,39	0%	0%	0%	0%	0%	50%	50%	100%	100%	100%
	Liquidificador	59,30	0%	0%	0%	0%	0%	50%	50%	100%	100%	100%
	Batedeira	67,52	0%	0%	0%	0%	0%	50%	50%	100%	100%	100%
Lavadora de louças	1327,83	0%	0%	20%	50%	50%	50%	75%	100%	100%	100%	

**LEVANTAMENTO DE PREÇOS DOS CONTEÚDOS DO IMÓVEL PADRÃO E RESPECTIVOS PERCENTUAIS DE DANO CONFORMA A ALTURA DE SUBMERSÃO.**

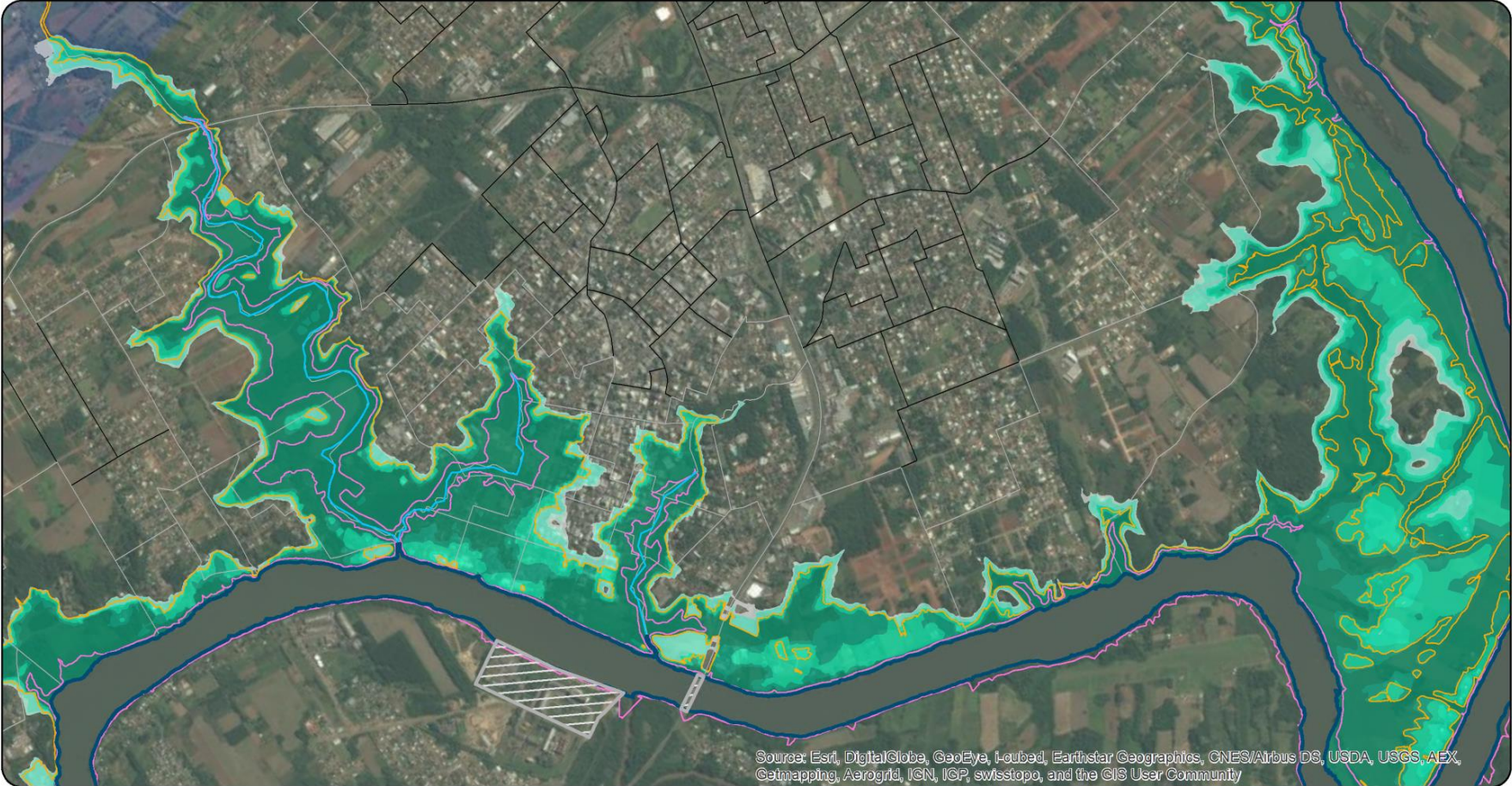
<i>Conteúdo residência padrão B</i>			<i>Percentual de dano ao conteúdo</i>									
<b>Cômodo</b>	<b>Item</b>	<b>Valor (R\$)<sup>1</sup></b>	<b>Altura de submersão (m)</b>									
			<b>0,05</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,6</b>	<b>0,9</b>	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>	<b>1,8</b>	<b>2,1</b>
	Cafeteira	59,09	0%	0%	0%	0%	0%	50%	50%	100%	100%	100%
	Lavadora de roupas - 8 kg	989,20	0%	0%	20%	50%	70%	70%	100%	100%	100%	100%
	Ferro de passar roupas	51,87	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%
	Aspirador de pó	132,64	0%	0%	0%	50%	50%	50%	100%	100%	100%	100%

<sup>1</sup> pesquisa de preços realizada em julho de 2015

**FONTE: ADAPTADO DE TACHINI (2010) E PENNING-ROSWELL E CHATTERTON (1977).**

## **APÊNDICE D**

### **MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS.**

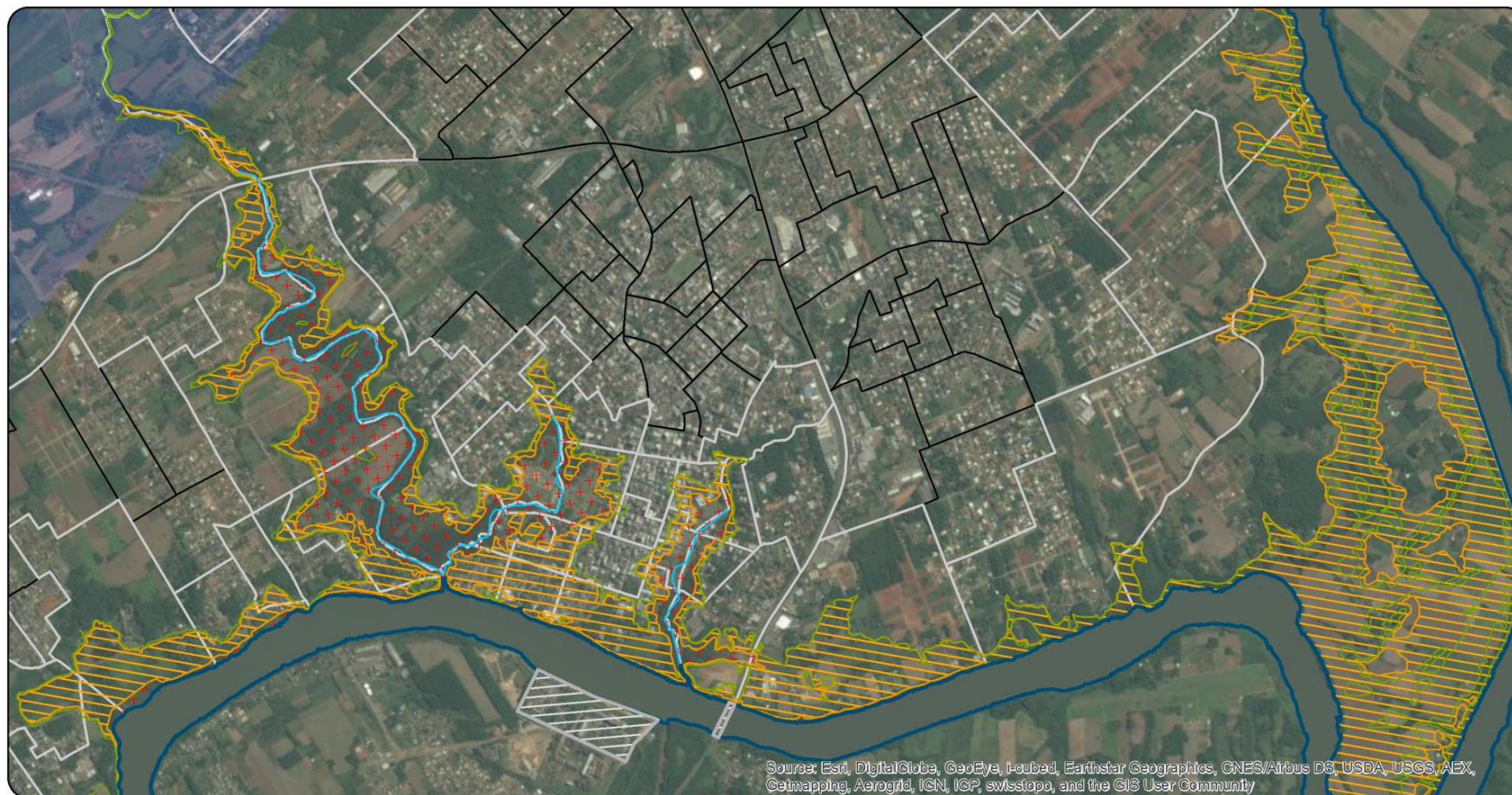










- |                     |             |
|---------------------|-------------|
| Rio Taquari         | TR 2 anos   |
| Arroios             | TR 5 anos   |
| Curva 27 m          | TR 10 anos  |
| Curva 20 m          | TR 25 anos  |
| Setores inundáveis  | TR 50 anos  |
| Setores censitários | TR 100 anos |
| Ponte e porto       | TR 200 anos |



Coordenadas geográficas  
Datum: WGS 1984

**MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS**  
Lajeado - RS  
Cenário: Situação atual

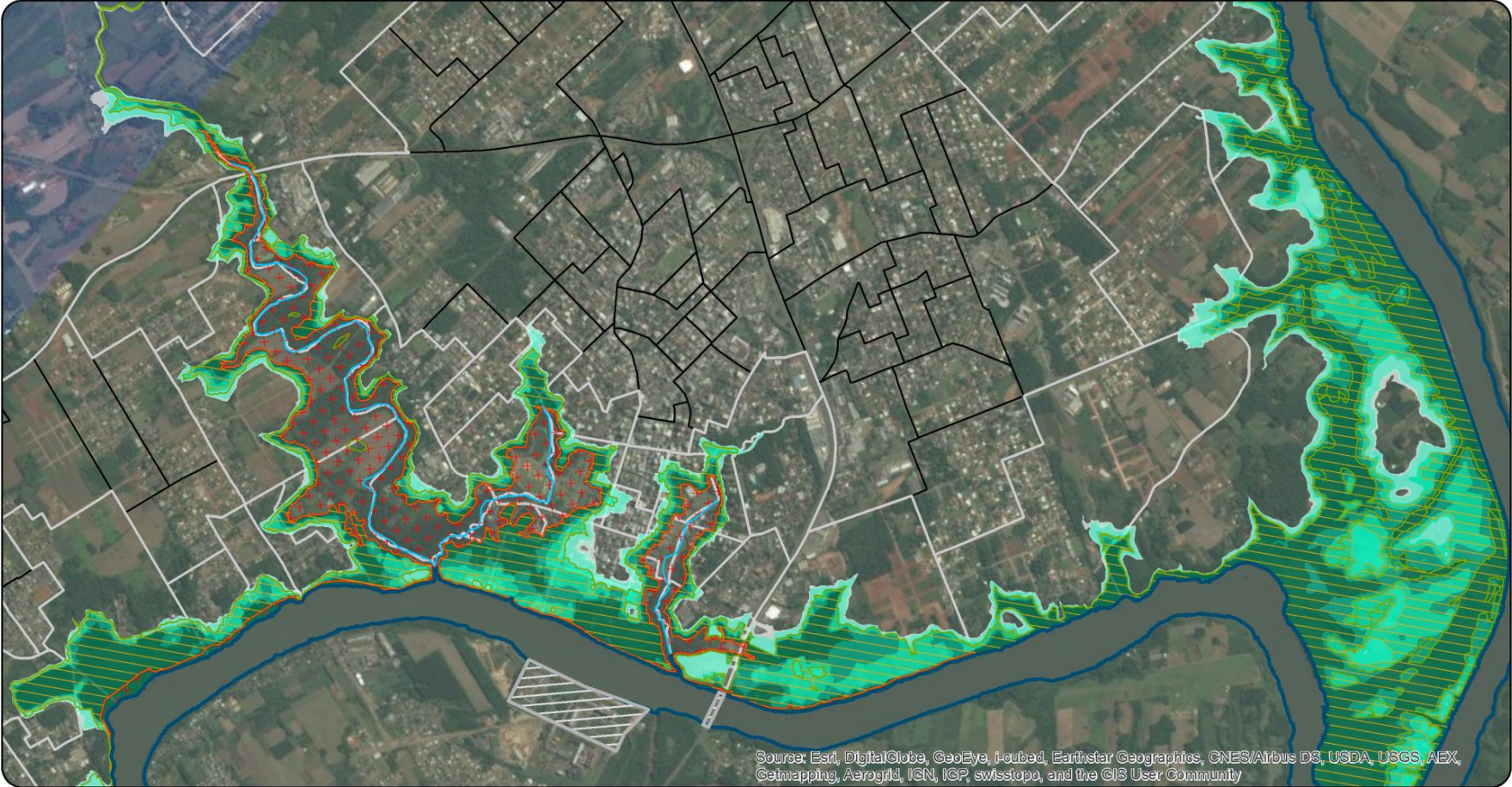










- |                                                                                                   |                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Ponte e porto |  Setores inundáveis                   |
|  Rio Taquari   |  Setores censitários                  |
|  Arroios       |  Z2 – área com restrição à construção |
|  Curva 27 m    |  Z1 – zona de acomodação de cheia     |



Coordenadas geográficas  
Datum: WGS 1984

**MAPA DE ZONEAMENTO**  
Lajeado – RS  
Zona de acomodação de cheia e de restrições

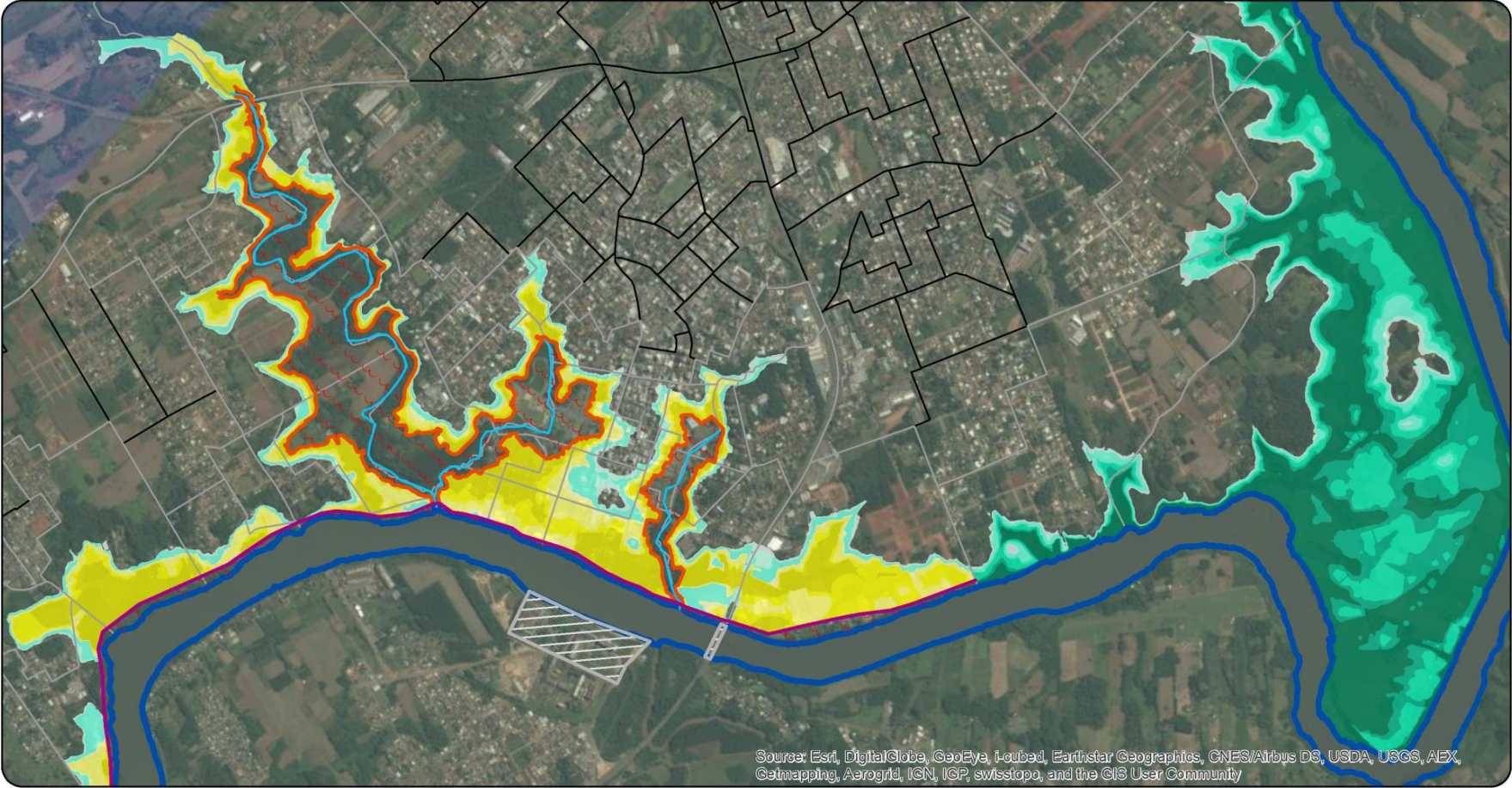


- |                                                                                                   |                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Ponte e porto |  Setores inundáveis                   |
|  Rio Taquari   |  Setores censitários                  |
|  Arroios       |  Z2 – área com restrição à construção |
|  Curva 27 m    |  Z1 – zona de acomodação de cheia     |




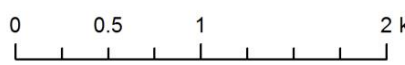

















0 0.5 1 2 km

Coordenadas geográficas  
Datum: WGS 1984

**MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS**  
Lajeado - RS  
Cenário: Zoneamento



Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, I-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community

	Rio Taquari		Setores inundáveis		TR 2 anos	 Coordenadas geográficas Datum: WGS 1984
	Arroios		Setores censitários		TR 5 anos	
	Dique Taquari		TR 2 anos_protégido		TR 10 anos	
	Dique arroios		TR 5 anos_protégido		TR 25 anos	
	Z1 – zona de acomodação de cheia		TR 10 anos_protégido		TR 50 anos	
	Ponte e porto		TR 25 anos_protégido		TR 100 anos	
					TR 200 anos	

MAPEAMENTO DE ÁREAS  
INUNDÁVEIS  
Lajeado - RS  
Cenário: Dique



