



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

CURSO DE ENGENHARIA HÍDRICA



**KÉRLIN TAIS WERMANN**

**APP: ÁREA DE PROTEÇÃO PERMANENTE OU ÁREA DE PERIGO  
PERMANENTE?**

*Estudo de caso do Rio Taquari (RS)*

Porto Alegre

Novembro de 2021

**KÉRLIN TAIS WERMANN**

**APP: ÁREA DE PROTEÇÃO PERMANENTE OU ÁREA DE PERIGO  
PERMANENTE?**

*Estudo de caso do Rio Taquari (RS)*

TRABALHO DE CONCLUSÃO  
APRESENTADO AO INSTITUTO DE PESQUISAS  
HIDRÁULICAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO  
DE ENGENHEIRA HÍDRICA.

**Orientador: Fernando Mainardi Fan**

**Co-orientador: Tiago José Pereira Neto**

Porto Alegre

Novembro de 2021

**KÉRLIN TAIS WERMANN**

**APP: ÁREA DE PROTEÇÃO PERMANENTE OU ÁREA DE PERIGO  
PERMANENTE?**

*Estudo de caso da bacia do Rio Taquari (RS)*

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Hídrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em 19/11/2021 pela Comissão Avaliadora constituída pelos professores:

**Banca Examinadora:**

.....  
Prof. Fernando Mainardi Fan - Orientador  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....  
Prof. Alfonso Risso  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....  
Prof. Masato Kobiyama  
Dr. pela Universidade Federal do Paraná

*Me perdoem por toda esta “bagunça” ...  
Eu só queria passar.  
Eu não fui feito para Destruir... Eu só queria passar.  
Já fui Esperança para os Navegantes...  
Rede cheia para Pescadores...  
Refresco para os banhistas em dias de intenso calor.  
Hoje sou sinônimo de Medo e Dor...  
Mas, eu só queria passar...  
Me perdoem por suas casas  
Por seus móveis e imóveis  
Por seus animais  
Por suas plantações... Eu só queria passar.  
Não sou seu inimigo  
Não sou um vilão  
Não nasci pra destruição...  
Eu só queria passar.  
Era o meu curso natural  
Só estava seguindo meu destino  
Mas, me violentaram,  
Sufocaram minhas nascentes  
Desmataram meu leito...  
Quando eu só queria passar.  
Encontrei tanta coisa estranha pelo caminho...  
Que me fizeram transbordar...  
Muros Casas Entulhos Garrafas Lixo Pontes Pedras Paus...  
Tentei desviar...  
Porque eu só queria passar.  
Me perdoem por inundar sua história,  
Me perdoem por manchar esta história...  
Eu só estava passando...  
Seguindo o meu trajeto  
Cumprindo o meu destino: Passar....*

**Lamento de um rio...** Escrito por Scheilla Lobato, em 27 de janeiro de 2020.

## RESUMO

As Áreas de Preservação Permanente (APP), por meio da vegetação ripária exercem papel fundamental na rede de drenagem, estabilizando margens, formando corredores ecológicos, protegendo a biodiversidade e ainda regulando o fluxo de água e nutrientes. A ocupação dessas áreas para outros usos, e ainda outras formas de manejo do solo, constituem as principais fontes de impactos e degradação ambiental. O presente estudo teve como objetivo realizar um mapeamento ambiental da APP e das áreas de risco para inundações de cidades da bacia hidrográfica do rio Taquari. Para isso, foram gerados mapas de sobreposição das cidades ribeirinhas do curso de água natural, visando identificar se, além da preservação pelo fato de serem áreas de APP, também devem ser preservadas em função da convergência com as áreas de perigo para inundação, sendo assim, seriam também áreas de perigo permanente para a população. Para identificar as áreas de APP, este trabalho buscou através de técnicas do geoprocessamento determinar as áreas de acordo com o Código Florestal vigente. Os mapas de risco de inundação estão disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) em sua plataforma digital. Quando associados esses mapas, fica evidente que as APPs presumem não estar totalmente condizentes com as regras da Lei 12.651/12, por estarem dentro do polígono que delimita a APP do rio Taquari, levando em consideração as primeiras análises realizadas neste trabalho. Além disso, foram discutidos os principais impactos ambientais presentes nessas áreas. Assim, os resultados apresentaram que os riscos de desastre por inundação em APP são também riscos à população, uma vez que as áreas de proteção não estão totalmente concordantes com a legislação vigente.

**PALAVRAS-CHAVE:** APP, Recursos Hídricos, Geoprocessamento, Inundações, Legislação Ambiental.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Locação da APP de cursos d'água conforme alteração do leito.....	21
Figura 2: APP e torno de nascentes e olhos d'água perenes .....	21
Figura 3: Recomposição de APP em curso de água em áreas rurais consolidadas. .....	23
Figura 4: Percentuais de RL por região conforme o Código Florestal .....	24
Figura 5: Limites de APP pela Lei 12.651/12 para cursos d'água, nascentes e olho d'água.....	28
Figura 6: Limites de APP pela Lei 12.651/12 para lagos e lagoas. ....	28
Figura 7: Uso do geoprocessamento para análise regional (ou nacional) dos recursos hídricos.....	31
Figura 8: Processo de aquisição de dados por Sensoriamento Remoto .....	38
Figura 9: Levantamento gráfico da altitude de terreno por curvas de nível.....	41
Figura 10: Fluxograma das etapas de análise, classificação e zoneamento da susctibilidade a inundações usando abordagem geomorfológica.....	43
Figura 11: Exemplo de definição da rede de drenagem.....	44
Figura 12: Fluxograma de geração de um modelo HAND .....	45
Figura 13: Localização da Bacia do rio Taquari .....	48
Figura 14: Delimitação dos municípios da Bacia do rio Taquari.....	49
Figura 15: Modelagem de classe de áreas de suscetibilidade a inundações .....	53
Figura 16: Enchente de 1941 no Vale do Taquari.....	56
Figura 17: Enchente de 1956 no Vale do Taquari.....	57
Figura 18: Enchente de 1990 no Vale do Taquari.....	57
Figura 19: Enchente de 2001 no Vale do Taquari.....	58
Figura 20: Enchente de 2008 no Vale do Taquari.....	58
Figura 21: Enchente de 2011 no Vale do Taquari.....	59
Figura 22: Enchente de 2020 no Vale do Taquari.....	59

Figura 23: Fluxograma da metodologia do estudo.....	64
Figura 24: Rotina utilizada para delimitação da APP .....	67
Figura 25: APP da Bacia do Rio Taquari.....	68
Figura 26: Setores de risco à inundação no município de Arroio do Meio/RS.....	69
Figura 27: Setores de risco à inundação no município de Cruzeiro do Sul/RS ....	70
Figura 28: Setores de risco à inundação no município de Encantado/RS.....	71
Figura 29: Setores de risco à inundação no município de Estrela/RS.....	71
Figura 30: Setores de risco à inundação no município de Lajeado/RS.....	72
Figura 31: Setores de risco à inundação no município de Muçum/RS .....	73
Figura 32: Setores de risco à inundação no município de Teutônia/RS .....	73
Figura 33: Área dos Setores de Risco na cidade de Arroio do Meio .....	75
Figura 34: Área dos Setores de Risco na cidade de Cruzeiro do Sul.....	76
Figura 35: Área dos Setores de Risco na cidade de Encantado .....	77
Figura 36: Área dos Setores de Risco na cidade de Estrela .....	78
Figura 37: Área dos Setores de Risco na cidade de Lajeado .....	79
Figura 38: Área dos Setores de Risco na cidade de Muçum.....	80
Figura 39: Intersecção APPxRisco Hidrológico em Encantado .....	81
Figura 40: Intersecção APPxRisco Hidrológico em Arroio do Meio .....	82
Figura 41: Intersecção APP x Risco Hidrológico Cruzeiro do Sul.....	83
Figura 42: Intersecção APP x Risco Hidrológico em Estrela .....	84
Figura 43: Intersecção APP x Risco Hidrológico em Lajeado .....	85
Figura 44: Intersecção APP x Riscos Hidrológico de Muçum .....	86
Figura 45: % de APP que também é Área de Risco Hidrológico .....	87

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1: Faixa de APP exigida dependente da classe de curso hídrico.....	20
Tabela 2: Área mínima de recomposição da vegetação nas faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, de acordo com o número de Módulos Fiscais da propriedade.....	23
Tabela 3: Áreas segundo a Lei Federal 12.651/2012 para a criação de APPs e extensão que devem possuir.....	27
Tabela 4: Matriz de correlação entre as duas classificações obtidas pelos índices morfométricos e o modelo HAND;.....	46
Tabela 5: Classes de uso e cobertura do solo .....	52
Tabela 6: Histórico de Enchentes do Rio Taquari – 1940 em diante.....	56
Tabela 7: Total de APP na Bacia do Rio Taquari .....	68
Tabela 8: Resultado da Sobreposição das APP x Áreas de Risco Hidrológico ....	87

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico  
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica  
APA – Área de Preservação Ambiental  
APP – Área de Preservação Permanente  
CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres  
CENAD - Centro Nacional de Gerenciamento de Risco e Desastres  
CEPED – Centro Profissional de Educação a Distância  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CPRM – Serviço Geológico do Brasil  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
IBGE - Instituto de Geografia e Estatística  
ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade  
INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária  
MDE – Modelo Digital de Elevação  
MDT – Modelo Digital de Terreno  
MF- Módulo Fiscal  
MMA – Ministério do Meio Ambiente  
MNT – Modelo Numérico de Terreno  
PL – Projeto de Lei  
PNMA - Política Nacional do Meio Ambiente  
PNPDEC - Política Nacional de Proteção e Defesa Civil  
RL – Reserva Legal  
SIG - Sistemas de Informação Geográfica  
SINPDEC - Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil  
UC – Unidade de Conservação  
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## SUMÁRIO

1.	APRESENTAÇÃO .....	9
1.1.	Introdução.....	9
1.2.	Objetivos .....	12
1.2.1.	Objetivo Geral .....	12
1.2.2.	Objetivos Específicos .....	12
1.3.	Estruturação do Texto .....	13
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1.	Controle e Gestão de riscos de desastres no Brasil .....	14
2.2.	Evolução Histórica da Legislação e da Estrutura Ambiental Brasileira .	15
2.3.	Código Florestal brasileiro .....	19
2.3.1.	Comparativo entre o Código anterior e atual .....	19
2.4.	Áreas de Preservação Permanente - APP.....	25
2.4.1.	Espacializações das APPs .....	26
2.5.	Geoprocessamento para Recursos Hídricos .....	29
2.6.	Métodos e técnicas para o mapeamento de áreas suscetíveis a inundação	31
2.7.	Sistema de Informação Geográfica (SIG) .....	34
2.7.1.	Dados Espaciais.....	35
2.7.2.	Modelo Cartográfico .....	36
2.8.	Sensoriamento Remoto .....	37
2.9.	Modelos Numéricos do Terreno.....	39
2.9.1.	Amostragem .....	40
2.9.2.	Interpolação e Modelagem .....	41

2.10	Classificação e zoneamento de Inundações usando descritores geomorfológicos .....	42
2.11	Considerações .....	46
3.	ÁREA DE ESTUDO.....	48
3.1.	Características Gerais da Área de Estudo .....	48
3.1	Uso e ocupação da terra .....	50
3.2	Mapeamento das áreas de perigo para inundações.....	52
3.3	Histórico de inundações na área de estudo.....	55
3.4	Sistema de Previsão e Alerta do Rio Taquari.....	59
3.5	Impactos ocasionados pelas Inundações .....	60
3.5.1	Impacto no Meio Físico.....	60
3.5.2	Impacto no Meio Biótico.....	61
3.6.3	Impacto no Meio Socioeconômico.....	61
4.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	63
4.1	Aquisição de Imagem.....	65
4.2	Pré-Processamento de Imagem .....	66
4.3	Aquisição de dados Específicos .....	66
4.4	Identificação e Espacialização das Áreas.....	66
4.5	Tratamento dos Dados.....	67
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	74
5.1	Análise da imagem das Áreas de Proteção Permanente.....	74
5.2	Áreas de Perigo Permanente .....	74
5.3	Análise Integrada das áreas atingidas.....	80
5.4	Discussão dos Impactos Ambientais .....	88
5.4.1	Impacto no Meio Físico.....	88
5.4.2	Impacto no Meio Biótico.....	89

5.4.3	Impacto no Meio Socioeconômico.....	90
5.5	Cenários temporais de risco de desastre por inundação.....	90
6	CONCLUSÕES.....	93
7	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	95

## **1. APRESENTAÇÃO**

### **1.1.Introdução**

A busca pela proteção e conservação do meio ambiente é um assunto que está em pauta nos últimos anos, em virtude de uma degradação dos recursos naturais, sobrevivendo de uma cadeia de ações antrópicas, as quais resultam em graves problemas, que, eventualmente, se convertem em riscos de desastres. A caracterização do meio físico da bacia hidrográfica, com o intuito de levantar todas as áreas críticas do ponto de vista da manutenção dos recursos hídricos, é condição básica para um planejamento bem-sucedido para sua conservação.

Neste cenário, os desastres naturais têm ocorrido com mais frequência no Brasil nos últimos anos. Entre os eventos com maior recorrência registrados no país são os decorrentes de inundações, enxurradas e deslizamentos de encostas (Bertone e Marinho, 2013). Quando acontece a elevação do nível do rio até o limite do canal principal ou leito menor, é caracterizado como enchente, podendo ou não causar inundação. As inundações por sua vez ocorrem quando há o transbordamento das águas para as áreas adjacentes, atingindo edificações localizadas nas áreas sujeitas as inundações periódicas (GOERL; KOBIYAMA, 2005). As enchentes e as inundações são fenômenos naturais, a magnitude dos danos está relacionada com as intervenções antrópicas sob as condições e limites naturais do meio em que vive a população, principalmente em áreas suscetíveis, como as planícies de inundações (ALVES, 2013).

Os desastres naturais podem ter magnitudes variadas, exigindo a realização de estudos preventivos e de contingência e a alocação de recursos nem sempre disponíveis. O desenvolvimento de sistemas de monitoramento favorece o mapeamento das áreas afetadas pelas inundações, a definição de estratégias preventivas e de contingência para a Defesa Civil municipal, além de estratégias para o planejamento da ocupação das áreas de risco. O mapeamento dessas áreas risco representa as áreas sob situação de perigo, em razão da possibilidade de ocorrência de eventos, naturais ou induzidos por ações humanas e essenciais para definir as regras de construção e ocupação das áreas de alto risco.

Neste contexto, a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), instituída pela Lei Federal nº 12.608/2012, atua na prevenção de desastres, além de determinar a identificação de áreas de risco como obrigatória para o planejamento municipal, autoriza a criação de um sistema de informações e monitoramento de desastres e ainda organiza as competências dos órgãos governamentais e dos entes federativos. Na implantação dessa política foram estabelecidas competências à União, Estados e Municípios, os quais por meio de seus órgãos de proteção e defesa civil e setorial responsabilizam-se pela gestão de riscos e desastres. Ainda em 2012, criou-se o Plano Nacional de Gestão de Risco e Resposta a Desastres Naturais (PNGRRDN) que passou a apurar o mapeamento, prevenção, monitoramento e alerta e resposta e reconstrução em conjunto com os municípios.

Em paralelo, a estratégia governamental brasileira para garantir o uso sustentável dos recursos naturais está baseada na adoção de medidas de comando e controle estabelecidas pelo Código Florestal – Lei Federal nº 12.651/2012, especialmente sob as formas de Áreas de Preservação Permanente (APP) e de Reservas Legais (RL) (AZEVEDO, 2008). Estas áreas sob proteção legal, de acordo com o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), tem por objetivo a proteção da diversidade biológica, regulação do processo de ocupação e garantia de sustentabilidade do uso dos recursos naturais (ESTEVES, 2011).

As áreas localizadas junto aos cursos d'água, lagos naturais e artificiais, represas e no entorno de nascentes se caracterizam, em sua maioria, como áreas de Áreas de Proteção Permanente (APP). São áreas ecologicamente sensíveis e vulneráveis, projetadas para a preservação (OLIVEIRA et. al., 2017), o que significa que são áreas que devem estar cobertas com vegetação nativa, a fim de preservar sua função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

O mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APP) é importante para o planejamento territorial, a fiscalização e as ações nos âmbitos local, regional ou nacional, facilitando o cumprimento da legislação ambiental (HOTT et. al., 2004; EUGENIO et al., 2011). Segundo Ribeiro et. al. (2005), a inexistência de demarcação oficial das áreas das APPs é um dos fatores que facilitam o descumprimento da legislação que as criou, levando à ocupação e à utilização ilegal dessas áreas.

Nota-se, portanto, que existem duas demarcações relevantes nas legislações brasileiras que dizem respeito com as áreas no entorno dos rios. Estas seriam às APPs do Código Florestal e as áreas de risco de inundações para proteção e defesa civil. Nesta linha surgem inquietações: o quanto estas áreas se sobrepõem? Como a delimitação e demarcação de uma das áreas pressupõem já a proteção necessária para a outra? Considerando os critérios de delimitação das APPs, será que estas estão geralmente abrangidas por áreas de risco de inundação, podendo também ser consideradas Áreas de Perigo Permanente (APP)? Em quais cenários de tempos de recorrência ou cheias históricas isto acontece?

Neste contexto, o Estado do Rio Grande do Sul possui em sua história, uma série de ocorridos desta natureza. Na região Nordeste do estado a bacia hidrográfica do rio Taquari sofre com problemas frequentes de inundações, principalmente nos seus trechos médios e baixos. Diante dos sérios problemas gerados, o reconhecimento das áreas de perigo permanente e a delimitação das APPs, quando sobrepostas, geram um norte para a adoção de medidas para reduzir os danos e prejuízos ocasionados por desastres, antes que estes ocorram (CEPED/UFRGS, 2016, p. 17).

O presente estudo foi realizado na bacia hidrográfica do rio Taquari/RS, região em que os municípios localizados em áreas ribeirinhas são atingidos por inundações, proveniente das águas drenadas na cabeceira, que na sua maior parte possui grande declividade, formando um escoamento de alta velocidade, e resultando numa variação do nível do rio que pode ser de vários metros em um curto tempo. (ECKHARDT, 2008). Sendo assim, quando o relevo é acidentado em uma bacia hidrográfica, as áreas que desenvolvem altos riscos de inundação são aquelas que apresentam características de terrenos planos e mais baixos (TUCCI, 2007).

A análise de eventos dinâmicos e complexos, como as inundações, é realizada através do entendimento de processos físicos, econômicos e sociais que integram o mesmo. Estes processos são então simulados através de modelos, com propósito de verificar cenários, realizar previsões e organizar estratégias de planejamento e desenvolvimento de regiões atingidas por estes eventos (MENDES & CIRILO, 2001).

A metodologia empregada prevê a análise de mapas de delimitação, em setores por município, das áreas de risco de inundação da bacia e a espacialização das APPs de curso

de água segundo o atual Código Florestal brasileiro, para então nos questionarmos: existe de uma motivação adicional para manter as Áreas de Proteção Permanente (APP) preservadas também em função de perigo de inundação? Seriam estas áreas, portanto, também áreas de perigo permanente? O trabalho pretende colaborar para um melhor entendimento dos impactos destas áreas sobre o meio ambiente em geral, com o proposto de proteger e preservar as áreas atingidas pelo rio Taquari durante sua cheia.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é identificar uma motivação adicional para manter as Áreas de Proteção Permanente (APP) preservadas também em função de perigo de inundação. Seriam estas áreas, portanto, também áreas de perigo permanente?

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos são apresentados a seguir:

- Identificar e espacializar as APPs de curso de água segundo o Código Florestal brasileira;
- Identificar e espacializar as Áreas de Perigo Permanente para inundações;
- Identificar qual a porcentagem das áreas de APPs que são também área de perigo de inundação?

### **1.3. Estruturação do Texto**

Neste trabalho se busca conhecer existência de uma motivação adicional para manter as Áreas de Proteção Permanente (APP) preservadas também em função de perigo de inundação. O estudo conta com a análise de mapas de suscetibilidade e setorização de risco, além de analisar as APP segundo o Código Florestal – Lei Federal nº 12.651/2012.

Inicialmente no capítulo 1, se introduz a temática acerca das áreas de perigo permanente em áreas APPs, os aspectos motivadores e os principais objetivos a serem alcançados nesse estudo.

No capítulo 2, faz-se uma revisão bibliográfica que aborda a evolução histórica da legislação ambiental brasileira, as definições e conceitos do código florestal que regem e delimitam às APP, as áreas de risco de inundações da bacia segundo os levantamentos de cartas de suscetibilidade e a setorização de risco, um panorama geral sobre a importância de atuação dos Sistemas de Controle e Gestão de riscos de desastres no Brasil, além das técnicas de mapeamento das áreas suscetíveis as inundações, usadas no levantamento de dados em campo e posteriormente tratados em escritório.

No capítulo 3, apresenta-se a área de estudo, abordando a caracterização geral da bacia, bem como o uso e ocupação da terra, a delimitação das áreas inundadas e protegidas e os impactos acarretados nessas áreas da bacia com as cheias.

No capítulo 4, apresentam-se os materiais e métodos que foram utilizados como fontes de dados para a geração de informações. Inicialmente ocorre a aquisição de dados para o pré-processamento que compreende a delimitação da bacia. Na sequência foram identificadas e especializadas as áreas de interesse, APPs e Áreas suscetíveis a Inundações na bacia, para que, por fim, se possa fazer o tratamento destas áreas e gerar o mapa de sobreposição.

Nos capítulos finais do trabalho serão apresentadas as análises dos resultados obtidos e os impactos que geram, além das considerações finais indicando se os objetivos do trabalho foram atingidos.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. Controle e Gestão de riscos de desastres no Brasil**

No Brasil, os processos de gestão de riscos e desastres são legalmente contemplados pela Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), instituídos pela Lei Federal nº 12.608/2012, que provê a orientação de foco na prevenção de desastres, pois determina a identificação de áreas de risco como obrigatória para o planejamento municipal. Autoriza a criação de um sistema de informações e monitoramento de desastres e organiza as competências dos órgãos governamentais e dos entes federativos (Brasil, 2012b). Neste contexto, fica estabelecido na PNPDEC à prioridade às ações preventivas relacionadas à minimização desses desastres. Com isso, estão inclusas nas ações preventivas de acordo com a Lei, “realizar o monitoramento meteorológico, hidrológico e geológico das áreas de risco” e “identificar e mapear as áreas de risco de desastres”, as quais devem ser desenvolvidas de forma integrada às demais políticas governamentais.

Para a implementação da PNPDEC, foram estabelecidas na Lei 12.608/2012 competências à União, aos Estados e aos Municípios, os quais, por meio de seus órgãos de proteção e defesa civil e setorial, integrante do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC), responsabilizam-se pela gestão de riscos e desastres. Diante dos sucessivos casos de desastre registrados, o tema entrou na agenda do governo federal, contribuindo, assim, para a tomada de diversas decisões (BERTONE e MARINHO, 2013), como o lançamento do Plano Nacional de Gestão de Risco e Resposta a Desastres Naturais (PNGRRDN).

O PNGRRDN (BRASIL, 2012), lançado em agosto de 2012, teve um prazo de execução bastante curto (2012-2014), e dividiu as ações voltadas para a gestão de risco de desastres naturais incluídas no Plano Plurianual (PPA) 2012-2015, formando quatro eixos de atuação: mapeamento, prevenção, monitoramento e alerta e resposta e reconstrução. A elaboração das cartas de suscetibilidade voltada ao Governo do Estado e municípios está prevista no PNGRRDN, de modo a ser uma estratégia do governo para mitigar os problemas gerados pelos desastres naturais que o país vem enfrentando no decorrer das décadas. O PNGRRDN compreende o cadastro de Municípios estabelecido pelo SINPDEC, instaurada pela Lei Federal 12.608/2012. A carta de suscetibilidade, em síntese, é o mapa de zoneamento das áreas com pré-disposição a fenômenos naturais, como movimentos de massa e inundações, com a pré-disposição de áreas densamente

urbanizadas devido à radical transformação da paisagem natural empreendida pela população.

Em 2011 a CPRM passou a integrar o PNGRRDN, atuando no mapeamento dessas áreas. O trabalho realizado em conjunto com a defesa civil dos Municípios consistiu na identificação, caracterização e delimitação de áreas de risco, por meio da observação de indícios e da análise de histórico de ocorrência de desastres. O mapeamento é importante insumo para a estruturação do Sistema de Monitoramento e Alerta. Os levantamentos da CPRM são transmitidos ao Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres (Cemaden) para subsidiar a análise de potenciais desastres a partir da compilação dos dados do território com as informações meteorológicas e climáticas. O Cemaden, órgão vinculado ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação, criado em 2011, atua de forma integrada ao Centro Nacional de Gerenciamento de Risco e Desastres (Cenad), vinculado à Secretaria Nacional de Defesa Civil.

A ideia da concepção do Cemaden é permitir aos tomadores de decisão acesso a informações e previsões imediatas sobre a possibilidade e extensão dos fenômenos naturais, bem como sobre os possíveis reflexos da ocorrência dessas intempéries nos sistemas sociais, econômicos e ambientais. Espera-se que a implantação completa dos seus sistemas produza esses efeitos, possibilitando a rápida identificação de vulnerabilidades e, conseqüentemente, a antecipação dos alertas à população em risco e demais ações de prevenção (Bertone e Marinho, 2013).

## **2.2. Evolução Histórica da Legislação e da Estrutura Ambiental Brasileira**

Tema cada dia mais relevante na esfera jurídica, as questões ambientais se destacaram no país nos últimos anos, resultado de importantes fatores, alguns deles que antecedem à própria independência do Brasil. A legislação ambiental brasileira promoveu e ainda promove grandes discussões no meio científico, político e econômico e possibilita a participação maciça da sociedade brasileira na tomada de decisão.

No período colonial (1530 – 1822), sob o aspecto jurídico, a preocupação com o meio ambiente sequer existia (SALGE JR, 2003), a não ser por alguns dispositivos isolados cujo objetivo seria a proteção de determinados recursos naturais específicos, como o pau-

brasil, ou seja, o interesse em restringir a ação dos indivíduos não tinha o intuito de proteger e preservar a flora e fauna do Brasil, e sim de manter o monopólio da coroa portuguesa na exploração dos recursos.

Nessa linha de tempo histórica, fica claro que a preservação do meio ambiente estava visceralmente associada à manutenção dos recursos naturais extraídos como elementos utilizados nos processos produtivos de todos os tipos de bens necessários, sem a preocupação com a economia linear dos recursos e a manutenção da biodiversidade.

Em meados da década de 30, na Era Vargas, ocorreu um marco importante com a edição do Decreto Federal nº 23.793/34, o qual pode ser considerado como o primeiro Código Florestal brasileiro. De acordo com AHRENS (2003), a preocupação do governo em estabelecer normas relativas à preservação da flora surgiu mediante os desmatamentos de florestas e a escassez dos recursos naturais ocasionados principalmente em relação à implantação de cafezais e a criação de gado que iniciava sua expansão pelo país.

Com isso, o Código Florestal de 1934 foi o instrumento político do governo de Getúlio Vargas que visava promover a modernidade do país e incluir de forma mais ampla a proteção aos recursos finitos. Definiram-se objetivamente as bases para a proteção territorial dos principais ecossistemas florestais e demais formas de vegetação naturais do país. Ele foi, também, o primeiro instrumento de proteção brasileiro a definir claramente tipologias de áreas a serem especialmente protegidas. Ele declarava de "interesse comum a todos os habitantes do país" o conjunto das florestas existentes e demais formas de vegetação (MEDEIROS, 2006). Além disso, MEDEIROS (2005) ressalta também que a legislação foi pioneira em destacar, de forma incipiente, a proteção do meio ambiente como de responsabilidade do poder público. A partir deste decreto, os recursos naturais como a água, a fauna, a flora passaram a ser regidos por uma legislação diferenciada.

Mas, pode-se dizer que o marco fundador da temática Ambiental se deu na década de 60, período em que foram editados importantes legislações que regravam a conduta de uso e exploração de recursos naturais. Entre elas o Estatuto da Terra (Lei nº. 4.504/64), o novo Código Florestal (Lei nº. 4.771/65), a nova Lei de Proteção da Fauna (Lei nº. 5.197/67), a Política Nacional do Saneamento Básico (Dec. nº. 248/67) a criação do Conselho Nacional de Controle da Poluição Ambiental (Dec. nº. 303/67), Código de Pesca (Decreto-Lei nº 221/67) e o Código de Mineração (Decreto-Lei nº 227/67). Convém destacar que, a partir deste marco surgiu a preocupação de preservar os recursos hídricos e

as áreas de risco, formalizando assim as expressões Área de Proteção Permanente (APP) e Reserva Legal (RL).

Com o intuito de disciplinar e limitar as intervenções humanas negativas sobre o meio ambiente, o Código Florestal Brasileiro (Lei n.º 4.771/65) contemplou a criação das Áreas de Preservação Permanente (APP). Nessas áreas naturais intocáveis, se preconiza a manutenção da cobertura florestal nativa com rígidos limites para exploração econômica direta e, assim como as Unidades de Conservação (UC), visam atender o direito fundamental de todo brasileiro a um “ambiente ecologicamente equilibrado”, conforme assegurado na Constituição. A Resolução n.º 303, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (Brasil, 2002), estabeleceu os parâmetros, definições e limites referentes às APPs, e adotou, ainda que implicitamente, a bacia hidrográfica como unidade de sua aplicação (RIBEIRO et al., 2005). Segundo SILVA Jr. e FERREIRA et. al. (2017), os conceitos abertos trazidos no Código Florestal de 1965 receberam inúmeras e acertadas críticas, em razão de abrir espaço para que os poderosos proprietários se utilizassem de “artimanhas” para contornar a legislação, prejudicando toda uma coletividade.

A partir de meados da década de 60, com a divulgação de dados relativos ao aquecimento global do planeta e à destruição das espécies, e com a ocorrência de catástrofes ambientais, como o vazamento do petroleiro Torrey Canyon em 1967 e a ameaça imobiliária contra o parque de Vanoise, na França, é que a sociedade civil começou a gradualmente construir uma consciência ambiental (ACOT, 1990). No Brasil segundo Milaré (2004), somente a partir da década de 80 a legislação começou a se preocupar com o meio ambiente de uma forma global e integrada.

De acordo com MARCONDES (2011), o Código Florestal de 1965, passou por importantes ajustes a partir da década de 1980. A Lei nº 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), é o primeiro grande marco em termos de norma de proteção ambiental no Brasil. Essa legislação definiu de forma prática e inovadora os conceitos, princípios, objetivos e instrumentos para a defesa do meio ambiente, reconhecendo sua importância para a qualidade de vida. Ademais, sancionou-se em 1985 a Lei nº 7.347 que garantiu, por meio da criação de instrumentos jurídicos, a responsabilização por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico chegassem ao poder judiciário. Outrossim, em 1989, foi finalmente sancionada a legislação sobre Área de Preservação

Permanente (APP) qualificada pela Lei 7.803 - já presente no Código de 1965 - mas que ainda carecia de regulamentação. Segundo o artigo 2º da legislação,

Art. 2º [...]

a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja:

1) de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;

2) de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;

3) de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;

4) de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;

5) de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros; [...]

c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;

g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;

h) em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação.

Parágrafo único. No caso de áreas urbanas, assim entendidas as compreendidas nos perímetros urbanos definidos por lei municipal, e nas regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, em todo o território abrangido, observar-se-á o disposto nos respectivos planos diretores e leis de uso do solo, respeitados os princípios e limites a que se refere este artigo (BRASIL, 1965, p.2)

A década de 1990, do ponto de vista ambiental nacional, foi marcado pelo fortalecimento das instituições públicas relacionadas ao meio ambiente tais como a criação do Ministério do Meio Ambiente (MMA) em novembro de 1992 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) em julho de 1999 e a Lei de Crimes Ambientais ou Lei nº 9.605 de 1998. A lei de crimes ambientais tipifica explicitamente um crime ambiental todo e qualquer dano ou prejuízo causado aos elementos que compõem o ambiente: flora, fauna, recursos naturais e o patrimônio cultural. Essa lei visa estabelecer que, devido a violação do direito protegido, todo crime é passível de sanção penal e administrativa derivados das condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente.

Em síntese, o Código Florestal brasileiro foi originado em 1934 e passou por modificações significativas ao longo do tempo. Em 1965 foram editadas legislações mais restritivas, na tentativa de promover a sustentabilidade dos recursos naturais explorados, entre elas as Áreas de Preservação Permanente (APP). Ao passo que, ao longo dos anos seguintes, com o desenvolvimento da agricultura e da urbanização acelerada, houve a necessidade de atualização da legislação, que mais recentemente ocorreu em 2012.

## **2.3 Código Florestal brasileiro**

Sancionada a atual versão do Código Florestal, designada como Lei nº 12.651/12, comumente chamada de “Novo” Código Florestal, foi muito aguardada, tanto por ambientalistas, como por proprietários rurais. Ela busca a proteção e o uso sustentável das florestas e da vegetação nativa, em equilíbrio com o desenvolvimento sustentável e econômico (BRASIL, 2012). O Novo Código regrou principalmente o que diz respeito às Áreas de Preservação Permanente – APP e Reserva Legal - RL além da criação das áreas de uso restrito para proteção de áreas com características peculiares pelo país

Oliveira, et. al., (2015) ressalta que o antigo Código Florestal (Lei nº 4.771/65) não foi expressamente revogado. O artigo 83 do novo Código (Lei nº 12.651/2012) previa a sua revogação expressa, mas após a alteração de redação pela Lei nº 12.727/12 que dispunha sobre a proteção da vegetação nativa, foi vetado pela Presidente da República. Assim, em tese, é possível sustentar a vigência de dispositivos da Lei nº 4.771/65, em casos que a Lei nº 12.651/12, alterada pela Lei nº 12.727/12, não tratar de maneira diversa ou contrária.

Como observado por OLIVEIRA, et al., (2015) é importante salientar, que o atual código adota dois regimes jurídicos: um de tolerância para as condutas lesivas ao ambiente, perpetradas até o dia 22 de julho de 2008, e outro rígido, para os atos praticados a partir dessa data. Isso porque, no dia 23 de julho de 2008, foi publicado o Decreto Federal nº 6.514, que dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, que instituiu uma série de novos tipos administrativos para punir os infratores da legislação ambiental.

### **2.3.1 Comparativo entre o Código anterior e atual**

De acordo com Ramos e Ahmad (2012), a Lei nº 12.651/12 que revogou a Lei nº 4.771/65, trouxe alterações significativas, dentre elas, pode-se citar as mudanças em relação aos (as):

#### **2.3.1.1 Áreas de Proteção Permanente**

A nova lei não alterou o conceito dado para as Áreas de Preservação Permanente, com isso, manteve o caráter de preservação da área, independentemente de estar constituída ou não de vegetação nativa. Permanecem vigentes ainda, as funções ambientais para a

preservação dos recursos hídricos, da paisagem, da estabilidade geológica e da biodiversidade, bem como de promover o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e de assegurar o bem-estar das populações humanas. Na Tabela 1 apresentam-se as modificações de faixa de preservação em APP nos Códigos Florestais de 1965 e de 2012.

Tabela 1: Faixa de APP exigida dependente da classe de curso hídrico.

<i>Áreas de Preservação Permanente</i>	
<i>Código Florestal de 1965</i>	<i>Código Florestal de 2012</i>
Ao longo dos rios ou de outro qualquer curso d'água, em faixa marginal	As faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular

Fonte: Elaborado pela autora com base em SENAR/RS, 2014

Ainda, dentre as mudanças verificadas, podemos citar para APP de cursos de água, que a faixa marginal passou a contabilizar da borda da calha do leito regular e não do seu nível mais alto. Fica assim reduzida drasticamente a proteção dos cursos de água, pois a faixa ao longo deles é locada no que se entende ser o próprio corpo d'água, uma vez que o leito maior sazonal nada mais é do que o local onde as águas extravasam no período de cheias, correspondentes às planícies de inundação. A Figura 1 ilustra o nível do leito na calha com a locação da APP na legislação em vigor.

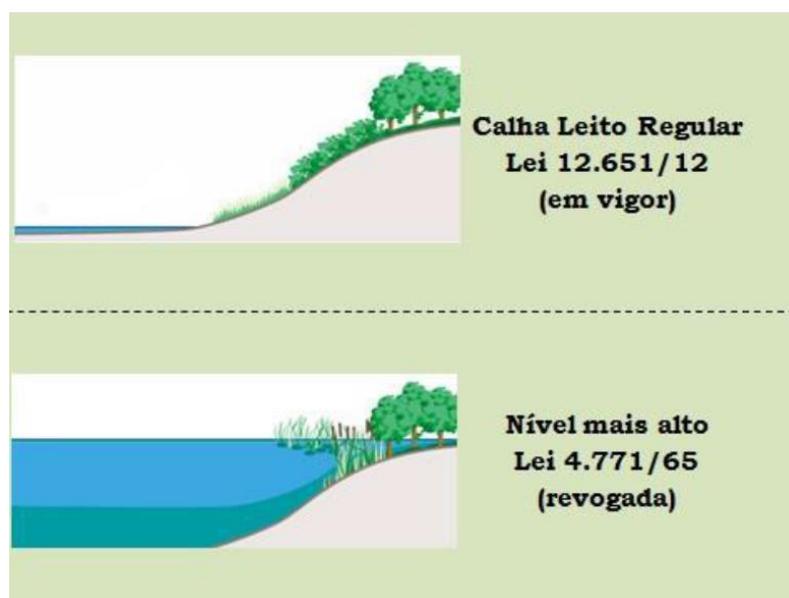


Figura 1: Localização da APP de cursos d'água conforme alteração do leito

Fonte: JAGUSZEWSKI et. al., 2014.

### 2.3.1.2 Nascentes e olho d'água

Ocorreram alterações conceituais acerca de nascentes e olho d'água. Fica suprimido o caráter de intermitência do conceito de nascente, mantendo-se somente para olho d'água, que estabelece como APP somente as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, no raio mínimo de 50 m, conforme apresentado na Figura 2.

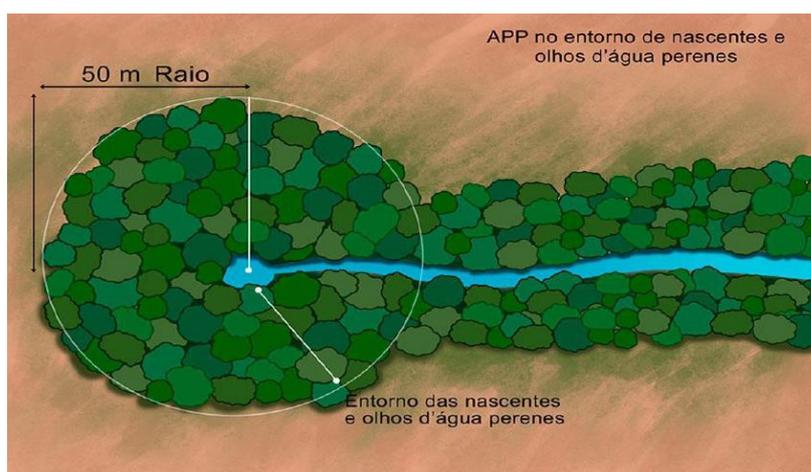


Figura 2: APP e entorno de nascentes e olhos d'água perenes

Fonte: C. I. FLORESTAS, 2016.

### **2.3.1.3 Topos de morros, montes, montanhas e serras**

Estabelece como APP nos topos de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 m e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação.

### **2.3.1.4 Áreas Rurais Consolidadas**

Designa ainda o conceito de área rural consolidada como área de imóvel rural com ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pousio onde é autorizada, exclusivamente, a continuidade das atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo e de turismo rural.

Ademais, estabelece a obrigatoriedade de recomposição de faixas de APPs de cursos d'água, nascentes, lagos e lagoas naturais e veredas, que variam conforme o número de módulos fiscais (MF). A unidade de medida Módulo Fiscal é determinada em hectare, cujo valor é fixado pelo INCRA para cada município, levando em conta:

- O tipo de exploração predominante no município (hortifrutigranjeira cultura permanente, cultura temporária, pecuária ou florestal);
- A renda obtida no tipo de exploração predominante;
- Outras explorações existentes no município que, embora não predominantes, sejam expressivas em função da renda ou da área utilizada;
- O conceito de "propriedade familiar".

A dimensão de um módulo fiscal varia de acordo com o município onde está localizada a propriedade. O valor do módulo fiscal no Brasil varia de 5 a 110 hectares. Nos municípios que compõem a Bacia do Rio Taquari no RS, predominam os módulos fiscais com dimensão de 18 hectares. (EMBRAPA, 2021) Esta área mínima a ser recuperada em APP de margem de cursos d'água para pequenas propriedades é determinada pelas regras descritas na Tabela 2 e ilustrado na Figura 3.

Tabela 2: Área mínima de recomposição da vegetação nas faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, de acordo com o número de Módulos Fiscais da propriedade.

Área com MF (ha)	Faixa de Recomposição (m)	Largura do curso d'água(m)	Área máxima de recomposição
Até 1	5	Independente	10% da área total
1 a 2	8	Independente	10% da área total
2 a 4	15	Independente	20% da área total
4 a 10	20	Até 10m	

Fonte: Elaborado pela autora com base na Embrapa, 2021.

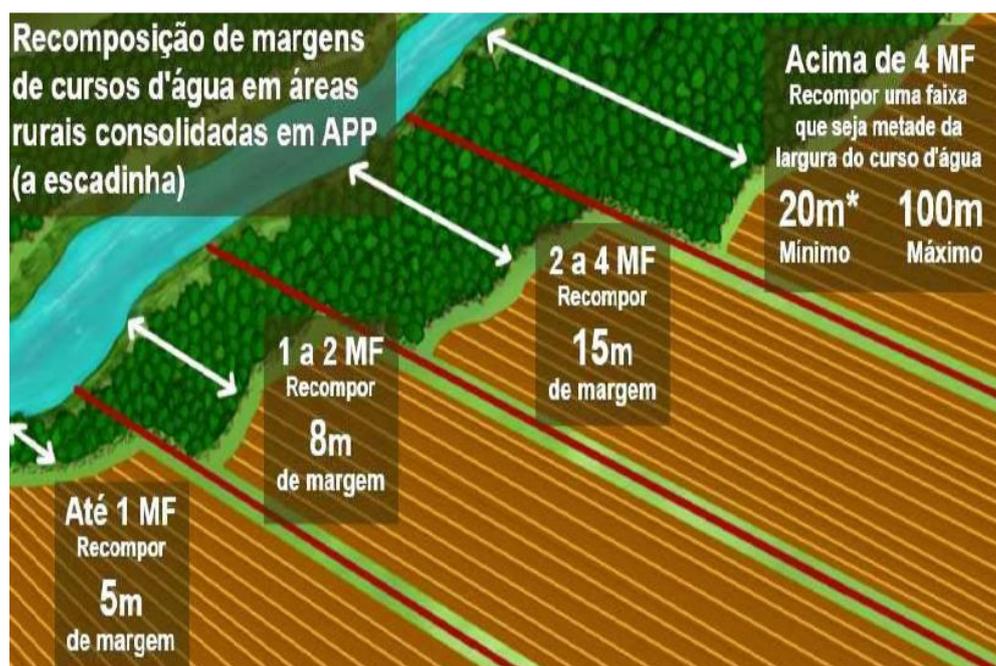


Figura 3: Recomposição de APP em curso de água em áreas rurais consolidadas.

Fonte: LAUDARES, 2014.

### 2.3.1.5 Reserva Legal

Quanto à Reserva Florestal, Ramos e Ahmad (2012), explica que inicialmente o Código Florestal de 1934 não fazia menção explícita a Reserva Legal (RL) e sim

determinava um limite mínimo a ser mantido com cobertura arbórea nativa em cada propriedade. Já em 1989, foi feita uma modificação do Código Florestal por meio da Lei 7.803, a qual ficou determinada o limite mínimo a ser mantido de remanescentes florestais de Reserva Legal. No novo Código Florestal apesar de o conceito da Reserva Legal ter sido modificado em parte, manteve-se o objetivo de que toda propriedade rural tenha uma área destinada à conservação de remanescentes florestais. Entre as inovações trazidas pela Lei 12.651/12, pode-se destacar a inclusão da função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural.

Ademais, houve alteração com relação à sua composição, a flexibilização permitiu o cômputo das APPs no cálculo dos percentuais da RL para propriedades, independente do seu tamanho, contanto que a área a ser computada esteja conservada ou em processo de recuperação e não implique a conversão de novas áreas para o uso alternativo do solo. A Figura 4 apresenta os percentuais de RL exigidos pela lei para imóveis segundo sua respectiva região brasileira.



Figura 4: Percentuais de RL por região conforme o Código Florestal

Fonte: LAUDARES et al., 2014.

Ainda, no que tange à regularização da RL em áreas rurais consolidadas, a nova legislação desobriga a pequena propriedade da recomposição nos percentuais mínimos exigidos, podendo limitá-la à vegetação nativa remanescente em 22 de julho de 2008 (PETERS; PIRES; PANASOLO, 2014).

## 2.4 Áreas de Preservação Permanente - APP

As Áreas de Preservação Permanente – APP foram instituídas por lei, com intuito de mitigar a degradação ambiental ocasionada por ação natural ou antrópica. É de suma importância seu amplo cumprimento para a manutenção de áreas de encostas de rios, reservatórios, lagos e nascentes e, ainda, vital para a regularização da vazão, retenção de sedimentos, conservação do solo, infiltração e armazenamento de água, entre outros benefícios.

Segundo o atual Código Florestal (12.651/12), APP pode ser definida como área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. Sendo assim são consideradas pelo artigo 4º do Código florestal como áreas APP:

Art. 4º- Todas as florestas e demais formas de vegetação natural situada às margens de lagos ou rios (perenes ou não); nos altos de morros; nas restingas e manguezais; nas encostas com declividade acentuada e nas bordas de tabuleiros ou chapadas com inclinação maior que 45ºequivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive; e nas áreas em altitude superior a 1.800 metros, com qualquer cobertura vegetal são áreas de preservação permanente (BRASIL, 2012, p.6).

O objetivo de proteger áreas como essas está em assegurar um meio ambiente equilibrado e estável. Além disso, essas áreas apresentam uma importância estratégica - caso dos recursos hídricos-como relacionado no primeiro Código florestal com as chamadas florestas protetoras. Guterres et. al (2016) também complementa que:

As áreas de Preservação Permanente vêm sendo redefinidas com as alterações dos Códigos Florestais, as modificações trazidas pelo novo Código não criaram um conceito novo para as Áreas de Preservação Permanente, o que houve foi um elo entre as disposições anteriores com os fatos reais existentes, haja vista que, seus objetivos são bem expressos em relação à integridade do ecossistema e a qualidade ambiental do meio ambiente.

Em uma análise breve sobre o histórico da Bacia do rio Taquari/RS, nota-se que a cidade, assim como a maioria das cidades brasileiras, se formou nas margens dos rios e córregos, áreas que, após a regulamentação por Lei, seriam classificadas como Áreas de Preservação Permanente. Sendo assim, de acordo com Tucci (2000) a urbanização da

região iniciou sem planejamento, além da substituição do ambiente natural por um construído, favorecendo a interferência do ciclo hidrológico no local, tanto pela impermeabilização do solo, quanto da ocupação as margens dos rios, acarretando problemas referentes à drenagem pluvial do local.

#### **2.4.1 Espacializações das APPs**

A delimitação das faixas de proteção pela Lei Federal 12.651/2012 é de fundamental importância para a conservação e recuperação dos recursos naturais. Conforme o artigo 4º se considera Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para o efeito desta Lei:

- I – as faixas marginais de qualquer curso d’água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: a) 30 (trinta) metros, para cursos d’água de menos de 10 (dez) metros de largura; b) 50 (cinquenta) metros, para cursos d’água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura; c) 100 (cem) metros, para cursos d’água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura; d) 200 (duzentos) metros, para cursos d’água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura; e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d’água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;
  - II – as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima: a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d’água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja taxa marginal será de 50 (cinquenta) metros; b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas;
  - III – as áreas no entorno dos reservatórios d’água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d’água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento;
  - IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d’água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros;
- [...] (BRASIL, 2012, p.6).

Os limites e dimensões descritos pela Lei estão apresentados de forma sintetizada na Tabela 3 e ilustrados, na Figura 5, os cursos d’água, nascentes e olho d’água e na Figura 6, lagos e lagoas. Os valores delimitados para a largura do curso d’água nas figuras são valores hipotéticos, dentro da faixa permitida, a título de exemplificação.

Tabela 3: Áreas segundo a Lei Federal 12.651/2012 para a criação de APPs e extensão que devem possuir.

APP	Critério para Delimitação – Largura (m)	Extensão da APP – Largura (m)
Cursos d'água (perenes)	>10	30
	10 a 50	50
	50 a 200	100
	200 a 600	200
	<600	500
Lagos e Lagoas	Área Urbana	30
	Área Rural, corpo d'água com <20 ha de superfície	50
	Área Rural, corpo d'água com >20 ha de superfície	100
Nascentes e olhos d'água	APP com raio de 50m no entorno	

FONTE: Elaborado pela autora a partir de BRASIL (2008) e CONAMA (2009).

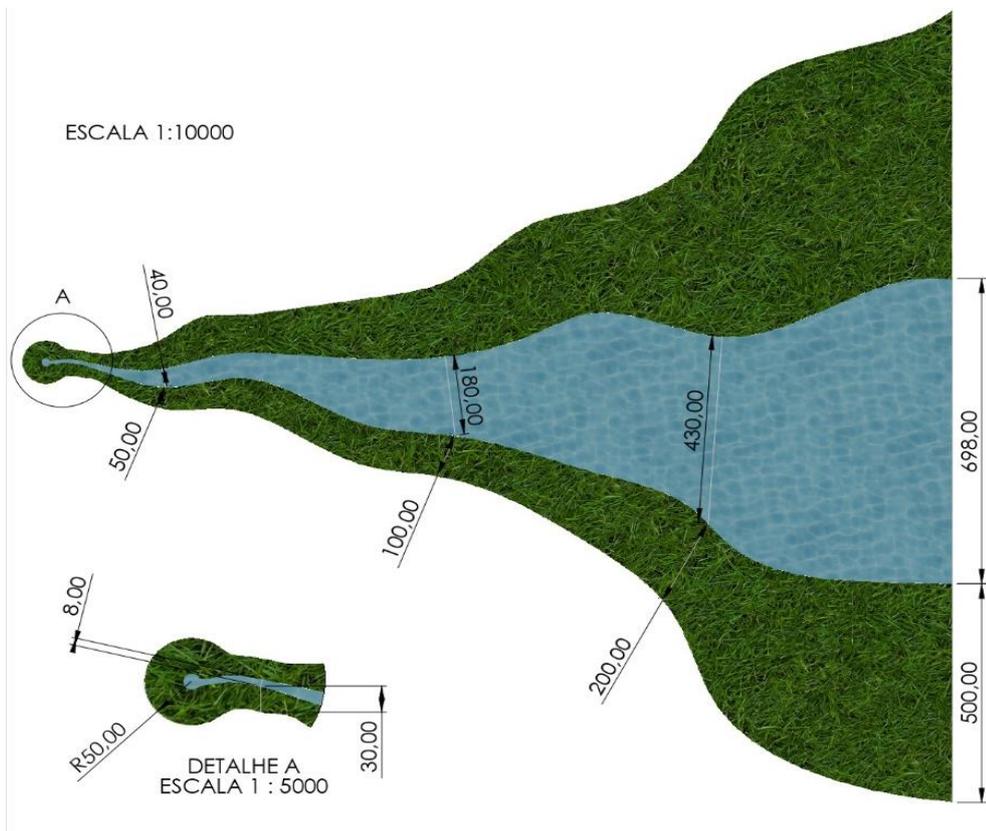


Figura 5: Limites de APP pela Lei 12.651/12 para cursos d'água, nascentes e olho d'água

Fonte: Autora, 2021.

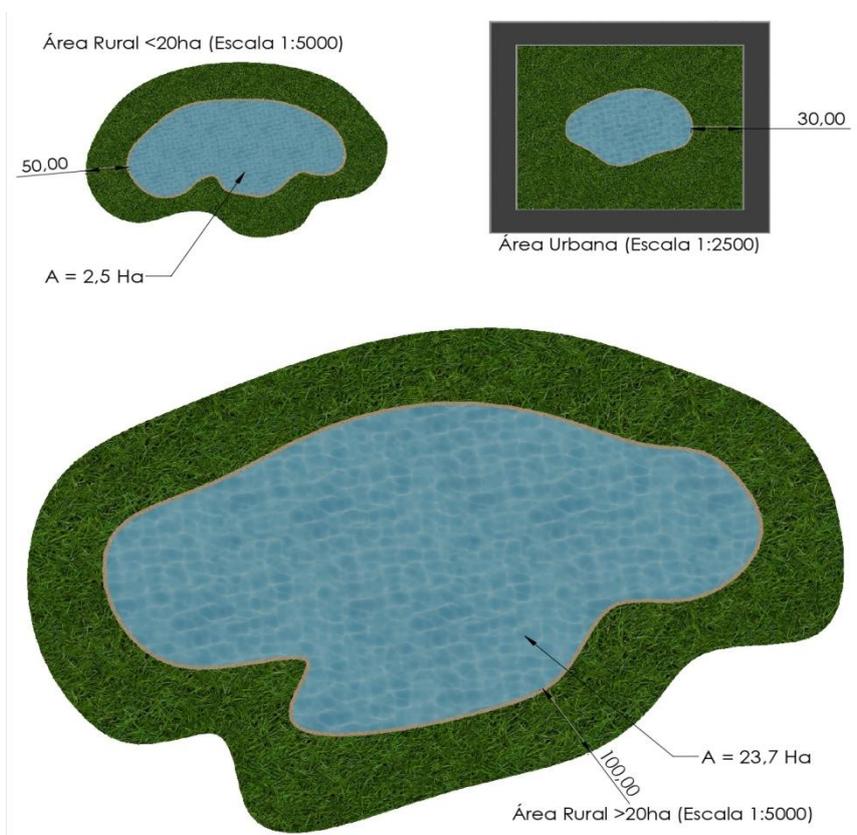


Figura 6: Limites de APP pela Lei 12.651/12 para lagos e lagoas.

Fonte: Autora, 2021

De acordo ainda com o artigo 4º da Lei nº 12.651, nas acumulações naturais ou artificiais de água com superfície inferior a 1 (um) hectare, fica dispensada a reserva da faixa de proteção, como previsto para áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura estabelecidas e, também, nos casos de áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento. No caso de nascentes intermitentes, ou seja, aquelas que apresentam caráter sazonal, mantendo-se ativas somente durante e logo após o período mais chuvoso, não há previsão legal para APPs no seu entorno.

No que tange a reservatórios artificiais de água destinados ao abastecimento público que foram registrados ou tiveram seus contratos de concessão assinados até 24 de agosto de 2001, pela Medida Provisória nº 2.166-67, seguem a prerrogativa de que a faixa de APP será a distância entre o nível máximo operativo normal e a cota *máxima maximorum*. No caso de reservatórios artificiais sem a finalidade de abastecimento público, superiores a 1ha e até 20ha de superfície e localizados em área rural, a Lei Federal nº 12651/12 não estabelece faixa mínima de APP. Todavia uma vez que o §2º do inciso XI do artigo 4º foi revogado, redação dada pela Lei nº 12.727/2012, no entanto, no silêncio na Lei, prevalece o disposto na Resolução CONAMA nº 302/2012, inciso III do Artigo 3º, ou seja, 15m, no mínimo, para reservatórios artificiais não utilizados em abastecimento público ou geração de energia elétrica, com até 20ha de superfície e localizados em área rural.

## 2.5 Geoprocessamento para Recursos Hídricos

À medida que as regiões se desenvolvem mais intensa é a utilização dos recursos hídricos, elevando-se o potencial de conflito entre os diversos usos do solo e os riscos de degradação ambiental gerados por atividades antrópicas (ECKHARDT, 2008). O rio é o destino final da trajetória da água na bacia hidrográfica, sendo assim, reflete qualquer ação que ocorra e que altere de forma significativa o equilíbrio natural do território. Em análise, o rio pode ser considerado um indicador do estado de equilíbrio da área drenada, caracterizando ou não o nível de sustentabilidade da região (MENDES & CIRILO, 2001).

Segundo Mendes e Cirilo (2001), as áreas adjacentes aos rios são constantemente degradadas e exploradas, assim, para melhor gerenciá-las é

imprescindível que a informação seja sistematizada, com a utilização de sistemas que articulem essas informações, de modo a processá-las para gerar subsídios às intervenções que porventura ocorram e que seja necessária sua adequada operação, prevenindo e controlando processos naturais ou de ações antrópicas nas bacias hidrográficas.

O geoprocessamento pode ser considerado um aliado em análises ambientais, como uma ferramenta importante para o planejamento e gestão desses recursos. O geoprocessamento pode ser definido como o conjunto de tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais e de desenvolvimento e uso de sistemas que as utilizam (RODRIGUES, 1990). Conforme Mendes (1998), a utilização de técnicas de geoprocessamento constitui-se em instrumento de grande potencial para o estabelecimento de planos integrados de conservação do solo e da água.

Um exemplo da aplicação do geoprocessamento nos recursos hídricos pode ser compreendido na Figura 7, onde o sensoriamento remoto, o GPS (*Global Positioning System*), além de dados estatísticos e de campo seriam as possíveis formas de aquisição de dados de entrada. A oferta e demandas de águas seriam os eixos temáticos mediadores para análise desses recursos e, posteriormente, há o uso do geoprocessamento que subsidia o produto, que, neste caso, é o balanço regional (ou nacional) de oferta-demanda dos recursos hídricos.

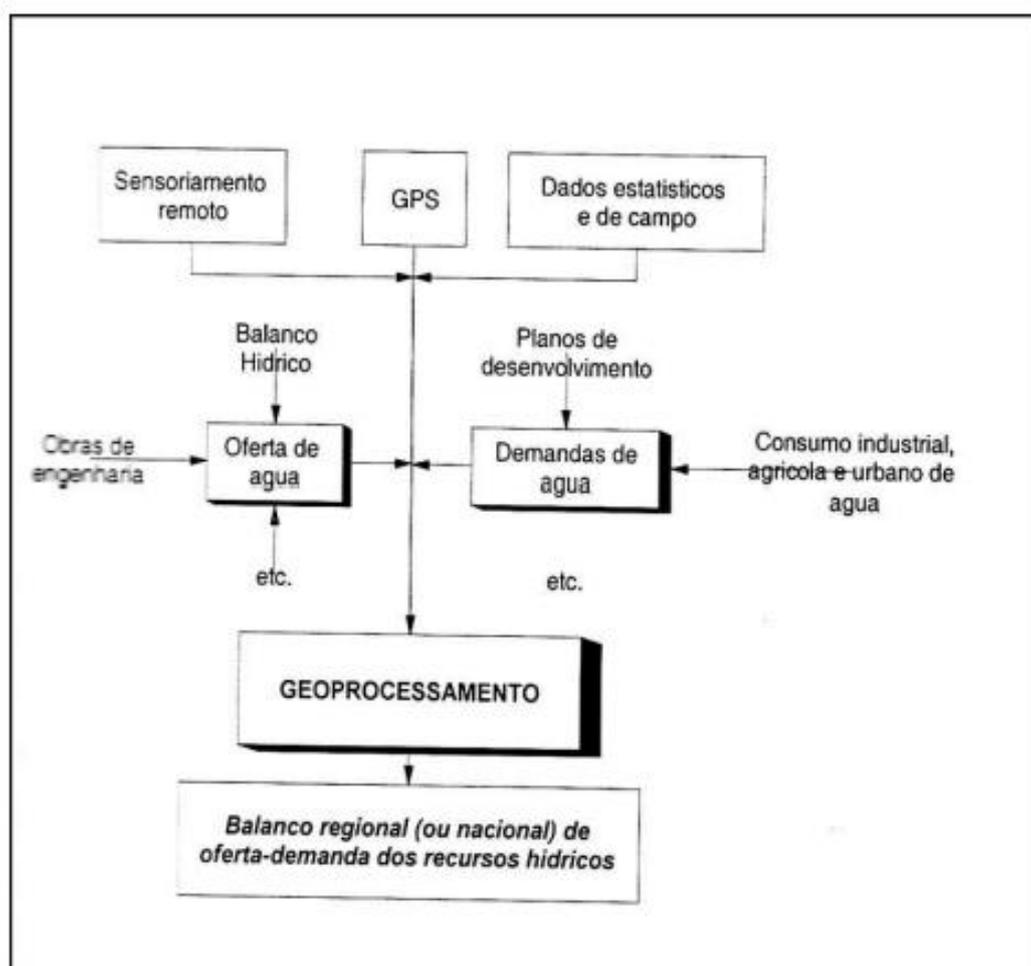


Figura 7: Uso do geoprocessamento para análise regional (ou nacional) dos recursos hídricos

Fonte: Mendes (1999) apud Mendes & Cirilo, 2001

## 2.6 Métodos e técnicas para o mapeamento de áreas suscetíveis a inundação

De acordo com Silva (2013), os padrões de uso e ocupação do solo, na grande maioria dos municípios brasileiros, têm agravado a situação da população que vive em áreas vulneráveis e do poder público em eventos de inundações. Desta forma, o conhecimento das áreas mais vulneráveis aos impactos decorrentes das inundações, surge como importante estratégia para a gestão de riscos, bem como o desenvolvimento de políticas urbanas para o município.

O mapeamento das áreas inundáveis é obtido pela elaboração de cartas de inundação, na qual são representadas as áreas inundadas quando determinado nível de água é atingido em uma seção fluviométrica de referência. Estes mapas podem apresentar mais

de uma escala, com diferentes níveis de detalhamento (SANTOS 2007). A disponibilidade de mapas de risco de inundações permite orientar a implantação das infraestruturas necessárias às atividades humanas, uma vez que permite estruturar zoneamentos e ações de planejamento e gerenciamento (KOBAYAMA et. al., 2006).

Na elaboração de mapas de inundação é comum a aplicação de dados obtidos por sensoriamento remoto, manipulados por técnicas de geoprocessamento. Os materiais mais utilizados para as referidas aplicações são imagens orbitais multiespectrais e de radar, modelos digitais de elevação (MDE), dados hidrológicos (chuva, vazão e cota) e informações físicas da bacia, como hidrografia, declividades, solos, vegetação, entre outros (OLIVEIRA, 2010).

O mapeamento de grandes áreas inundáveis, como em bacias hidrográficas, é realizado em diversas partes do mundo. A escolha do procedimento e técnicas a serem aplicadas necessita o conhecimento sobre a bacia a ser estudada (SILVA, 2013). Nestes estudos, em consequência da elevada nebulosidade associada aos eventos de inundação, é comum o uso de imagens de radar para delinear a área inundada (SILVA, 2013).

De acordo com Santos (2007), no traçado de cartas de inundação são considerados os perfis de linha de água, definidos pelos níveis máximos observados no curso do rio durante a passagem da onda de cheia. Sendo assim, a cota de inundação corresponde ao nível máximo da inundação, ao longo do rio, referenciada na estação fluviométrica. Corresponde a um plano inclinado com a inclinação igual ao da linha de água. Diferentemente da cota topográfica, que corresponde a uma linha plana.

O conhecimento das cotas de inundação – além de auxiliar na ação de planejamento no que se refere à definição de risco de ocupação para as faixas e à tipologia adequada das construções – também contribui para a atuação dos órgãos de Defesa Civil nos momentos de ocorrência destes eventos (SCHULT & PINHEIRO, 2003).

Segundo o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), o zoneamento é representado na carta por polígonos de diferentes índices de proporção (alto, médio e baixo), classificados por cores distintas. Na carta são colocadas as principais informações para identificação da área de risco hidrológico, como dados de chuva (precipitação média anual e hietograma) e os mapas temáticos (hypsometria, declividade e relevo). A partir disso, para cada município se elaboram um relatório técnico que apresenta de forma detalhada as informações gerais,

os procedimentos metodológicos, os resultados obtidos, além de algumas sugestões para intervenção.

De acordo com a CPRM, o risco hidrológico determinado para cada local se aplica somente a áreas habitadas, o que não significa que as áreas não ocupadas e, portanto, não englobadas no trabalho sejam próprias para a ocupação humana. O risco não é estático, ou seja, depende da natureza do processo e dos agentes externos que atuam em um determinado local.

Em exemplo de estudo do mapeamento de áreas inundáveis da bacia do Rio Tanara, na Itália, realizado por BRAVIO et. al. (2002) utilizou duas imagens de radar do ERS 1 (*European Remote Sensing Satellite*): uma imagem antes da inundação e outra três dias após o evento. A área inundada estimada pela imagem foi de 20% da área observada, devido à imagem ser adquirida três dias após o pico da inundação. A implantação das ferramentas computacionais para geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o avanço espacial da água foi ponderado, além do mapeamento com a imagem de radar, em função da distância e da elevação do terreno. Os resultados obtidos no estudo demonstram que, com a utilização de SIG, a estimativa das áreas inundáveis alcançou 96,7% de acurácia com relação ao observado.

Outro exemplo de estudo foi realizado por Oliveira (2010) na bacia hidrográfica do Rio Caí, onde elaborou modelos em diferentes escalas de espacialização, previsão e análise das áreas inundáveis. O trabalho foi distribuído em módulos, sendo integrado no Módulo I modelos de escala média (1:100.000), para mapear e analisar as inundações da bacia. O Módulo II corresponde à previsão, espacialização e a análise das inundações na área urbana do município de São Sebastião do Caí (escala: 1:10.000). Por fim, o Módulo III foi aplicado em escala 1:5.000 na área urbana da cidade de Montenegro.

Em paralelo com o tema das APPs, Queiroz, (2012) em estudos da Supressão de APP da Região da Sub Bacia do Capivari-BA, que corta o município de Cruz das Almas, fazendo uso de geoprocessamento, constatou que, a área de mata ciliar presente em cursos d'água de até 10m de largura do leito, situação em que se enquadra o rio Capivari, seria de 30m em todo o trecho percorrido. Essa extensão não foi encontrada, tanto pelas

observações feitas em campo quanto pela análise das imagens de satélite. A vegetação natural mostrou-se intensamente descaracterizada, com sua mata ciliar bastante suprimida.

Outros trabalhos utilizando diferentes métodos e ferramentas do SIG têm contribuído amplamente nos mapeamentos, monitoramentos da ocupação da terra e delimitação das áreas de preservação como: Cocco et. al. (2015), Mileski, (2015) Tavares et al. (2015), Gonçalves et al. (2012), Louzada et al. (2009), e Oliveira et al. (2007).

## **2.7 Sistema de Informação Geográfica (SIG)**

Embora os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) fossem desenvolvidos primeiramente como uma ferramenta para os cartógrafos, nos últimos anos, eles ganharam uso difundido nos projetos e análises das engenharias, em especial nos campos da qualidade de água, da hidráulica e da hidrologia. Isso propicia que os SIGs funcionem como uma ferramenta de planejamento, de modo que os dados hidráulicos sejam mais facilmente utilizados em estudos de simulação hidrológica, mapeamento das áreas inundáveis, sistemas de alerta, análise econômica do impacto e seguro de inundações (ENOMOTO & MINE, 2004).

Segundo Silva (1999), entende-se como SIG o conjunto de banco de dados georreferenciados, em meio digital, com controle de erro, com os quais podem ser realizados processamentos e análises espaciais. Uma grande vantagem do SIG é sua possibilidade de exibição de dados e resultados de análises na forma numérica e gráfica (mapas).

Os SIGs se inserem como uma ferramenta que tem a capacidade de manipular as funções que representam os processos ambientais em diversas regiões, de uma forma simples e eficiente, permitindo uma economia de recursos e tempo (MACHADO, 2002). Ainda mais, reitera que estas manipulações permitem agregar e sobrepor dados de diferentes fontes (imagens de satélite, modelos digitais de elevação, mapas de uso e cobertura do solo, dados de precipitação, limites de bacias hidrográficas, linhas de hidrografia etc.) em diferentes escalas de análise (MACHADO, 2002).

Da mesma forma, os SIGs podem ter aplicações socioeconômicas, com o objetivo de planejamento, tais como uso da terra, ocupação humana e atividades econômicas. Além de aplicações ambientais, verificando-se clima, gerenciamento florestal, poluição e o uso

dos recursos naturais. E ainda as aplicações de gerenciamento, que envolvem planejamento de tráfego urbano, planejamento e controle de obras públicas e planejamento da defesa civil (CÂMARA et. al., 1996). Além disso, o volume de dados necessário para a adequada representação espacial da bacia hidrográfica pode ser facilmente manipulado em ambiente SIG (BUARQUE, 2015).

Com a difusão da utilização de SIGs, o mapeamento de áreas vulneráveis e de perigo aos desastres naturais teve um grande progresso a partir da década passada (TOMINAGA; SANTORO e AMARAL, 2009). Com a expansão da capacidade de mapeamento e análise das inundações, em áreas com essa problemática, permite monitorar e simular eventos de inundações, o que colabora para a leitura e entendimento destes fenômenos. (GUASSELI; OLIVEIRA; ALVES, 2013).

BURROUCH (1986) resume a utilidade da modelagem espacial como “ferramenta para acrescentar valor à informação”. Ou seja, gerar novos dados, por meio de um processo estabelecido, a partir de dados primários e modelos que descrevam o comportamento do mundo real em determinadas condições, obtendo, assim, resultados ou soluções para problemas espaciais complexos. Câmara (1993) afirma que num ambiente computacional, a noção de mapa deve ser estendida para incluir diferentes tipos de dados geográficos, como imagens de satélite e modelos numéricos de terreno (MNTs), que desta forma podem ser representados e visualizados em três dimensões.

### **2.7.1 Dados Espaciais**

Segundo Sinton (1978), os fenômenos relativos ao mundo real podem ser descrito de três maneiras: temporal, temática e espacial. A característica temporal indica quando foram coletadas (densidade demográfica, ocupação do solo), as características temáticas (geologia, cobertura vegetal) são normalmente referidas como atributos e são características associadas aos elementos espaciais para fornecer informação adicional sobre os mesmos, e a localização espacial por outro lado é uma característica inerente à informação e indispensável para sua análise (declividade, altitude) (Alves, et al., 2000). Quando estas três maneiras de se observar os fenômenos que ocorrem na superfície da terra são, coletivamente, denominadas de dados espaciais.

A distinção dos dados espaciais ocorre, de uma maneira geral, pelo fato destes estarem relacionados a superfícies contínuas, a exemplo a superfície topográfica, e cada ponto possuir as coordenadas X, Y e Z, podendo ter precisão ilimitada (SILVA, 1999). De acordo com ANSELIM (1989), outra singularidade é a sua dependência espacial, ou seja, a tendência de a vizinhança influenciar um determinado ponto e possuir atributos similares.

Os dados espaciais são coletivamente denominados de objetos ou feições do mundo real, podendo ser representados, discretamente por pontos, nós, linha ou arcos, cadeias e polígonos, embora estas abstrações não existam na realidade (SILVA, 1999).

Além disso, outro conceito importante que deve ser abordado trata-se da resolução espacial, podendo ser entendida como o conteúdo do domínio geométrico (apreciado como a área coberta pelas observações) dividido pelo número de observações e, normalizadas pela dimensão espacial. (SILVA, 1999). A resolução está associada à maior ou menor discriminação de objetos. A alta resolução corresponde à maior discriminação dos elementos, portanto um maior número de observações. Já a baixa resolução carece de discriminação dos elementos, estando associado a um número menor de observações de objetos. (SILVA, 1999).

Resumidamente, SIGs podem ser usados para adicionar valor a dados espaciais, permitindo que os mesmos possam ser organizados e visualizados eficientemente, transformando-os em informação. Propicia também a integração de diversos tipos de dados, em diferentes escalas, criando informações novas e ajudando na tomada de decisões (Alves, et. al., 2000).

### **2.7.2 Modelo Cartográfico**

Uma série de modelos cartográficos pode ser desenvolvida em um ambiente SIG para representar dados espaciais, simular processos, expressar análises ou fornece uma descrição efetiva de um fenômeno (SOARES FILHO, 2000).

De acordo com TOMLIN (1990), a modelagem cartográfica envolve mapas e modelos expressos em mapas. À vista disso, um modelo cartográfico pode ser simplificado a um conjunto de mapas ou camadas de mapas pertencentes a uma área comum e operações entre seus elementos, devendo retratar a diligência com a qualidade gráfica, a manutenção das propriedades topológicas, a exatidão e a precisão posicional.

Em suma, a sobreposição de diversas camadas de mapas, fundamentado por operações entre seus elementos e através da análise espacial, permite a obtenção da carta de inundação de uma determinada área de estudo suscetível a inundação.

## **2.8 Sensoriamento Remoto**

O sensoriamento remoto pode ser definido como uma tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, por meio da captação e do registro de energia refletida ou emitida pela superfície (FLORENZANO, 2002). Lillesand (2007) complementa que o sensoriamento remoto, em muitos aspectos, pode ser pensado como um processo de leitura que faz uso de diversos sensores que coletam remotamente dados que podem ser analisados para se obter informações de objetos, áreas ou fenômenos analisados. Em síntese, o termo sensoriamento remoto se refere ao uso de sensores de radiação eletromagnética para registrar imagens que ao serem interpretadas fornecem informações úteis sobre o ambiente (CURRAN, 1985).

Segundo NOVO (1993), o sensoriamento remoto é a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, aeronaves, entre outros, desenvolvidos com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta. A Figura 8 apresenta de forma esquemática o processo de aquisição de dados por sensoriamento remoto.

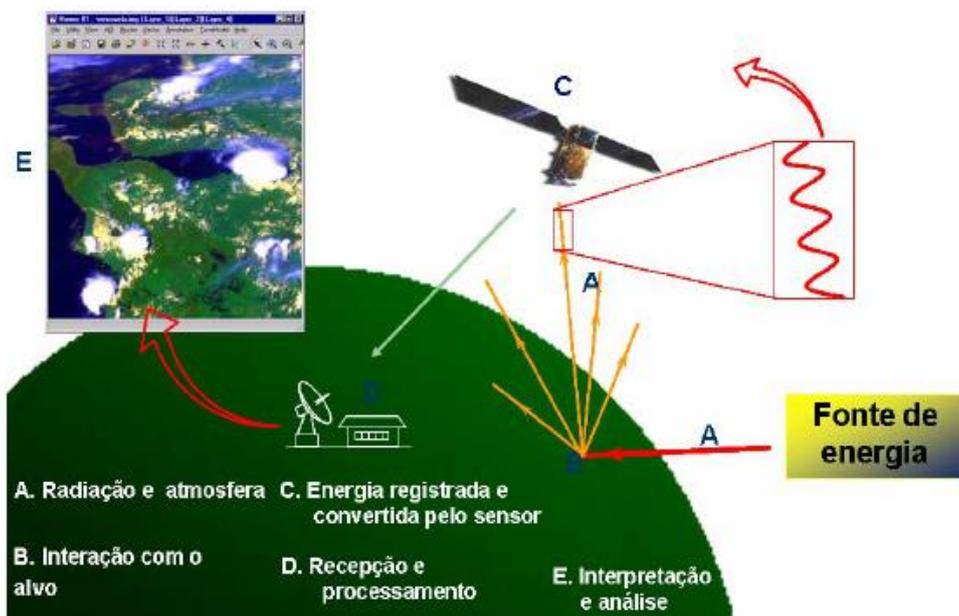


Figura 8: Processo de aquisição de dados por Sensoriamento Remoto

Fonte: ECKHARDT, 2008.

Segundo Aroma & Kumudha (2015) a qualidade das imagens de satélite é influenciada pelo tipo de sensores utilizados, uma vez que podem ser afetados pelas condições climáticas, acarretando uma má qualidade das imagens, e pelo modo de disponibilidade de imagem de satélite. Há versões avançadas de imagens de satélite adquiridas para serem exploradas com tecnologias de imagens de alta resolução, mas a disponibilidade de recursos de imagens de satélite gratuitos é limitada (Aroma & Kumudha, 2015).

A medição de diversos parâmetros no monitoramento hidrológico, como precipitação, vazão, medição de níveis, entre outros, podem ser realizadas *in situ*, porém esses dados são coletados em fontes pontuais, fazendo com que seja necessária uma grande quantidade de pontos de coleta para que interpolações apresentem bons resultados de forma distribuída. Ademais, pesquisas têm sido desenvolvidas para que o sensoriamento remoto possa ser uma ferramenta de desenvolvimento de medições espaciais de parâmetros hidrológicos (JENSEN, 2009). A viabilidade da utilização destes sensores depende das peculiaridades do ambiente a ser estudado e dos objetivos propostos, permitindo, por exemplo, o mapeamento dos usos e de infraestruturas dentro das áreas de inundação (ECKHARDT, 2008).

A implantação de sistemas de previsão de inundações se relaciona à escassez e precariedade de equipamentos para coleta de informações de nível e chuva, dados topográficos, entre outros, logo, constituem sistemas de difícil implantação. Porém, compensando estes sistemas, é crescente a disponibilidade de dados obtidos por Sensoriamento Remoto, os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e também, as ferramentas de geoprocessamento voltadas para trabalhos e estudos relacionados às inundações (Guasselli et. al., 2013)

Para Guasselli et. al. (2013), a identificação e o mapeamento das áreas com predisposição à ocorrência de processos naturais catastróficos, que resultam em ameaça e danos a sociedade, é uma demanda de elevada importância, principalmente pelo papel que exerce em ações de planejamento e gestão ambiental, territorial e de riscos. Um documento que se propõe a fazer a cartografia da predisposição a esses processos são os mapas de suscetibilidade. Segundo Bittar (2001), a análise da suscetibilidade envolve técnicas de natureza preditiva, objetivando definir os tipos de eventos perigosos e definir as condições espaciais e temporais de sua ocorrência.

Portanto, o Sensoriamento Remoto e os SIGs têm se mostrado como ferramentas importantes na prevenção e análise de desastres naturais. Florenzano (2002) afirma que a interpretação de imagens de Sensoriamento Remoto, sejam elas obtidas através de satélites ou por aviões, é possível, por exemplo, mapear áreas atingidas por diferentes desastres naturais, como deslizamentos, inundações, bem como o tipo de uso da terra na área. Estas informações, associadas com modelos digitais de elevação, dados de chuva, vazão de rios, entre outros, podem ser integradas por meio de um SIG, tornando possível a elaboração de mapas das áreas de risco de inundações, com destaque para as áreas com maior probabilidade de serem atingidas pelo fenômeno, servindo como subsídio para o planejamento dos usos da terra nos ambientes urbanos e rurais.

## **2.9 Modelos Numéricos do Terreno**

Existe algo em comum de todos os métodos de aquisição de dados espaciais, que é o fato de serem obtidos como entidades pontuais, enquanto o mundo real é descrito geometricamente como uma superfície contínua, sujeito às estruturas complexas de

dependência espacial (ECKHARDT, 2008). Segundo Silva (1999), a geração de superfícies contínuas é muito útil no entendimento da distribuição de dados espaciais e na representação do mundo real.

Segundo FELGUEIRAS & CÂMARA (2004), um Modelo Numérico de Terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Ao tratar das alturas topográficas de um terreno em MNT, denomina-se Modelo Digital de Elevação (MDE), no qual cada elemento da matriz está relacionado há uma determinada altitude topográfica.

Desta maneira, o MDE apresenta estrutura matricial ou *raster*, condizendo, assim, com uma representação contínua da superfície. Portanto, cada *pixel* ou célula armazena as coordenadas X, Y e a informação Z, que neste caso confere à altitude do terreno com referência ao nível do mar (ECKHARDT, 2008). Conforme FELGUEIRAS & CÂMARA (2004), o processo de MDE pode ser dividido em três etapas: aquisição das amostras ou amostragem, geração do modelo propriamente dito ou interpolação e finalmente, utilização do modelo ou aplicações.

### **2.9.1 Amostragem**

A amostragem não é, em geral, aleatória. A amostragem deve ser representativa do comportamento do fenômeno de interesse. As fontes mais comuns de amostras de modelos digitais de terrenos são: arquivos digitais, bases topográficas com isolinhas e pontos notáveis de máximos e mínimos e levantamentos em campo transformados em dados digitais. As fontes podem ser também de dados de altimetria, levantamento em campo com GPS, fotogrametria e ainda um conjunto de amostras pode ainda ser obtido a partir de pares estéreos de imagens de sensoriamento remoto (FELGUEIRAS & CÂMARA, 2004).

Segundo FELGUEIRAS & CÂMARA (2004), o exemplo mais comum para a representação gráfica são as isolinhas altimétricas existentes nos mapas topográficos (Figura 9). A limitação do uso de isolinhas como representações de uma superfície deve-se ao fato de ser fiel à superfície apenas ao longo dela mesma. A região entre duas isolinhas é apenas deduzida, porém, se a superfície não tiver um comportamento que possa ser estimado pelas isolinhas que contornam a região, a superfície será apenas aproximada através processos de interpolação.

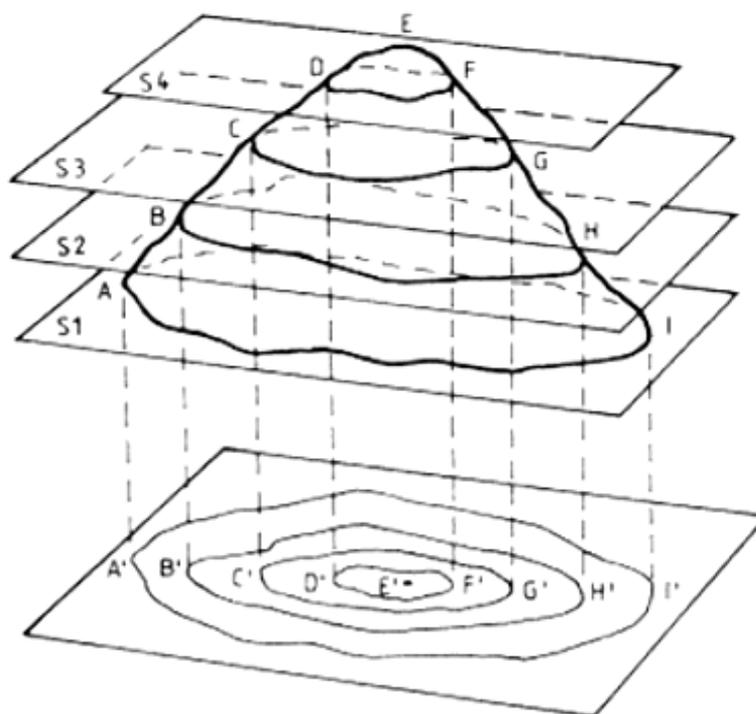


Figura 9: Levantamento gráfico da altitude de terreno por curvas de nível

Fonte: ECKHARDT, 2008.

Vale ressaltar que a fotogrametria não gera uma interpolação no traçado das curvas de nível, e sim curvas de nível são traçadas tangenciando o terreno de todos os pontos de mesma altitude (ECKHARDT, 2008). De acordo com FELGUEIRAS & CÂMARA (2004), o formato digital de isolinhas pode ser obtida por meio de digitalização manual com o uso de uma mesa digitalizadora, ou através de um processo automático (scanner). A digitalização manual consiste na operação de identificação de uma isolinha com um valor de cota e em sua aquisição pelo operador por um processo em que se segue a linha ao longo do mapa.

### 2.9.2 Interpolação e Modelagem

A interpolação envolve a criação de estruturas de dados e a definição de superfície de ajustes para se obter uma representação contínua do fenômeno a partir das amostras. Essas estruturas são definidas de forma a possibilitar uma manipulação conveniente e eficiente dos modelos pelos algoritmos interpolares e de análise contido nos SIG (ECKHARDT, 2008). As estruturas de dados dos modelos digitais de terrenos mais

utilizados na prática são os modelos de grade regular retangular e os modelos de malha irregular triangular (FELGUEIRAS & CÂMARA, 2004).

A modelagem propriamente dita envolve a criação de estruturas de dados e a definição de superfícies de ajuste para os elementos dessas estruturas (FELGUEIRAS & CÂMARA, 2004). O objetivo é a obtenção de uma função definida em toda a região de estudo. Essa função nem sempre é contínua e diferenciável para todos os pontos de seu domínio espacial. Para dados de altimetria, por exemplo, podem-se ter descontinuidades na forma de precipícios e, neste caso, é comum utilizar funções lineares ou funções definidas dentro de sub-regiões da área de interesse.

## **2.10 Classificação e zoneamento de Inundações usando descritores geomorfológicos**

Segundo a CPRM, para realizar a modelagem do risco de desastre por inundação, é necessário inicialmente elaborar o mapa de suscetibilidade. A rigor, as áreas de suscetibilidade apoiam-se em fatores permanentes, ou seja, nas condições predisponentes dos terrenos, principalmente nas características geológicas, topográficas e morfológicas das bacias que tendem a favorecer o transbordamento do nível d'água, por ocasião de chuvas intensas, tendo em vista que estas características influenciam a deflagração do perigo. Em síntese, busca-se possibilitar a compreensão da dinâmica hidrológico-geomorfológica de forma padronizada e prática, classificando a suscetibilidade a inundações em bacias de drenagem que podem abranger vários municípios (IPT & CPRM, 2014).

Segundo FARIA et. al. (2009), a morfometria da bacia hidrográfica pode ser definida como uma análise quantitativa das interações entre a fisiografia e a sua dinâmica hidrológica, que propicia um conhecimento da dinâmica fluvial, bem como das relações existentes entre essa dinâmica e os diversos componentes do meio físico e biótico da bacia. Assim os índices morfométricos são importantes pressupostos para a prevenção de eventos hidrometeorológicos, como enchentes e estiagens, apontar áreas de maior suscetibilidade a processos erosivos, configurando importantes instrumentos para o planejamento e gestão territorial (LINDNER et al., 2007).

Na Figura 10 pode ser observado um fluxograma das etapas básicas da abordagem geomorfológica na análise de suscetibilidade.

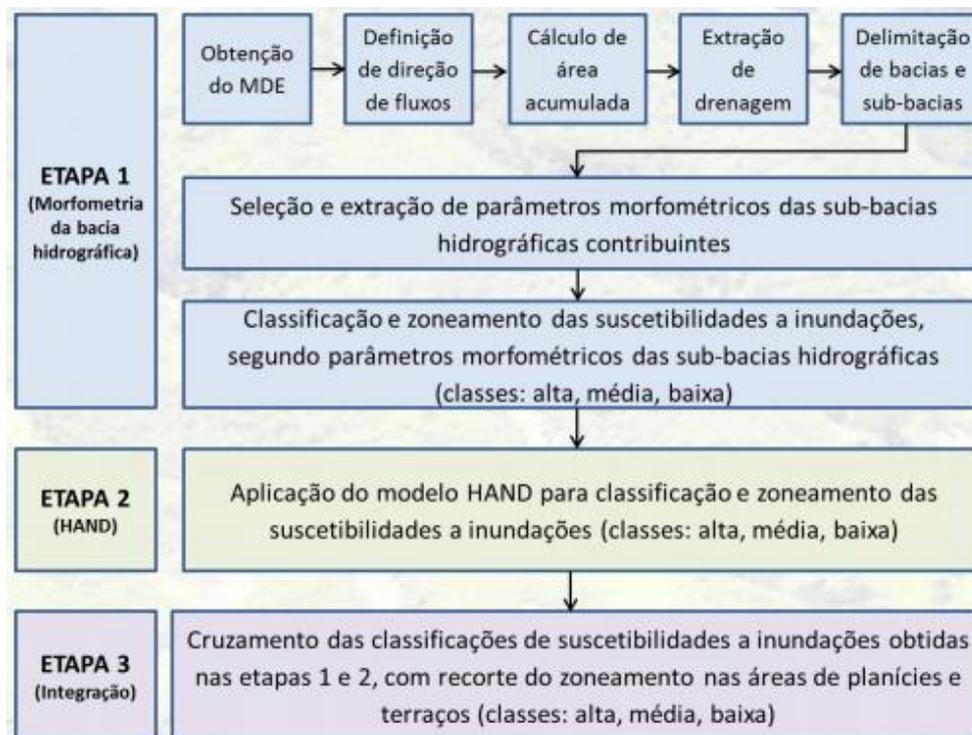


Figura 10: Fluxograma das etapas de análise, classificação e zoneamento da suscetibilidade a inundações usando abordagem geomorfológica.

Fonte: Bitar, 2014.

Na etapa inicial do método, faz-se necessário realizar correções altimétricas no Modelo Digital de Terreno (MDT) adicionado. Na segunda etapa, o algoritmo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*) identifica a propagação do fluxo de drenagem em todas as células do MDT. Sendo assim, a direção e a área de acumulação de fluxo de cada célula são determinadas. Na terceira etapa, é calculada a área de acumulação de água. Na quarta etapa, é necessário o estabelecimento de um limiar mínimo para iniciar um canal. O limiar define o nível de detalhamento da rede de drenagem, ou seja, o acúmulo acima desse limiar é considerado drenagem (MONTGOMERY e DIETRICH, 1999, apud GOERL et al.; 2017).

Conforme IPT & CPRM (2014), o limiar de área de captação, representa o número mínimo de células de fluxo acumulado necessárias para estabelecer um canal. Nesse caso, quanto maior o limiar, menor a geração de drenagens de primeira ordem ou de drenagens intermitentes, se apresentando as drenagens principais (IPT & CPRM, 2014).

A Figura 11: Exemplo de definição da rede de drenagem. A Figura 11 exemplifica o fluxograma apresentado para a definição da rede de drenagem.

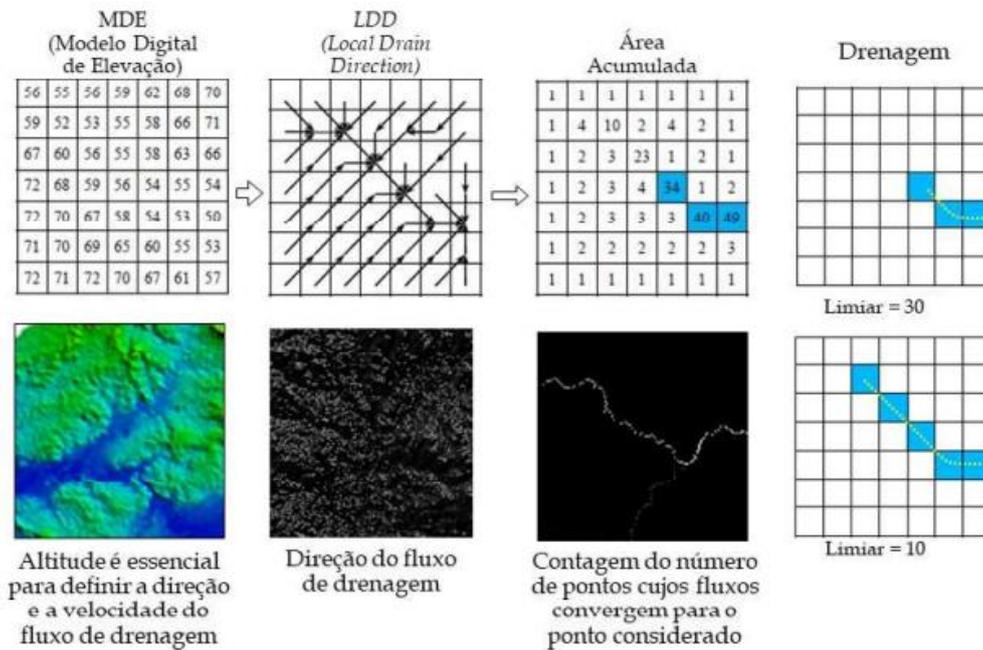


Figura 11: Exemplo de definição da rede de drenagem

Fonte: Renno et. al., 2008

O modelo denominado HAND, é equivalente a um MDT, no entanto, normalizado pela rede de drenagem. O modelo traduzido por “altura acima da drenagem mais próxima”, foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com a finalidade de revelar áreas suscetíveis à inundação (ROSIM et. al., 2003). O algoritmo gera um modelo digital hidrológico que representa o terreno sujeito à inundação. Em síntese, trata-se de uma imagem digital que retrata a altura da drenagem mais próxima, que na prática significa uma altimetria normalizada em relação à rede de drenagem da área de estudo (RENNO et. al., 2008).

Esse modelo tem como única entrada o MDT e como saída o mesmo MDT, porém, normalizado, com a classificação distribuída da área por suas distâncias relativas à drenagem (RENNO et. al., 2008), considerando a trajetória superficial de fluxo (*flowpath*), e a direção por onde a água possivelmente irá escoar no MDT (PIRES & BORMA, 2013). Os resultados obtidos do HAND, assim como qualquer característica hidrogeomorfológica obtida através da topografia, dependem inteiramente da qualidade e resolução espacial do MDT (ZHANG & MONTGOMERY, 1994, apud GOERL et al., 2017).

Como consequência, o modelo HAND gera uma grade que representa a normalização do MDT em relação à drenagem e indica a área onde uma cheia pode se desenvolver, caso haja água em excesso fluindo na superfície (PIRES & BORMA, 2013). Desse modo, o HAND utiliza o modelo para mapear a superfície do terreno, respaldando-se na distância vertical à drenagem mais próxima. Dessa forma, indica áreas onde pontos com valores altos representam maior concentração de fluxo acumulado (BITAR, 2014). Esses desníveis relativos constituem boas indicações das suscetibilidades a inundações de cada ponto na paisagem (IPT & CPRM, 2014).

A Figura 12 ilustra o fluxograma para a geração do modelo HAND.

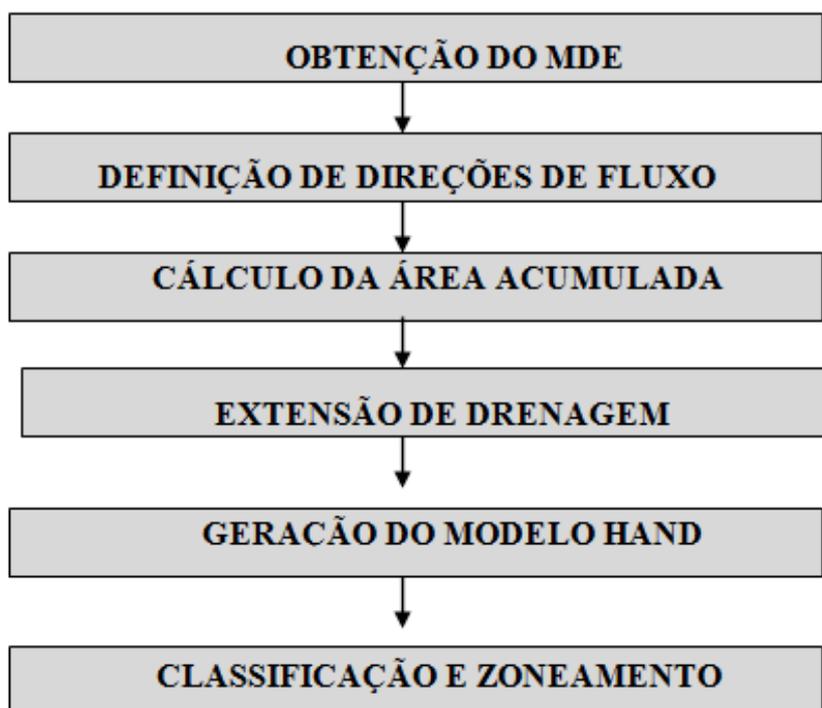


Figura 12: Fluxograma de geração de um modelo HAND

Fonte: Bittar, 2014

Depois de finalizada a metodologia do modelo HAND, gera-se uma matriz de correlação entre as duas classificações de suscetibilidade obtidas, segundo os índices morfométricos e o modelo HAND, conforme demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4: Matriz de correlação entre as duas classificações obtidas pelos índices morfométricos e o modelo HAND;

Índices Morfométricos	Modelo HAND	Alta	Média	Baixa
	Alta	Alta	Alta	Média
Média	Alta	Média	Baixa	
Baixa	Média	Baixa	Baixa	

Fonte: Elabora pela autora a partir da IPT & CPRM, 2014.

Segundo NOBRE et. al. (2016), o HAND, enquanto método de modelagem hidrológica do terreno sujeito à inundação está sendo estudado como preditivo de risco de desastres hidrológicos, até mesmo a partir da delimitação de isolinhas de contorno do modelo hidrológico por ele produzido, sendo este um processo similar ao de extração de curvas de nível de um modelo digital de terreno (MDT).

Destaca-se que a definição do tamanho da bacia hidrográfica e a qualidade do MDE utilizado podem interferir diretamente nos resultados da composição da suscetibilidade a inundações, especialmente na análise morfométrica e na aplicação do modelo HAND (IPT & CPRM, 2014).

## 2.11 Considerações Finais sobre a Revisão Bibliografia

Os estudos de mapas de delimitação relacionados à preservação de APPs segundo o Código Florestal e as áreas de perigo às inundações de bacias hidrográficas são de tamanha importância no que tange à um melhor entendimento dos impactos destas áreas sobre o meio ambiente em geral, com proposição de proteger e preservar as áreas atingidas pelo rio, no âmbito conhecimento aplicado da engenharia hídrica.

O mapeamento das APPs e dos setores de risco dos municípios, com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento de recursos hídricos, métodos e técnicas de mapeamento de áreas suscetíveis a inundação e MDE de áreas inundáveis vem apresentando crescente

importância no desenvolvimento dessas técnicas para a tomada de decisão preventiva aos impactos gerados na ocorrência desses eventos. A identificação destas áreas - bem como a porcentagem de áreas preservadas ditadas por Lei que sofrem com inundações - apresenta-se como um grande aliado na produção de bons resultados para tomada de decisões.

Sendo assim, este trabalho tem por objetivo não só analisar estas áreas suscetíveis às inundações, como também avaliar o quanto destas áreas se apresentam como APPs, com a finalidade de contribuir, com estudos preventivos e de contingência para os municípios. Este monitoramento favorece o mapeamento das áreas afetadas pelas inundações, a definição de estratégias para a Defesa Civil municipal, além de estratégias para o planejamento da ocupação das áreas de risco. O estudo ainda se apresenta de grande importância econômica com a contenção de gastos remediados aos cofres públicos no enfrentamento dos danos causados. Assim, o presente estudo busca preencher esta lacuna existente na literatura.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1. Características Gerais da Área de Estudo

A área de estudo do presente trabalho compreende a bacia hidrográfica do rio Taquari, mais precisamente suas margens, onde se situam as APPs de encosta de rio e as áreas de perigo delimitadas. A Bacia do Taquari situa-se na Região Hidrográfica do Guaíba, na porção nordeste do Rio Grande do Sul, como mostrado na Figura 13.



Figura 13: Localização da Bacia do rio Taquari

Fonte: Autora, 2021.

O rio Taquari tem suas nascentes no extremo leste do Planalto dos Campos Gerais, quando ainda é conhecido como rio das Antas. Com esse nome, o rio faz um percurso de 390km e, após receber o afluente do rio Carreiro, na cidade de São Valentim do Sul, passa a se chamar propriamente rio Taquari. Por fim deságua no rio Jacuí, sendo o sistema Taquari-Antas considerado o principal afluente do rio Jacuí, maior formador do Guaíba (FEPAM, 2015).

A região do Vale do Taquari localiza-se na região centro-leste do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas UTM Zona 22S 6.695.000N, 350.000E e 6.830.000N, 450.000E. Conforme ilustrado na Figura 14, essa região é constituída por 37 municípios que apresentam área territorial de aproximadamente 486.905ha e uma população total de

356.002 habitantes (IBGE, 2014). A maioria dos municípios possui sua economia baseada em atividade de produção primária de cunho familiar.



Figura 14: Delimitação dos municípios da Bacia do rio Taquari

Fonte: Autora, 2021.

Em paralelo, a região do Vale possui características fisiográficas singulares, parte da sua área é localizada na encosta inferior do Planalto Meridional, parte na Depressão Central gaúcha e parte na região conhecida como Campos de Cima da Serra. A área localizada na encosta inferior do Planalto Meridional é caracterizada por escarpamento acentuado devido à dissecação provocada pelo curso inferior do rio Taquari, formando assim pontos de grande aclave e porções com os típicos morros testemunhos (FEPAM, 2015).

O clima predominante é subtropical úmido (Cfa e Cfb) pela classificação de *Kippen*. Para as altitudes inferiores a 600m (Cfa) caracteriza-se por temperaturas entre 3°C a 18°C para o inverno e superiores a 22°C para o mês mais quente, com precipitação bem distribuída durante o ano, apresentando um índice médio anual pluviométrico de 1.400 mm. Para as cotas superiores a 600, predomina a variedade Cfb, diferenciando-se basicamente

pelas temperaturas médias no mês mais quentes inferiores a 22°C e um índice médio anual pluviométrico superior a 1.600 mm (FEPAM, 2015).

A bacia do rio Taquari apresenta como cota altimétrica mais baixa a cota de 100m, e como cota mais alta a de 832 m, ambas as altitudes em relação ao mar. Ademais, a região do Vale do Taquari detém uma vasta e densa rede de drenagem, onde drena um total de 98 municípios, sendo possível identificar uma diversidade de afluentes conectados ao rio Taquari. Esses rios apresentam variação de uma largura de 15 a 50m, sendo eles: rio Forqueta, rio Fão, rio Guaporé e rio Carreiro. Entre os arroios de segunda ordem, destacam-se: arroio Forquetinha, arroio Jacaré, arroio Sampaio, arroio Castelhana, arroio Santa Cruz, arroio Potreiro, Arroio Estrela, arroio Boa Vista, arroio da Seca, arroio Augusta e o arroio Zeferino. No Vale do Taquari, o rio ocupa uma área de aproximadamente 4.177 hectares, com extensão de 156,65km e com largura média de 150 metros.

Após atravessar o município de Muçum, o Rio Taquari corre na direção norte-sul, apresentando apenas pequenas variações no nível no seu curso, descendo aproximadamente 25m de altitude em 140km de extensão, até desembocar no rio Jacuí, junto à cidade de Triunfo, totalizando, uma extensão de 530km da sua nascente até a foz (FERRI, 1991). Este trajeto, após o município de Muçum, é denominado baixo curso, ou região inferior, do Rio Taquari-Antas e contém margens consideradas pouco elevadas, ficando sujeitas a periódicas inundações (FERRI, 1991). Segundo dados disponibilizados pela FEPAM (2015), a vazão média do rio Taquari, no município de Muçum é de 321m<sup>3</sup>/s no período de 1940-1982, e as vazões máximas chegaram a 10.300m<sup>3</sup>/s, enquanto as mínimas entre 10 a 20m<sup>3</sup>/s.

### **3.1 Uso e ocupação da terra**

De acordo com Coutinho et. al. (2013), a ocupação do território brasileiro consistiu na substituição da cobertura florestal nativa por atividades agropecuárias, frequentemente baseando-se na exploração excessiva dos recursos naturais, desconsiderando sua importância ambiental e a sustentabilidade. Tal processo foi responsável por diversos problemas ambientais, destacando-se a significativa redução da qualidade dos solos e a intensificação da erosão hídrica, associados à diminuição da disponibilidade quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos.

Os processos hidrológicos dinâmicos em bacias podem sofrer modificações significativas em decorrência de atividades antrópicas, como modificações na ocupação das terras, desmatamento, expansão da agropecuária e urbanização intensiva. Estas atividades modificam a dinâmica hidrológica em razão das alterações nas características de cobertura e perfil do solo, podendo ocasionar prejuízos diversos, como erosão, assoreamento e enchentes (Coutinho et. al.,2013).

Segundo Panazzolo et. al. (2012), a elaboração do mapeamento do uso do solo e da caracterização da sua capacidade de uso foi elencada pelo Termo de Referência que deu origem ao Plano de Bacia do rio Taquari-Antas (PBTA), como uma das premissas para sua elaboração. O referido plano visou subsidiar o planejamento do uso das águas da bacia, auxiliar na gestão desse recurso e na ocupação ordenada de suas terras.

Segundo LIMA et. al., (2015) em diagnóstico e planejamento do uso e cobertura do solo na região da bacia do rio Taquari, foram identificados 10 tipos ativos ao longo da sua extensão, sendo eles: floresta estacional decidual, floresta ombrófila mista, floresta industrial, vegetação secundária, campos (nativos e antrópicos), agricultura, solo exposto, água e área urbana. A Tabela 5 apresenta as Classes de uso e cobertura do solo da bacia do Taquari e a respectiva área correspondente do rio Taquari. Apesar de não ter cidades de grande porte, a região contém, na sua porção central, várias cidades de porte médio localizadas muito próximas umas das outras (REMPEL, 2015).

Tabela 5: Classes de uso e cobertura do solo

Uso e cobertura de Solo	Área (km <sup>2</sup> )	%
Florestas (Estacional Decidual, Ombrófila mista e industrial)	1.996,4	19%
Vegetação Secundária	2.501,5	23%
Campos (nativos e antrópicos)	979,1	9%
Agricultura	1.657,5	15%
Solo Exposto	3.426,0	31%
Área Urbana	119,2	1%
Água	214,1	2%
<i>TOTAL</i>	<i>10.893,6</i>	<i>100%</i>

Fonte: LIMA, D. F. B. de; REMPEL, C.; ECKHARDT, R. R, 2015.

### 3.2 Mapeamento das áreas de perigo para inundações

O mapeamento de áreas suscetíveis a inundações envolve temática complexa, sem fórmulas definitivas, podendo-se empregar duas abordagens básicas. A primeira, associada às engenharias, envolve conceitos de hidrologia e hidráulica, com elaboração de modelos chuva-vazão para simular o comportamento dos escoamentos por meio de análise unidimensional (canal) ou em duas dimensões (acrescentando-se a planície de inundação, com emprego de métodos de elementos finitos ou de diferenças finitas), regionalização de vazões, entre outras formas. A segunda abordagem envolve análises descritivo-qualitativas dos múltiplos aspectos de um determinado ambiente, como o tipo de solo, a conformação do relevo e a influência da cobertura vegetal (IPT & CPRM, 2014).

A ocorrência de uma inundação é o resultado de vários fatores que interferem na formação dos escoamentos e em sua propagação ao longo da bacia hidrográfica de contribuição (PINHEIRO, 2007). Os mapeamentos em geral referem-se a cartas de

suscetibilidade, perigo ou risco. O perigo de desastres associados a essas inundações é uma temática de grande preocupação em diversas áreas do conhecimento, em decorrência do aumento dos registros de casos. Nessa conjuntura, o perigo está associado ao período de retorno, ou seja, à frequência temporal em que o evento poderá ocorrer dentro de uma determinada área (IPT & CPRM, 2014).

O levantamento de dados consiste em trabalho de campo por uma equipe de pesquisadores que percorre toda a extensão do município e, posteriormente, realiza-se uma modelagem matemática. A suscetibilidade ainda (Figura 15) pode ser definida como sendo a maior ou menor predisposição de ocorrência de um determinado processo em uma área específica. Inicialmente é feita somente a análise dos fatores que contribuem para a deflagração do evento (inundação, por exemplo), excluindo os danos, a influência humana e o período de recorrência, mas apenas as características físicas da área foram definidas pelo Ceped/UFRGS (2016).

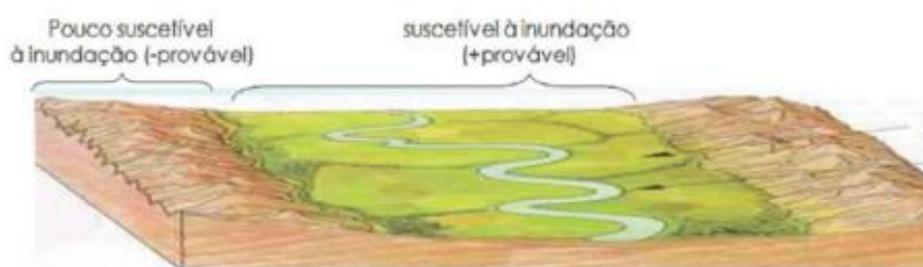


Figura 15: Modelagem de classe de áreas de suscetibilidade a inundação

Fonte: Ceped/UFRGS (2016, p. 30).

O mapeamento das inundações é de suma importância dentro do controle de enchentes, que podem ser de dois tipos: mapas de alerta e mapas de planejamento, bem como conhecimento da topografia da cidade, onde poderia ser colocado marcos que definem o nível da água. (TUCCI, 2004). Nesse sentido, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) em sua plataforma na internet, informa, no sentido de alertar a ocorrência desses eventos, a setorização de áreas de risco que se restringem às regiões atualmente ocupadas e, portanto, são constituídas por uma ou mais edificações propensas a serem atingidas e danificadas por um evento hidrológico, seja ele natural ou induzido.

Os trabalhos de setorização de risco de diversas bacias nacionais iniciaram em 2011. Após sucessivos desastres naturais ocorridos, em 2015, se realizou a setorização da bacia do rio Taquari. O mapeamento consiste na implantação e operação de redes hidrometeorológicas nacional, constituída de cerca de 2.500 estações. A análise de consistência é realizada de acordo com a Diretriz para Tratamento de Dados Hidrométricos, elaborada em parceria com a Agência Nacional de Águas, e o armazenamento é efetuado através do Banco de Dados HIDRO (ANEEL/ANA).

Segundo o CPRM, a setorização de riscos tem por finalidade a identificação, a delimitação e a caracterização de áreas ou setores de uma encosta ou planície de inundação sujeitas à ocorrência de processos destrutivos de movimentos de massa, enchentes de alta energia e inundações. Todo o acervo de dados é disponibilizado para órgãos e instituições do governo federal, de estados e de municípios que atuam na prevenção e no monitoramento de eventos climáticos catastróficos, visando contribuir para a redução dos danos e para a diminuição das perdas, de vidas e materiais, relacionados aos desastres naturais.

O objetivo é apontar à Defesa Civil e aos gestores municipais, estaduais e federais quais são as áreas prioritárias para a implantação de ações de gerenciamento, mitigação, monitoramento e resposta frente aos desastres naturais. Em função dos indícios observados em campo, o grau de risco pode ser classificado em baixo, médio, alto ou muito alto, sendo os dois últimos os objetos principais do projeto.

Atualmente, pouco se tem feito na busca pela prevenção, ao invés da ação pós-evento. O mapa de setorização de áreas de risco vem ao encontro na elaboração de medidas de prevenção e planejamento do uso e ocupação, pois indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais.

Contudo, apesar das dificuldades para o gerenciamento da planície de inundação e da melhoria dos sistemas de previsão e alerta de inundações, estas medidas de controle não estruturais ainda são as que mais contribuem para a melhor relação da sociedade com a ocorrência de eventos extremos que geram inundações (OLIVEIRA, 2010).

### 3.3 Histórico de inundações na área de estudo

No Brasil, os eventos naturais extremos de maior repercussão nas atividades humanas são de natureza climática. Embora sejam fenômenos de ordem natural, ocasionados por uma perturbação no sistema meteorológico, a ação humana contribuiu ao longo do tempo, ora nas áreas urbanas ora nas rurais, tem contribuído consideravelmente para sua maior frequência, agressividade e expansão (BRANDÃO, in GUERRA & CUNHA, 2004).

O Vale do Taquari, inserido na região inferior da bacia hidrográfica Taquari-Antas, apresenta uma problemática significativa no que se refere aos impactos causados pelas inundações. As inundações sempre tiveram presentes ao longo de toda a região hidrográfica, pois os rios afluentes caracterizam-se por intensas e bruscas variações das vazões (FERRI, 1991). A retrospectiva com algumas das principais inundações do rio Taquari segundo o um relatório conjunto elaborado em 2020, pela PORTOBRÁS (Estrela), a Coordenadoria Municipal de Defesa Civil (COMDEC), a Defesa Civil dos municípios do Vale do Taquari e o Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE/CPRM) gerou um histórico com as dez maiores do rio Taquari, se levados em conta apenas os eventos a partir de 1940. As inundações com maiores cotas ocorreram nos anos de 1941, 1946, 1954, 1956, 1959, 1990, 2001, 2008, 2011 e 2020. Contudo, de todos os registros realizados, o mais comentado até os dias de hoje e que gerou maiores prejuízos foi à cheia de 1941 (Figura 16), ocorrida há 70 anos.

A Tabela 6 está organizada em ordem decrescente de nível máximo de inundação, no período de 1941 a 2020. As imagens apresentadas nas Figura 17 até a Figura 22 retratam as enchentes no Vale do Taquari.

Tabela 6: Histórico de Enchentes do Rio Taquari – 1940 em diante

	Data	Nível máximo (m)
1°	06/05/1941	29,92
2°	06/04/1956	28,86
3°	27/01/1946	27,40
4°	09/07/2020	27,39
5°	27/09/1954	27,35
6°	02/10/2001	26,95
7°	21/07/2011	26,85
8°	27/10/2008	26,65
9°	01/07/1990	26,64
10°	23/06/1959	26,63

Fontes: Elaborada pela Autora com base em PORTOBRÁS (Estrela) / COMDEC / Defesa Civil / SACE CPRM, 2020.



Figura 16: Enchente de 1941 no Vale do Taquari

Fonte: Arquivo Aepan-ONG



Figura 17: Enchente de 1956 no Vale do Taquari

Fonte: Defesa Civil de Estrela



Figura 18: Enchente de 1990 no Vale do Taquari

Fonte: Acervo de João Manoel Moraes da Silva, 1991.



Figura 19: Enchente de 2001 no Vale do Taquari

Fonte: Acervo de João Manoel Moraes da Silva, 2001.



Figura 20: Enchente de 2008 no Vale do Taquari

Fonte: JLoeffler, 2009.



Figura 21: Enchente de 2011 no Vale do Taquari

Fonte: Fernando Dias, 2011.



Figura 22: Enchente de 2020 no Vale do Taquari

Fonte:Aldo Cesar Lopes, 2020.

### 3.4 Sistema de Previsão e Alerta do Rio Taquari

Em meados de 2002, por efeito dos problemas ocasionados pelas cheias do rio Taquari, foi desenvolvido o Sistema de Previsão e Alerta de Enchente (SPAEE), tendo como gerenciadores e operadores o Centro de Informações Hidrometeorológicas da UNIVATES (KUREK, 2012). Apesar da falta de precisão devido às dificuldades quanto à captação e à

modelagem de dados, os quais não supunham a influência dos rios tributários, mesmo assim o sistema disponibiliza resultados satisfatórios e reconhecidos por instituições como Agência Nacional de Águas (ANA) e a Defesa Civil do RS, considerando o SPAE, como pioneiro na aplicação deste tipo de tecnologias no Estado do Rio Grande do Sul (FERREIRA, 2007).

O funcionamento do SPAE avalia a quantidade de água precipitada na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas, o nível da água do rio faz a projeção de ocorrência e o alcance de uma determinada inundação e entra em contato com os Conselhos Municipais de Defesa civil (ECKHARDT, 2008). No total o SPAE abrange 10 municípios que margeiam o rio Taquari.

No ano de 2012, o SPAE recebeu um grande auxílio de recursos, pelo projeto “Revitalização da Infraestrutura e Aperfeiçoamento do Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes do Vale do Taquari”, que trouxe a possibilidade de implantação de uma nova rede de equipamentos para o monitoramento da chuva e o nível dos rios ao longo da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, com operação em tempo real e de forma automatizada. (MORAES, 2015).

### **3.5 Impactos ocasionados pelas Inundações**

#### **3.5.1 Impacto no Meio Físico**

A região do Vale do Taquari apresenta um histórico de problemas relacionados aos impactos causados pelas inundações. As inundações sempre foram recorrentes ao longo de toda a região hidrográfica, uma vez que os rios afluentes são caracterizados por intensas e bruscas variações das vazões (FERRI, 1991).

As principais interações de condicionantes de probabilidade de ocorrência de inundação, enchente e alagamentos são os fatores naturais: formas de relevo, características da rede de drenagem da bacia hidrográfica, intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas, características do solo e teor de umidade, presença ou ausência da cobertura vegetal, entre outros. Como consequência desses impactos, se tem a deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, bem como a contaminação de aquíferos.

Dessa maneira, as principais inundações na região do Vale do Taquari estão associadas com o extravasamento das águas do Rio Taquari, em períodos de altos volumes

de chuva. Na região do baixo curso do Rio Taquari, são observados os maiores danos causados pelas inundações, principalmente pela alta concentração de núcleos urbanos às margens do rio (FERRI, 1991).

### **3.5.2 Impacto no Meio Biótico**

Em contrapartida, os fenômenos naturais que causam desastres podem trazer, além de prejuízos, benefícios para a sociedade. Enquanto em áreas urbanas as inundações promovem danos materiais e até perda de vidas, em ambiente rural, trazem benefícios importantes para a sociedade, pois estes fenômenos hidrológicos contribuem para a morfodinâmica dos ambientes fluviais, promovendo grandes mudanças na mata ciliar e no comportamento da fauna ribeirinha e aquática, fornecendo grandes quantidades de fertilizantes para as áreas agrícolas (KOBAYAMA et al., 2006; ECKHARDT 2008).

Segundo a FEPAM (2015) os diversos habitats existentes na Bacia permitem inferir a importância desta região para a conservação da fauna, especialmente de mamíferos, aves e peixes. De acordo com dados da área, existem aproximadamente 310 espécies de aves com ocorrência potencial na Bacia, destas, dezesseis estão ameaçadas de extinção, em escala nacional ou mundial. A ictiofauna da Bacia é pouco conhecida. Alguns levantamentos das informações disponíveis revelam a ocorrência de apenas 58 espécies autóctones e quatro exóticas. A maior parte dos locais amostrados concentra-se em ambientes de cabeceiras (FEPAM, 2015).

### **3.6.3 Impacto no Meio Socioeconômico**

Os impactos socioambientais acarretados pelas inundações ocorrem, principalmente, devido à urbanização irregular das áreas sujeitas às inundações ao longo do tempo. De acordo com Santos (2007), as enchentes e as inundações são fenômenos naturais, ou seja, não são necessariamente sinônimos de desastres ou de catástrofes. Os impactos negativos causados estão relacionados com as intervenções antrópicas sob as condições e limites naturais do meio em que vive a população, principalmente em áreas suscetíveis, como as planícies de inundações (ALVES et. al., 2013).

O impacto social causado pelas inundações está diretamente atrelado com a expansão populacional, em consequência da ocupação em várzeas dos cursos de água e as

planícies fluviais para fins residenciais (GUASSELI. et al., 2013). O fato de a ocupação das cidades terem iniciado as margens dos rios e arroios também dificulta a implementação de restrição à moradia nessas áreas, visto que a ocupação já está consolidada (FERRI, 1991).

Contudo, devido a este crescimento populacional ao longo das décadas e ao crescimento de ocupação nas áreas muitas vezes consideradas áreas de APP de encosta de rio, os danos associados à ocorrência de inundações tendem a se intensificar. Segundo Amaral e Ribeiro (2009) o uso e ocupação irregular nas planícies e margens de cursos de água são os principais agravantes nos danos econômicos e sociais, já que na ocorrência de inundações, percebe-se que na maioria das cidades que possuem pessoas morando em áreas sujeitas à inundação, estas possuem baixa renda e não tem outra opção de moradia.

A ocupação indevida nas áreas que periodicamente são atingidas pelas inundações torna necessária a interferência do poder público municipal no sentido de realocar essa população. Diante disso, os problemas acarretados por uma inundação não cessam após a água retornar ao seu leito normal, pois novas dificuldades são registradas, como a falta de água e energia elétrica, impactos econômicos, doenças de veiculação hídrica, ou seja, são problemas que perduram por longos dias para a população da cidade.

Neste contexto, o monitoramento, a previsão e o controle de eventos extremos, como inundações, em áreas de preservação, é imprescindível, principalmente em regiões urbanas, devido à quantidade de vidas, bens materiais, saneamento e infraestruturas envolvidos no processo (FERREIRA et. al., 2007). Em destaque as águas do Rio Taquari em sua porção mais baixa, o Vale do Taquari, onde normalmente, estão associados os maiores prejuízos devido às inundações, uma vez que existe maior concentração populacional às margens do rio (FERRI, 1991).

As cidades do Vale do Taquari sofrem com a ocorrência frequente das inundações. Existe atualmente a necessidade da atualização do mapeamento de áreas suscetíveis a problemática, bem como a espacialização das edificações que possam ser atingidas pelas inundações. Todas estas análises são importantes para a melhor compreensão da ocorrência do fenômeno na referida área de estudo, sendo útil para a tomada de decisões sobre o planejamento urbano e a tomada de decisões de órgãos responsáveis para a redução dos impactos causados pelas cheias.

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos que foram utilizados como fontes de dados para a geração de informações. A metodologia para o desenvolvimento deste trabalho foi abordada em cinco etapas distintas, mas afins entre si. A partir da escolha da área de estudo da bacia do rio Taquari, foram adquiridos os dados para realizar a modelagem do trabalho, para assim gerar a delimitação da área de estudo.

A partir da obtenção dos dados vetoriais e matriciais da bacia hidrográfica, houve a necessidade de realizar um pré-processamento com auxílio do *Software* ArcGis 10.5, com a finalidade de fazer o recorte dos dados utilizando os limites do município da bacia. A rotina compreende uma sucessão de passos automatizados, baseados nas características das extensões aplicadas, por meio da geração de um MDE, gerado a partir das curvas de nível e dos pontos cotados da base digital de informações elaboradas pelo SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Nesta etapa, ocorre ainda, à identificação do fluxo de drenagem no MDT. Ou seja, é determinada a direção e a área de acumulação de fluxo de cada célula, permitindo a delimitação da bacia hidrográfica e nos ajustes dos mapas da área de interesse.

Na sequência foram identificadas e especializadas as áreas de interesse, APPs e as áreas suscetíveis a inundações. Para as APPs considerou-se neste estudo, a largura média de 150 metros para o rio Taquari no trecho estudado, enquadrando dessa forma dentro da categoria de cursos de água com largura entre 50 a 200 metros, que, de acordo com o Código Florestal, devem ter faixa de APP a partir da margem do leito regular equivalente a 100 metros, para cada uma das margens. Como a camada de entrada para geração do *buffer* foi o vetor do curso d'água, situado no centro do leito, foi necessário acrescentar 75 metros na distância do *buffer* para que os 100 metros fossem a partir da margem regular do leito e não do centro. Assim, no campo distancia foram preenchidos 175 metros.

Por fim, as áreas localizadas nos setores de risco de inundações cruzadas com as áreas APPs, gerando um mapa com o cruzamento de dados das duas áreas, para que seja feita uma análise integrada dos resultados, com o intuito de identificar e responder se há correlação em proteger as APPs pelo fato de serem também áreas de perigo permanente pelo mapa obtido. Cabe ressaltar que, os setores de risco são assim denominados pelo CPRM, e, este trabalho utiliza o termo “risco” somente para referenciar o trabalho da CPRM, tratando aqui, como suscetíveis as inundações.

A metodologia empregada nas etapas do trabalho segue de acordo com a cronologia aplicada, a fim de atender aos objetivos definidos na etapa de apresentação. A Figura 23 apresenta um fluxograma que representa, resumidamente, a metodologia do trabalho.

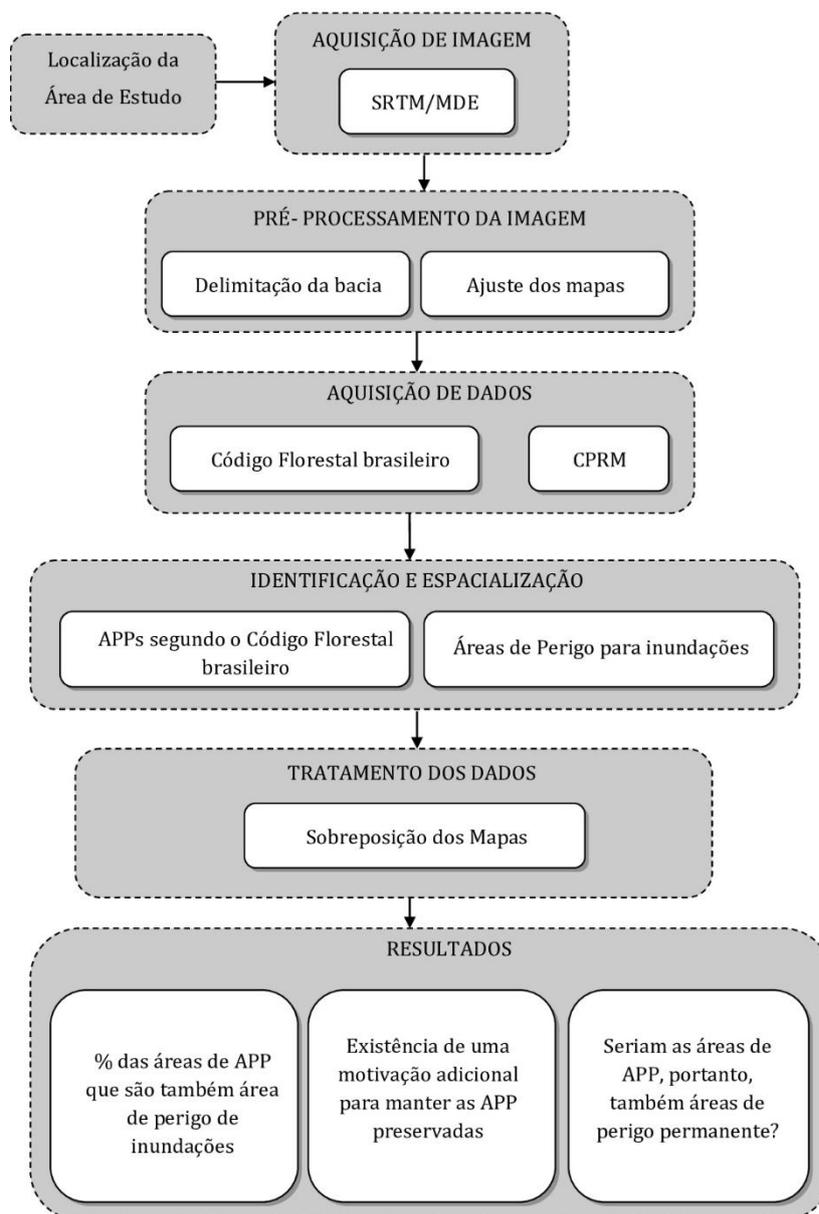


Figura 23: Fluxograma da metodologia do estudo

Fonte: Autora, 2021.

#### 4.1 Aquisição de Imagem

A etapa de aquisição de dados de imagem é necessária para o pré-processamento das informações e a delimitação da bacia. A base cartográfica vetorial contínua do RS utilizada foi organizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e, contém os elementos da altimetria, hidrografia, sistema viário, manchas urbanizadas e limite de Estado.

Para a geração das linhas de drenagem e delimitação das sub-bacias se utilizou os modelos digital de elevação MDE/SRTM que foi analisado e comparado com a base cartográfica vetorial contínua do estado do Rio Grande do Sul, proveniente de 462 cartas topográficas na escala 1:50.000 da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) do Exército Brasileiro. Estas cartas foram digitalizadas ao longo de 10 anos de forma não uniforme, e apenas em 2009 foram digitalizadas na sua totalidade.

O modelo digital de elevação SRTM possui aproximadamente 90 metros de resolução espacial, tendo sido gerado por interferometria de radar através da missão do ônibus espacial de topografia por radar da NASA (*Shuttle Radar Topography Mission*). O mosaico com o modelo digital de elevação do RS é disponibilizado pelo Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia da UFRGS (WEBER et al., 2004), onde seu processamento envolveu o preenchimento de falhas existentes nos dados originais através de interpolação e conversão para valores inteiros, o MDE é disponibilizado no sistema de referência ao datum SAD69 (*South American Datum*; Sistema Geodésico Regional para a América do Sul).

Todos os dados espaciais digitais vetorizados, apresentados por Hasenack e Weber (2010), utilizados no trabalho, encontram-se referenciados ao SIRGAS2000, (Referência Geocêntrico para as Américas, realização 2000) no sistema de projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM) e disponibilizados pelo LABGEO. Para viabilizar o estudo, os MDE estudados foram convertidos do sistema de referência espacial original para o sistema de referência SIRGAS2000 e armazenados no formato *shapefile*, que é o sistema geodésico de referência legalizado no país (BRASIL, 2005).

## **4.2 Pré-Processamento de Imagem**

Para realizar o presente estudo, foi utilizado o programa *ArcGIS 10.1Pro* para a delimitação da bacia e geração das linhas de drenagem. No que tange a delimitação da bacia hidrográfica, foi necessária uma sucessão de etapas automatizadas no *software*, baseados nas características das extensões aplicadas. Foi utilizado o MDE elaborado pelo SRTM e extraído do Centro de Ecologia da UFRGS para a delimitação da bacia. Em seguida, ocorreu a extração da drenagem a partir deste MDE, executada através da ferramenta *Spatial Analyst Tools* incluída no aplicativo *ArcMap* do ArcGis.

Neste processo foram gerados mapas de direção de fluxo acumulado e drenagem, e, finalmente se realizou a delimitação da bacia a partir da escolha de um ponto de exutório na rede de drenagem gerada.

## **4.3 Aquisição de dados Específicos**

Para esta pesquisa, utilizou-se a camada vetorial do mapeamento de suscetibilidade a inundação elaborada e disponibilizada pelo CPRM, que delimitou as zonas de risco das áreas suscetíveis às inundações e aos movimentos de massa na bacia do Taquari. Estas delimitações, em formato vetorial e escala de 1:1.000 a 1:2.000, são áreas setorizadas de risco hidrológico e, foram desenvolvidas em parceria com a Defesa Civil municipal. Segundo o CPRM (2015), esse estudo foi realizado exclusivamente para regiões onde existem edificações nas quais há permanência humana, como casas, edifícios, hospitais, escolas, estabelecimentos comerciais, dentre outros.

As Áreas de APP foram estabelecidas conforme o atual Código Florestal brasileiro. Considerou-se, neste estudo, a largura média de 150 metros para o rio Taquari no trecho estudado, enquadrando-se dessa forma dentro da categoria de cursos de água com largura entre 50 e 200 metros, que, de acordo com o Código Florestal, devem ter faixa de APP a partir da margem do leito regular equivalente a 100 metros, para cada uma das margens.

## **4.4 Identificação e Espacialização das Áreas**

A identificação das áreas de interesse (APP conforme Código Florestal e Área inundável) foram processadas no software QGIS versão 2.18.12. Para delimitação da APP foi utilizada a rotina de acordo mostra a Figura 24. O limite da bacia foi obtido a partir de desenho vetorial, seguindo-se o divisor de águas do relevo baseado nas curvas de nível. Para obter os mapas de distância de 100 metros de APP, foi utilizada a ferramenta “*buffer*”

sobre as linhas da hidrografia. Essa ferramenta cria um polígono com uma distância específica no entorno do elemento selecionado. A partir desse mapa, o cálculo da área de APP pôde ser realizado.

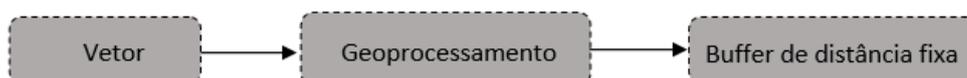


Figura 24: Rotina utilizada para delimitação da APP

Para as zonas de risco das áreas suscetíveis às inundações e aos movimentos de massa se realizou o *download* dos produtos disponíveis referente aos municípios que compõem a bacia hidrográfica do rio Taquari, sendo eles: Arroio do Meio, Cruzeiro do Sul, Encantado, Estrela, Lajeado, Muçum e Teutônia, sendo em sua maioria cidades às margens do rio.

#### 4.5 Tratamento dos Dados

NA fase de tratamento de dados, as áreas de APPs do rio conforme a Lei nº 12.651 de 2012, Art. 4 Parágrafo I do Código Florestal Brasileiro vigente as APPs são áreas que devem ser preservadas de desmatamento e poluição, variando de tamanho conforme a medida da largura entre as margens do rio. Sendo assim, os cursos de água com largura média de 150m deve-se proteger no mínimo 100 metros ao redor da margem. A Figura 25 mostra o mapa da área de APP em tom de verde e o rio em azul.

## APP da Bacia do Rio Taquari

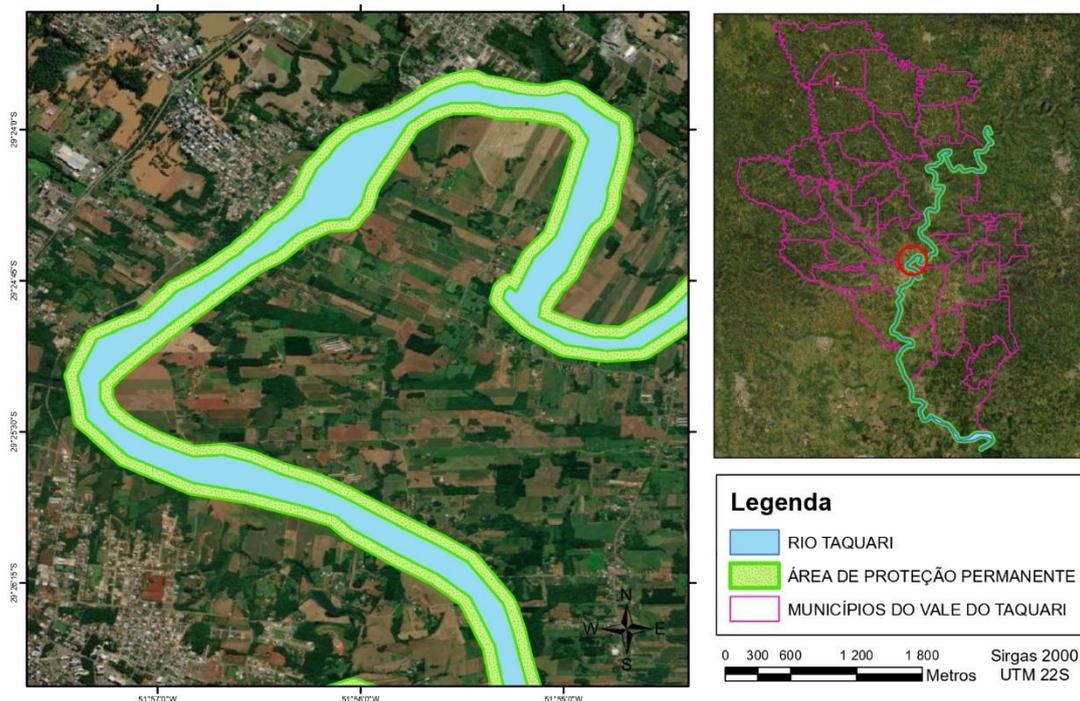


Figura 25: APP da Bacia do Rio Taquari

Fonte: Autora

O layer criado para delimitação das APPs de 100m criou uma área de 36,28km<sup>2</sup> de preservação, além de 3 ilhas encontradas ao longo do curso do rio, que somadas geram uma área de 3,07km<sup>2</sup>, totalizando assim em 39,35km<sup>2</sup> de áreas e APPs. Na Tabela 7 estão sintetizados dos valores encontrados.

Tabela 7: Total de APP na Bacia do Rio Taquari

Layer	Área (km <sup>2</sup> )
Ilha 1	0,20
Ilha 2	0,06
Ilha 3	2,81
APP	36,28
TOTAL	39,35

Fonte: Autora, 2021

Os setores de risco suscetíveis às inundações dos municípios apresentam mapas resultantes do trabalho emergencial disponibilizado em caráter primário às Defesas Civis de cada município e os dados finais alimentam o banco nacional de dados do CEMADEN ligado ao Ministério de Ciência e Tecnologia, que é o órgão responsável pelos alertas de ocorrências de eventos climáticos de maior magnitude que possam colocar em risco vidas humanas, e do CENAD ligado ao Ministério da Integração Nacional, que como algumas de suas atribuições, inclui o monitoramento, a previsão, prevenção, preparação, mitigação e resposta aos desastres, além de difundir os alertas nos estados e municípios.

As áreas de risco dos municípios foram divididas e a especializadas de acordo trabalho realizado em campo. Segundo relatório da CPRM (2016), o município de Arroio do Meio apresenta 10 setores de risco com tipologia de inundação, conforme ilustrado na Figura 26.



Figura 26: Setores de risco à inundação no município de Arroio do Meio/RS  
Fonte: CPRM, 2016

De acordo com o levantamento realizado pela CPRM (2013), o município de Cruzeiro do Sul apresenta 09 setores de risco suscetíveis à inundação, de acordo com Figura 27, com 816 casas em risco, totalizando em 3264 pessoas em risco.

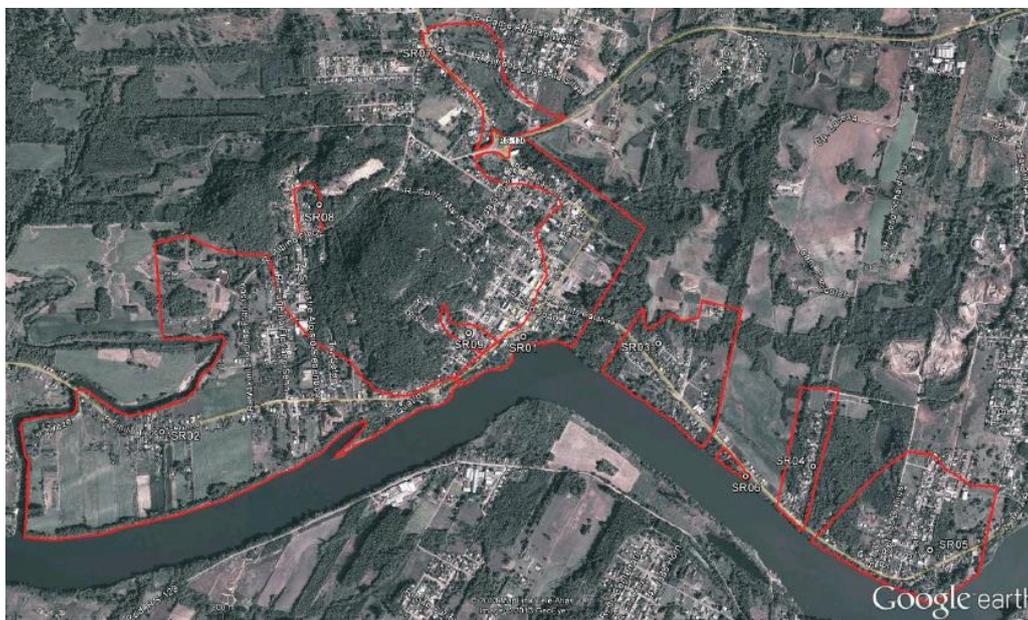


Figura 27: Setores de risco à inundação no município de Cruzeiro do Sul/RS  
Fonte: CPRM, 2013

Em vista ao relatório da CPRM (2019) o município de Encantado apresenta 14 áreas de risco de inundação, afetando diretamente 1045 imóveis e 4180 pessoas, conforme ilustra a Figura 28 .



Figura 28: Setores de risco à inundação no município de Encantado/RS  
Fonte: CPRM, 2019

Segundo relatório da CPRM (2020), o município de Estrela apresenta 15 setores de risco com tipologia de inundação, conforme ilustrado na Figura 26.

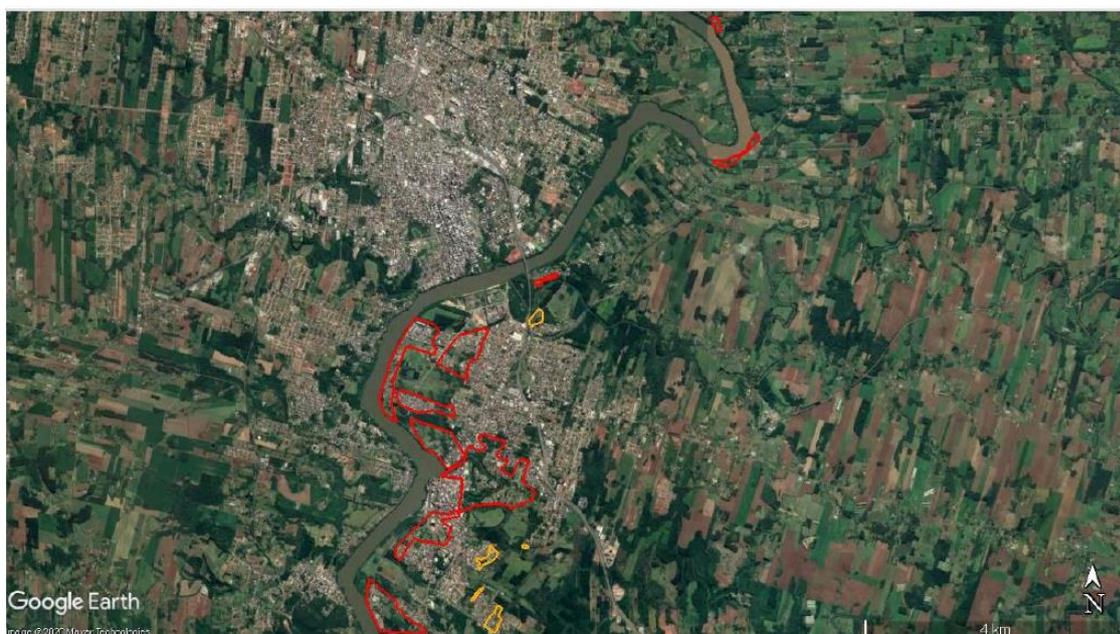


Figura 29: Setores de risco à inundação no município de Estrela/RS  
Fonte: CPRM, 2020

O município de Lajeado, apresenta, segundo o relatório do CPRM (2013) e plotado na Figura 30, 08 setores de risco, com 831 casas em risco e 3324 pessoas afetadas.



Figura 30: Setores de risco à inundação no município de Lajeado/RS  
Fonte: CPRM, 2013

O município de Muçum possui 09 setores de risco suscetíveis à inundação, de acordo com o levantamento realizado pela CPRM (2015), vide Figura 31.

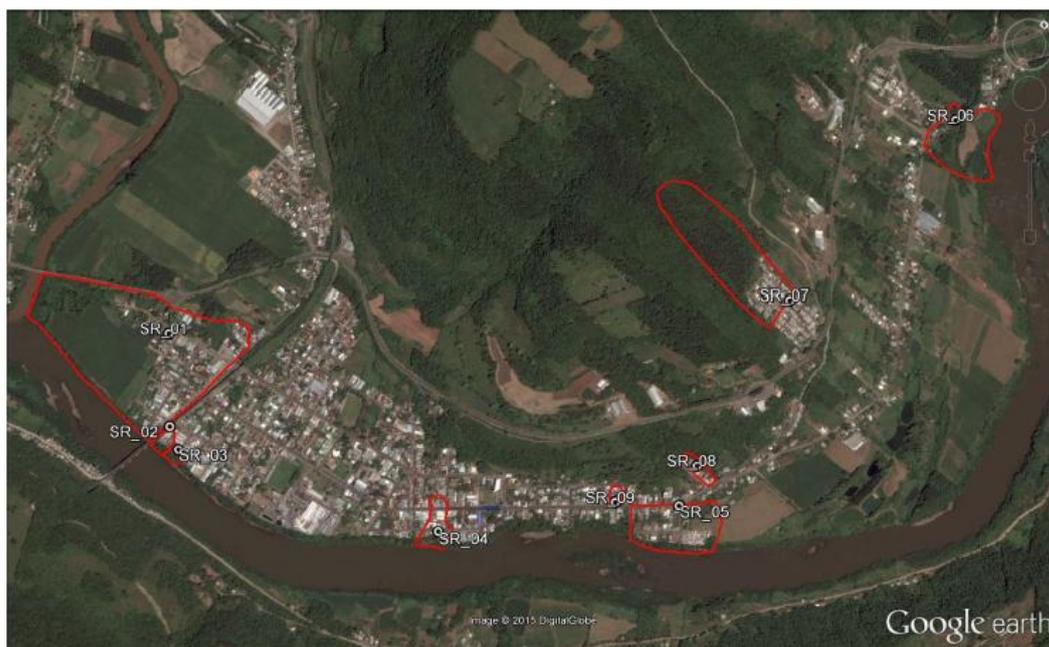


Figura 31: Setores de risco à inundação no município de Muçum/RS

Fonte: CPRM, 2018

De acordo com o levantamento realizado pela CPRM (2013), o município de Teutônia, na parte, apresenta 09 setores de risco suscetíveis à inundação, de acordo com a Figura 32, com 816 casas em risco, totalizando em 3264 pessoas em risco.

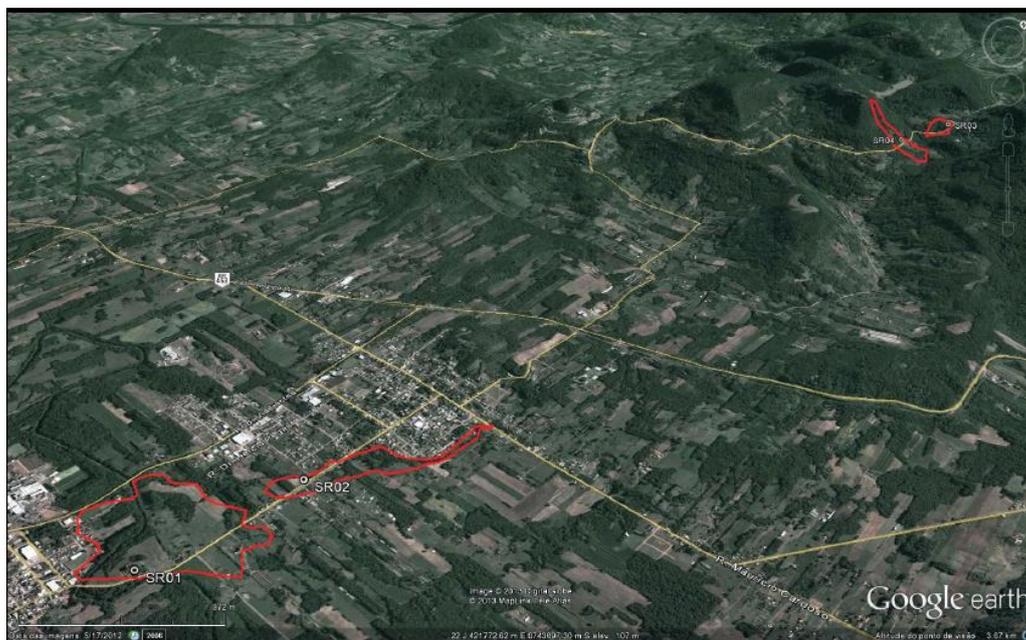


Figura 32: Setores de risco à inundação no município de Teutônia/RS

Fonte: CPRM, 2020

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 Análise da imagem das Áreas de Proteção Permanente**

Atualmente as APPs da bacia hidrográfica do rio Taquari compreendem 39.4km<sup>2</sup>, ao longo do comprimento do rio de 165,27km, representando cerca de 3% (38,6km<sup>2</sup>) de áreas municipais a serem legalmente protegidas. Essas áreas pertencem às categorias protegidas pela presença de hidrografia (qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros). A maior parte das APPs de curso hídrico do rio Taquari estão ocupadas por mata ciliar preservada, representando 5,53km<sup>2</sup> de área, além disso, possui uma parte da ocupação tipificado por campos, caracterizada por uma vegetação de baixo à médio porte, de forma que essas áreas cumprem parcialmente as funções esperadas de uma área de proteção permanente.

### **5.2 Áreas de Perigo Permanente**

Os mapas resultantes nesse trabalho, executados pelo CPRM, disponibilizados em caráter primário às Defesas Civas de cada município e os dados finais alimentam o banco nacional de dados do CEMADEN e do CENAD incluem o monitoramento, a previsão, prevenção, preparação, mitigação e resposta aos desastres, além de difundir os alertas nos municípios brasileiros. A seguir serão apresentados os mapas dos municípios que margeiam o rio Taquari de forma a estudá-los e que sirvam de base para a etapa de integralidade dos mapas.

A ocupação urbana e rural em setores de risco no município de Arroio do Meio apresentou uma área de 836,7m<sup>2</sup>, o que representa 2,2% da área total de APP do rio Taquari. De acordo com o Figura 33, a cidade apresenta 10 setores de risco identificados, 2 deles estão relacionados com ao enchimento e extravasamento do rio Taquari (setor 2 e 3), os 8 restantes são ocasionados pelo represamento do fluxo natural do rio, onde gera o e extravasando para os centros urbanos. De modo geral, a população que ocupa estas áreas de risco apresenta moderada a alta vulnerabilidade frente ao processo de inundação.



Figura 33: Área dos Setores de Risco na cidade de Arroio do Meio

Fonte: Autora, 2021

Na cidade de Arroio do Meio, o setor 3 é o setor mais suscetível ao risco, onde as residências localizadas às margens do rio Taquari apresentam a maior vulnerabilidade frente ao processo de inundação. De acordo com o CPRM (2016), atualmente aproximadamente 5 % da população total do município, um número equivalente a 916 pessoas, encontra-se em áreas de risco alto e muito alto aos processos descritos.

O município de Cruzeiro do Sul é o terceiro em maior área territorial com setores de risco. O município teve sua ocupação urbana sobre as planícies aluviais do rio Taquari. As áreas de risco totalizam em 2156,4m<sup>2</sup>, com representativo de 5,5% da área total de APP do rio Taquari. Conforme ilustrado na Figura 34, a cidade possui uma grande área de setorização de risco (setor 2) frente as demais áreas, no entanto, o setor 2 não representa a área com maior quantidade de pessoas em risco, por ser uma grande área de campos para cultivo.

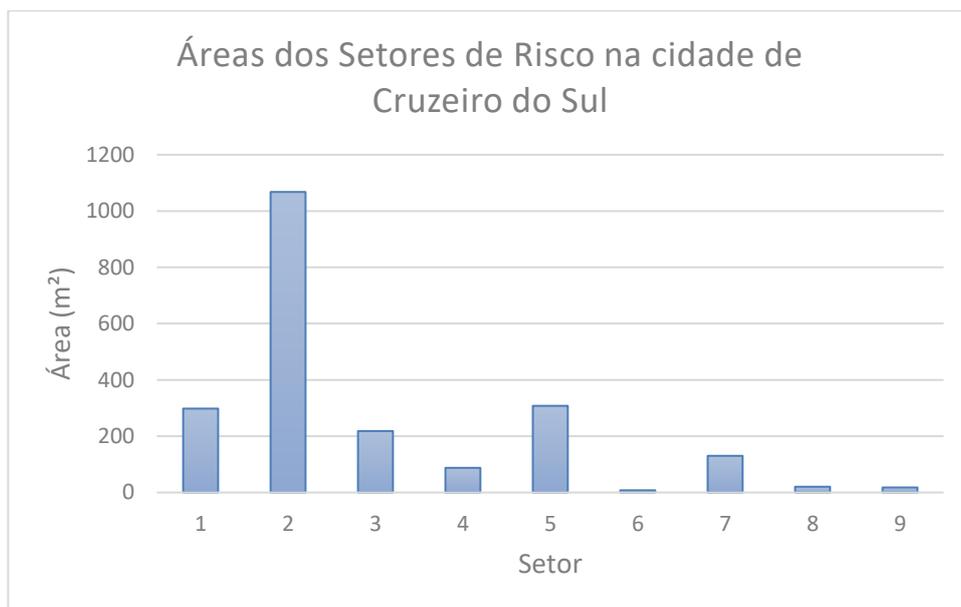


Figura 34: Área dos Setores de Risco na cidade de Cruzeiro do Sul

Fonte: Autora, 2021

A ocupação urbana no município de Encantado ocorreu inicialmente sobre a planície de inundação do rio Taquari, área naturalmente suscetível a processos de inundação. Desta forma, ao longo dos anos foram inúmeros os eventos de inundação registrados no município. Encantado registra 14 setores de risco mapeados que apresentaram risco alto ou muito alto das áreas de encostas dos planaltos dissecados que formam o seu relevo. De acordo com o Figura 35 ilustrada, o setor 9 é o que apresenta a área mais representativa, em torno de 340,9m<sup>2</sup>. Na quantificação total, apenas 1,9% das áreas de risco de Encantado se encontram em áreas de APP.

Conforme relatado pela defesa Civil municipal a ocupação apresenta, no geral, alta vulnerabilidade aos eventos de inundação, além da necessidade de remoção das pessoas e de bens das residências (CPRM, 2019), impactando diretamente 19% da população municipal.

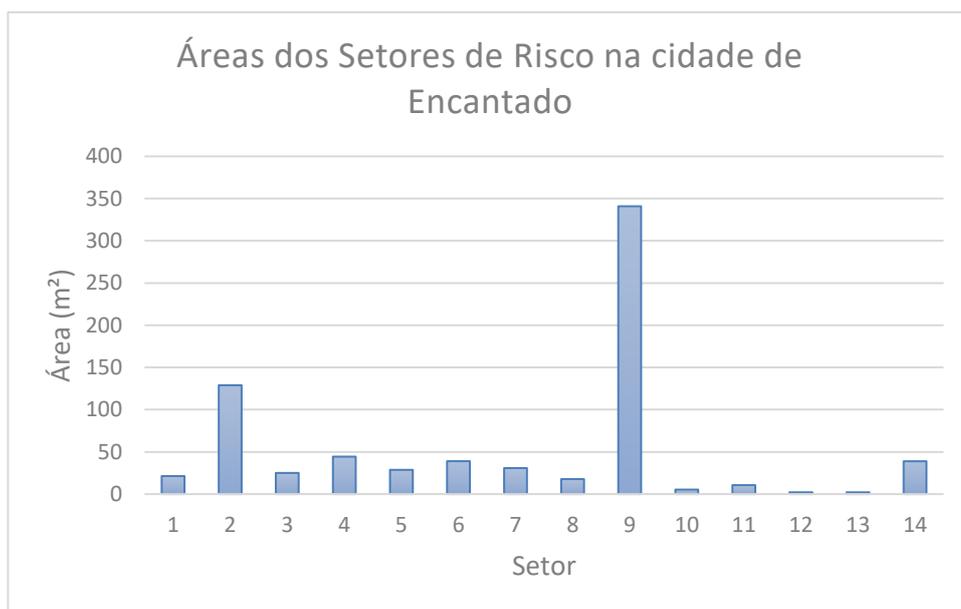


Figura 35:Área dos Setores de Risco na cidade de Encantado

Fonte: Autora, 2021

A cidade de Estrela apresentou o maior número de setores de risco e o segundo com maior quantitativo de área de risco. Os quinze setores são classificados com alto e muito alto risco da área urbana do município. Na Figura 36 podemos verificar que a área que apresenta maior representatividade é do setor 7, mas que se caracteriza como uma área de vasta vegetação e que não representa a maior quantidade de pessoas atingidas. As áreas de risco de Estrela representam 7,3% das áreas totais de APP da cidade.

Estrela estabeleceu sua ocupação de forma desordenada ao longo dos anos, ocupando áreas aplainadas imediatamente próximas as planícies de inundação do rio Taquari. Logo, quando em situações de grandes precipitações na bacia ou chuvas estacionárias, são relatados processos de inundações, principalmente nas áreas centrais do município. De acordo com a Defesa Civil municipal de Estrela (2020), um agravante reconhecido é o efeito remanso produzido aos afluentes: arroio do Boa Vista e Estrela que podem agravar eventos de inundações.



Figura 36: Área dos Setores de Risco na cidade de Estrela

Fonte: Autora, 2021

O município de Lajeado situado na margem direita do rio Taquari, onde as inundações ocorrem de origem natural e de forma periódica, causando diversos impactos e prejuízo, possui a maior representatividade econômica e populacional do Vale do Taquari. Em Lajeado, o nível de referência do rio Taquari corresponde à altitude de 12,30 m. Para que ocorram inundações, é necessária uma elevação mínima das águas do rio Taquari em 7 m, ou seja, que supere a altitude de 19 m (ECKHARDT, 2008).

O estudo identificou uma área setorizada total de 2959,3m<sup>2</sup>, representando 7,5% da área em APP, tangendo como maior representação de área em APP de todos os municípios avaliados neste trabalho. O setor 5 com maior representatividade espacial (Figura 37), possui ocupação variada, entre campos de cultivo, áreas de vegetação e uma pequena parcela de ocupação urbana às margens do rio Taquari.

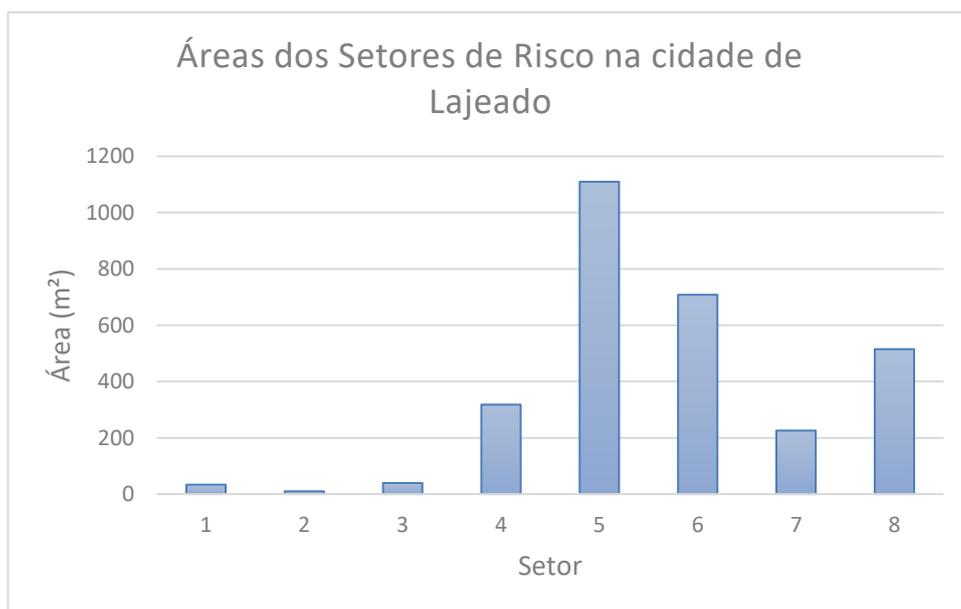


Figura 37:Área dos Setores de Risco na cidade de Lajeado

Fonte: Autora, 2021

O município de Muçum é o município com menor número populacional elencados neste trabalho. As 9 áreas de risco categorizadas são de alto risco para assolamento de casas e da população em risco. Dos setores de risco do município, 1,30% dessas áreas representam também áreas de APP do rio Taquari. Além disso, Muçum apresenta o maior índice de pessoas atingidas deste estudo, com cerca de 27% da população da cidade habitando estas áreas de risco, de acordo com dados populacionais do IBGE (2010).

Conforme demonstrado na Figura 38, o setor 1 apresenta a maior área de risco e, também, o maior percentual de pessoas e casas atingidas, por se tratar do centro da cidade de Muçum.

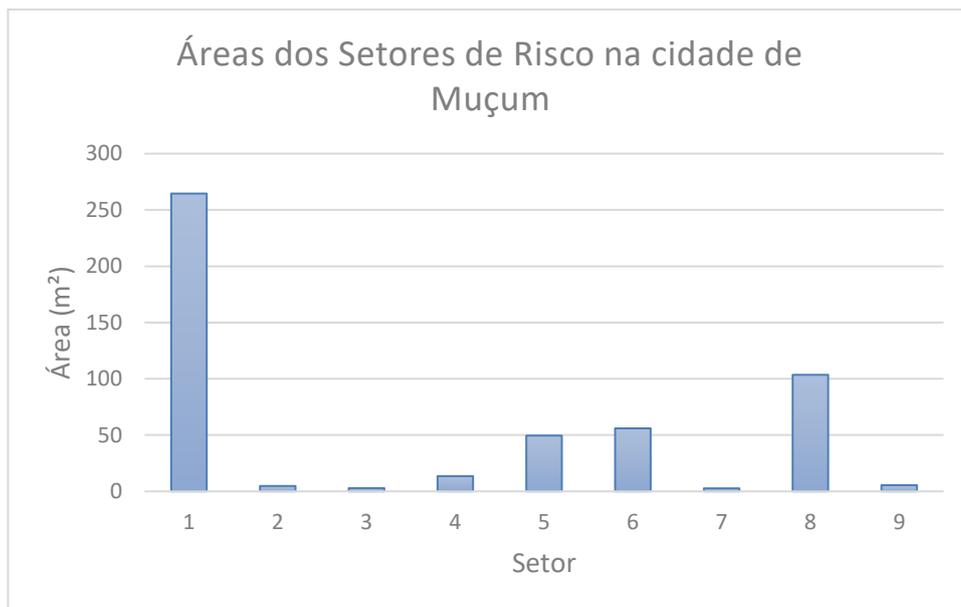


Figura 38:Área dos Setores de Risco na cidade de Muçum

Fonte: Autora, 2021

### 5.3 Análise Integrada das áreas atingidas

Nesta análise, foram considerados os resultados obtidos nos mapas de APP da Bacia do rio Taquari, juntamente com os mapas de risco hidrológico das cidades em estudo, de forma que, quando sobrepostos estes mapas, geram áreas coincidentes entre si. Estas áreas coincidentes representam também a existência ou não de uma motivação adicional para manter as APPs preservadas também em função de perigo de inundação, podendo ainda se caracterizar como áreas de perigo permanente.

Para a quantificação da área dos mapas sobrepostos, gerou-se um *shapefile* das áreas que convergiam, para então utilizar a calculadora de valores da tabela de atributos para quantificar estes valores e, posteriormente exportar estes dados para serem tratados no Excel. Moreira e colaboradores (2015) afirmam que mesmo sendo um processo mais demorado e trabalhoso, os resultados utilizando esse método são precisos.

Com a metodologia aplicada utilizando ferramentas de geoprocessamento, permitiram identificar e mapear a distribuição espacial das seis áreas integradas atingidas. Em relação aos resultados obtidos nestas áreas, de imediato afirma-se que, em sua totalidade, elas apresentam alguma sobreposição de área a ser preservada.

O município de Encantado apresenta as áreas de risco distribuídas ao longo da mancha urbana às margens do rio Taquari. Dos setores de risco mapeados e sobrepostos às áreas de APP, conforme Figura 39, pôde-se concluir que 12,98% das áreas conflitam, ou seja, 95,57m<sup>2</sup> da área pode ser considerada como áreas permanente de preservação bem como área de risco.

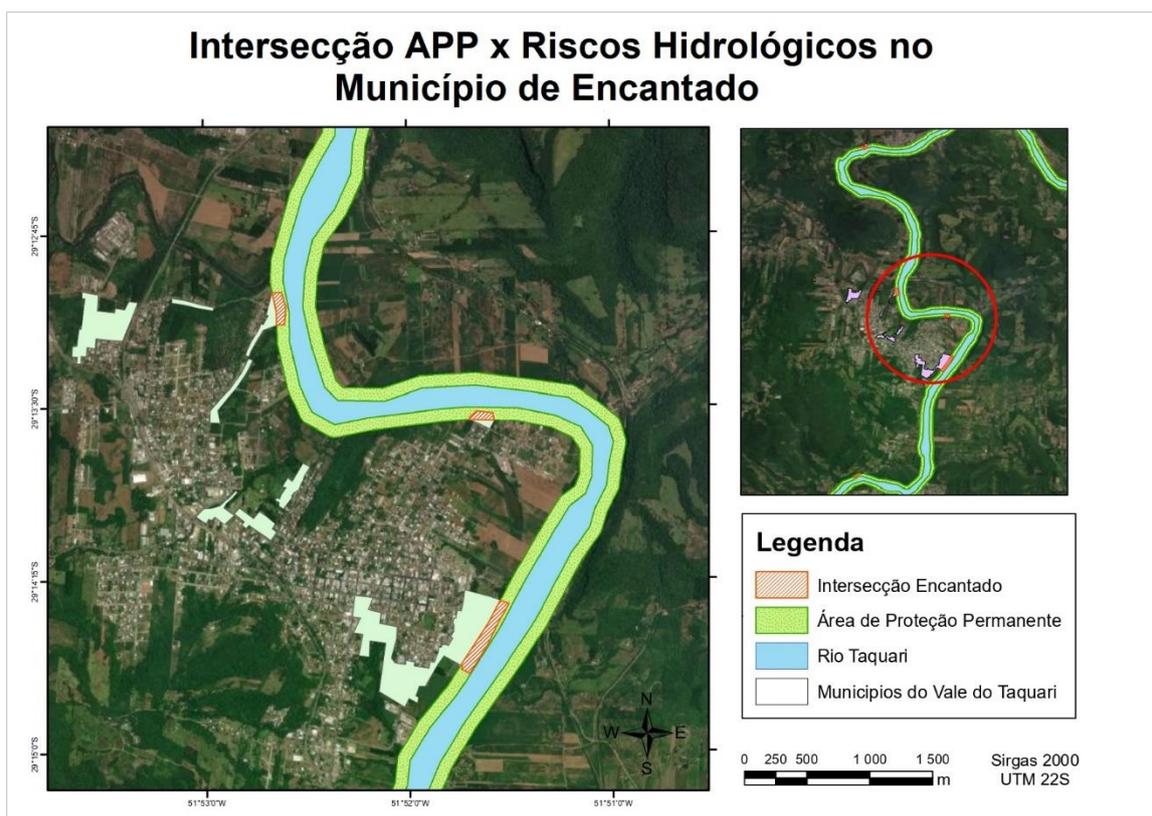


Figura 39: Intersecção APPxRisco Hidrológico em Encantado

Fonte: Autora, 2021.

A cidade de Arroio do Meio apresentou intersecção de áreas em dois setores (Figura 40). Em porcentagens de área de APP que também é área de perigo para inundação, a cidade de Arroio do Meio apresenta 2,10%, totalizando em 17,4m<sup>2</sup> respectivamente. Isso dito, concluímos que esta cidade apresenta motivação adicional fundamentada para manter as APPs preservadas também em função de perigo de inundação que atinge a cidade.

## Intersecção APP x Riscos Hidrológicos no Município de Arroio do Meio

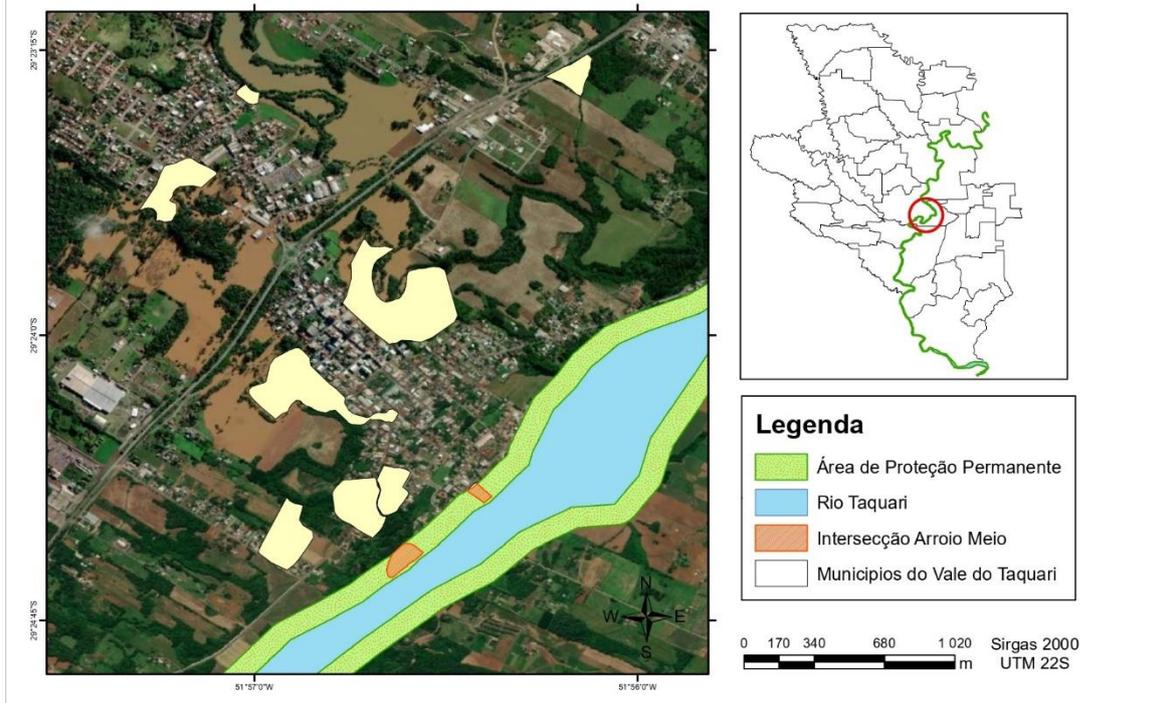


Figura 40: Intersecção APPxRisco Hidrológico em Arroio do Meio

Fonte: Autora, 2021.

Conforme retratado na Figura 41, a cidade de Cruzeiro do Sul foi a que apresentou maior representatividade de sobreposição. Todos os setores de risco hidrológicos delimitados apresentaram intersecção com a área de APP, num equivalente de 16,9%, ou seja, 363,8m<sup>2</sup> de área que deve ser preservada para evitar riscos à população.

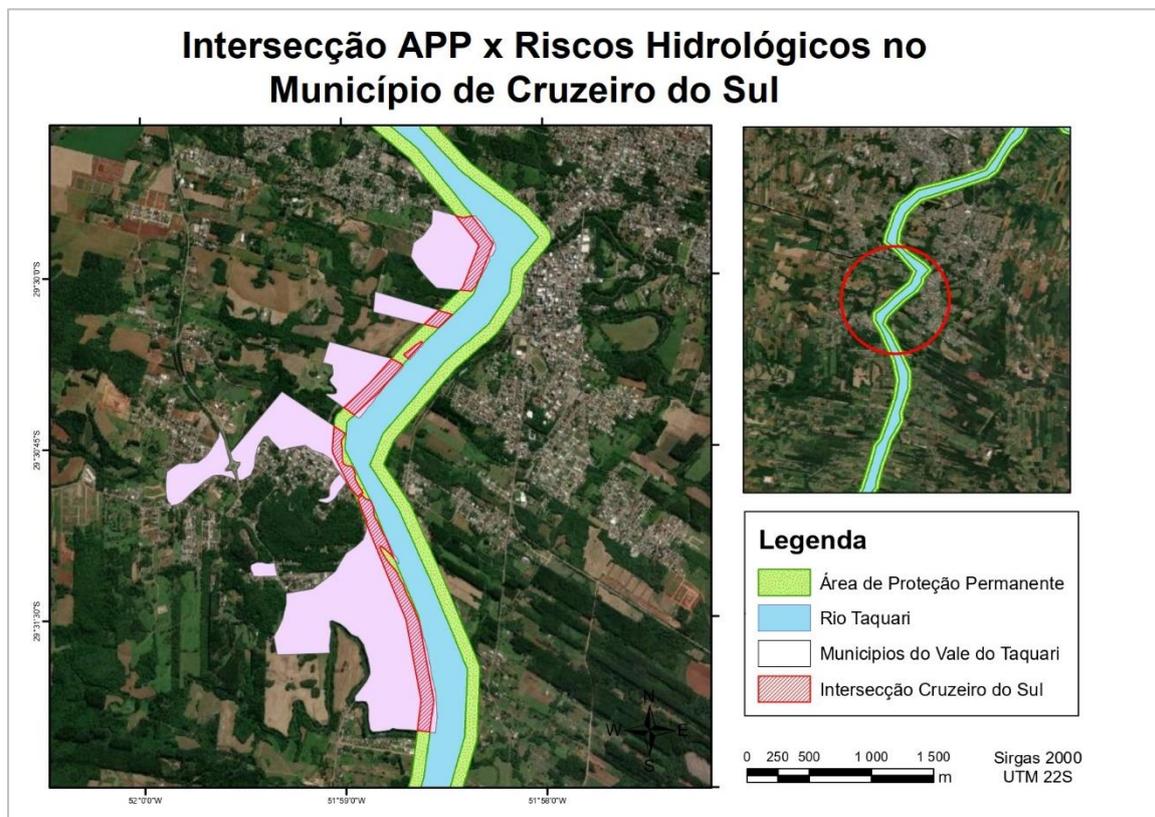


Figura 41: Intersecção APP x Risco Hidrológico Cruzeiro do Sul

Fonte: Autora, 2021.

O município de Estrela registrou grandes cheias ao longo da última década, a região central da cidade sofre grandes consequências nos períodos de cheias do rio Taquari. Diante disso, constata-se a necessidade de preservar as áreas ribeirinhas de curso de água aquém da motivação por ser uma APP, onde 9,65% dessas áreas também representam áreas de risco para a cidade, conforme Figura 42.

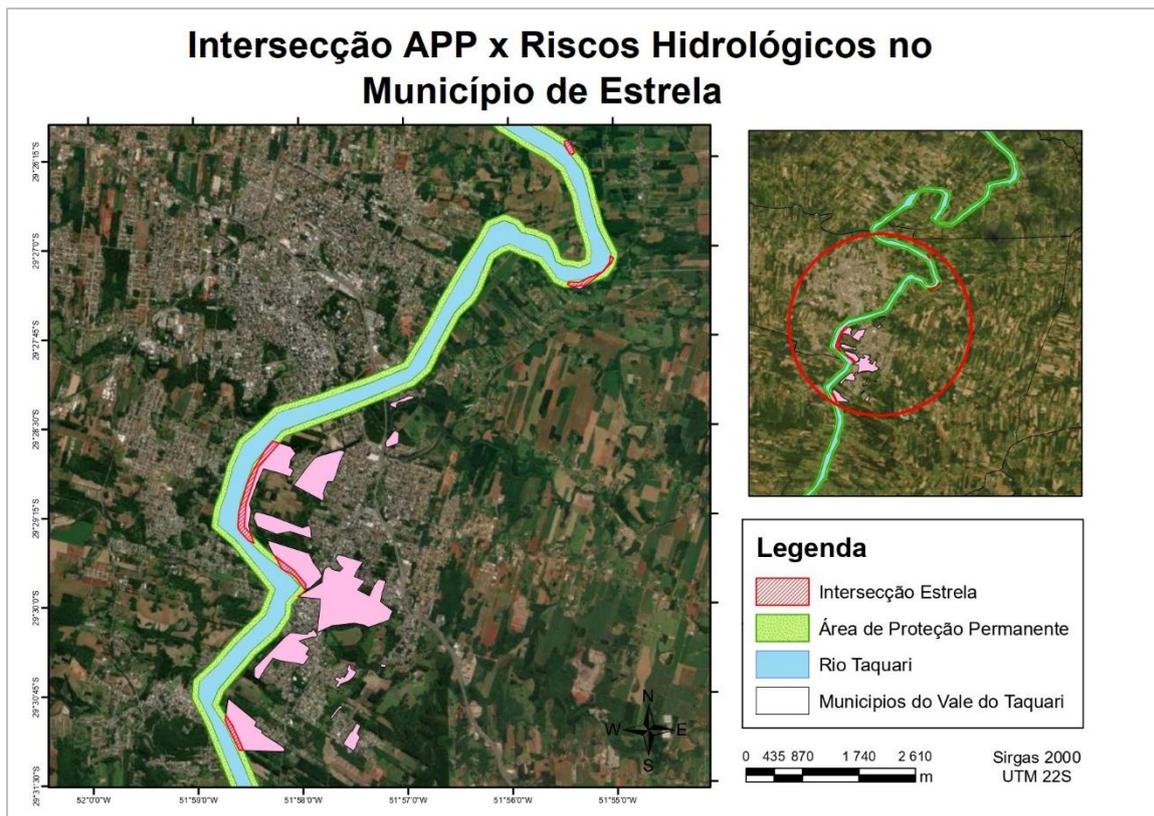


Figura 42: Intersecção APP x Risco Hidrológico em Estrela

Fonte: Autora, 2021.

Na cidade de Lajeado, o nível de referência do Rio Taquari corresponde à altitude de 12,30m. Para a ocorrência de inundações no referido município, é necessária uma elevação mínima das águas do Rio Taquari em 7m, ou seja, que o Rio Taquari supere a altitude de 19 m. A área máxima atingida pelas inundações no município de Lajeado é igual a 10,36 km<sup>2</sup>, considerando como nível máximo de inundação o nível altimétrico de 30 m. A área de inundação de 10,36 km<sup>2</sup> corresponde a 11,50% da área total do município de Lajeado, que totaliza 90,08 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010).

Dentre as cidades estudadas, Lajeado apresenta a maior quantidade de áreas de risco dentro da APP, representando 7,52% de intersecção dessas áreas. Ao analisar as áreas de risco hidrológico sobrepostas às áreas de APP, se conclui a partir do mapa da Figura 43 que a cidade de Lajeado apresenta 16,4% de áreas justapostas, equivalente a 483,3m<sup>2</sup> há serem mantidas preservadas pela dupla motivação.

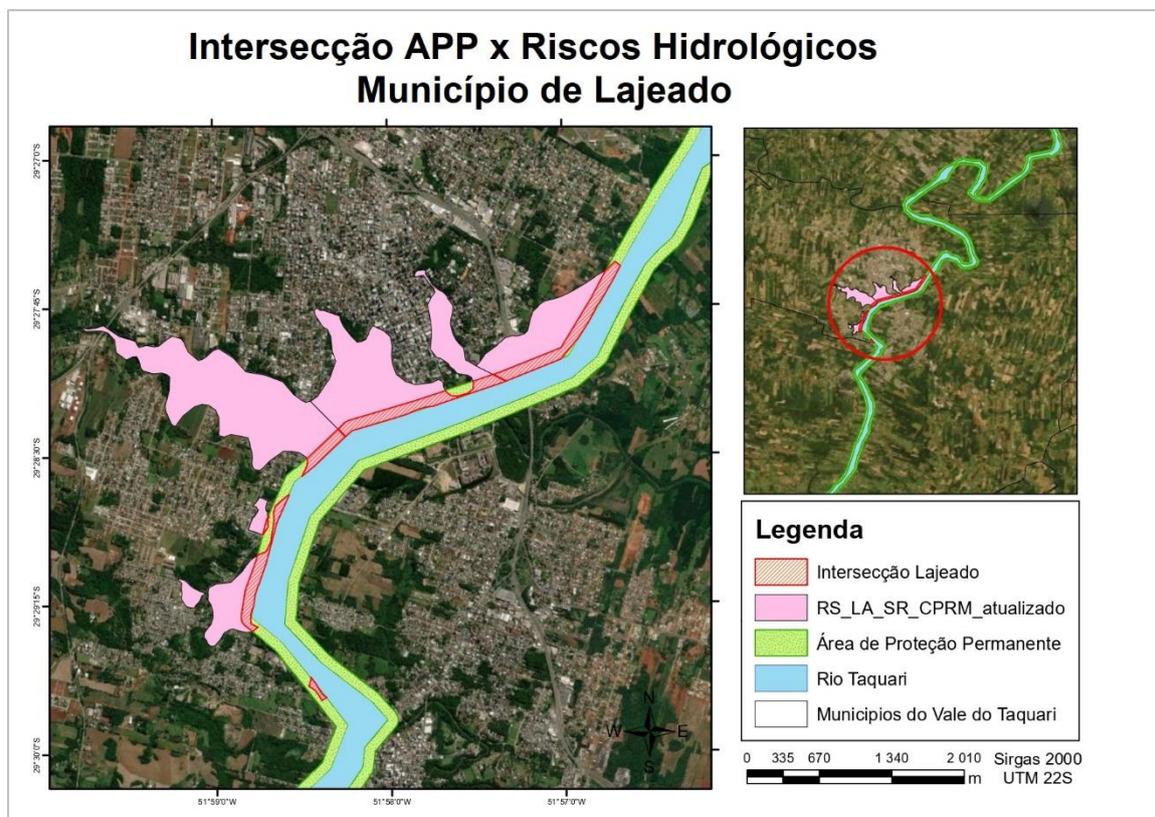


Figura 43: Intersecção APP x Risco Hidrológico em Lajeado

Fonte: Autora, 2021

O município de Muçum resultou nos maiores percentuais de intersecção de APPs com as áreas de risco hidrológico, mesmo que a cidade apresente a menor área de risco, a sobreposição dos mapas foi de 24,2%, que representa 121,9m<sup>2</sup> de área. A Figura 44 corrobora estes resultados.

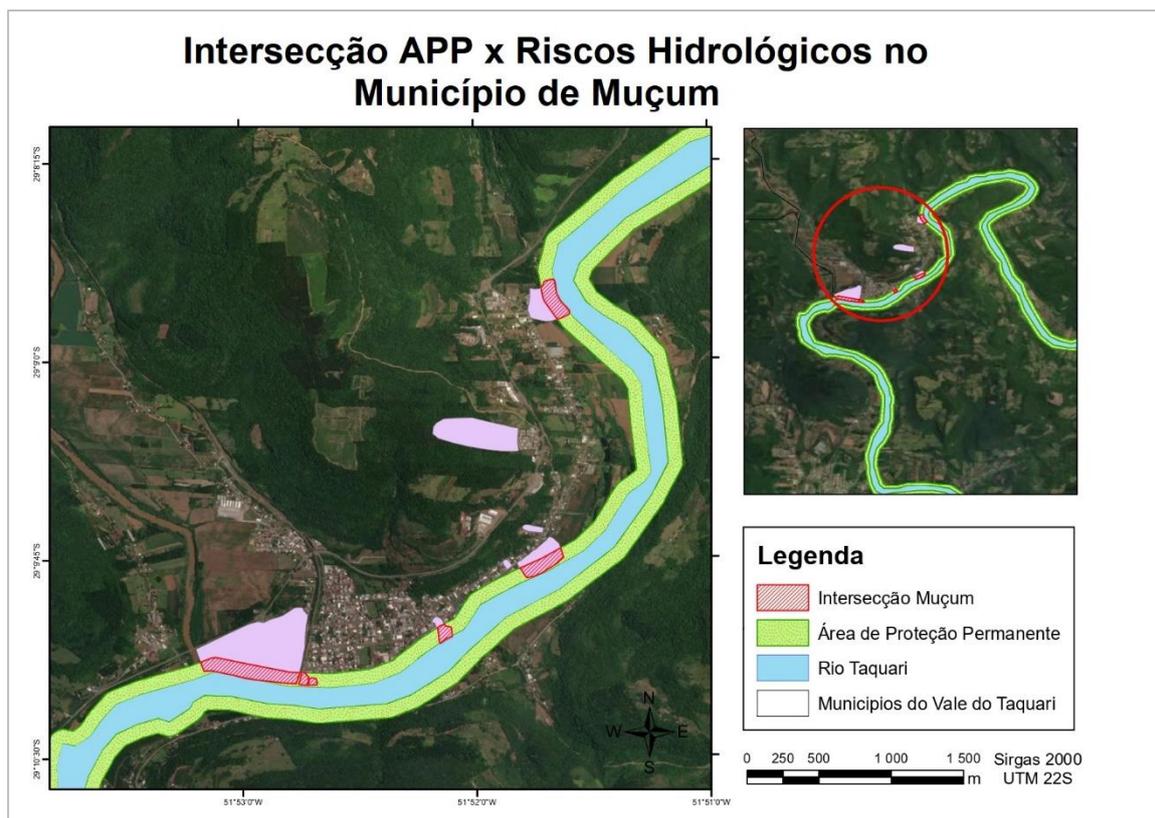


Figura 44: Intersecção APP x Riscos Hidrológico de Muçum

Fonte: Autora, 2021

Após realizadas as sobreposições, podemos notar que existe uma considerável parte da ocupação não totalmente condizente com o exposto na Lei 12.651/12, considerando as análises primárias realizadas neste trabalho. A conclusão obtida exprime que, as áreas que se podem considerar de risco hidrológico para a população, devido às inundações, e que são consideradas áreas de APP devido às faixas marginais de curso d'água, são de aproximadamente 1354,9m<sup>2</sup>, correspondendo a 3% de toda a APP da bacia hidrográfica do rio Taquari.

Na Tabela 8 e a Figura 45 estão sintetizados os resultados obtidos em cada cidade que margeia o rio Taquari. Pode-se verificar que, apesar de algumas cidades apresentarem um percentual baixo desta sobreposição das áreas de APP com as áreas de risco, todas apresentaram um incentivo adicional para manter as APPs preservadas também em função de perigo de inundação. Portanto, áreas que apresentaram esta sobreposição também podem ser consideradas áreas de perigo permanente para inundações.

Tabela 8: Resultado da Sobreposição das APP x Áreas de Risco Hidrológico

Município	Área de APP e Risco Hidrológico(m <sup>2</sup> )	% das áreas de APPs que são também área de perigo de inundação
Encantado	95,57	12,98%
Arroio do Meio	17,38	2,08%
Cruzeiro do Sul	362,80	16,82%
Estrela	274,04	9,65%
Lajeado	483,30	16,33%
Muçum	121,78	24,21%
Total	1354,87	82,08%

Fonte: Autora, 2021.

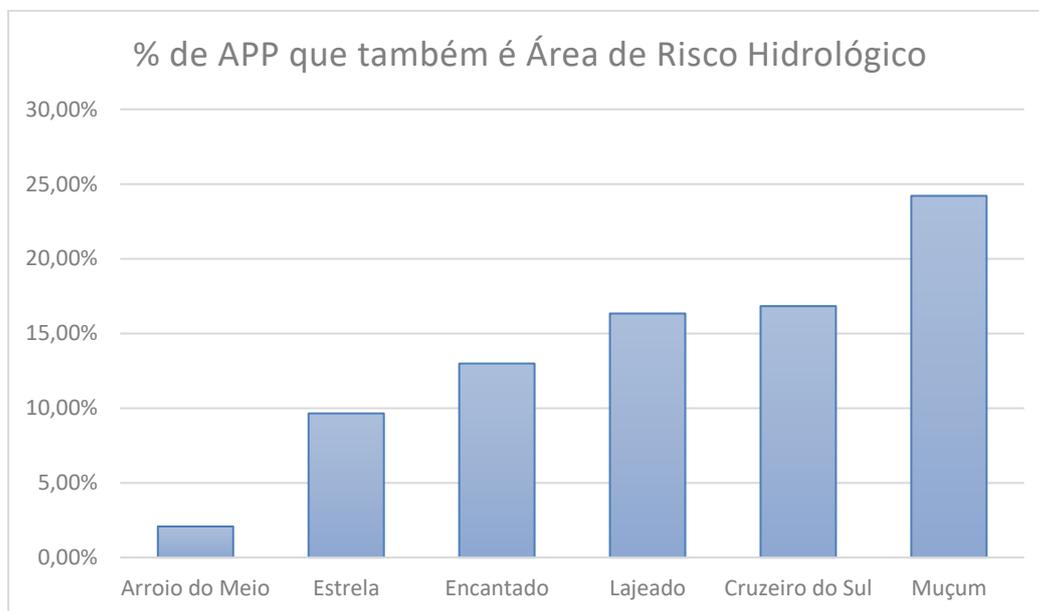


Figura 45: % de APP que também é Área de Risco Hidrológico

Fonte: Autora, 2021.

Nos mapas apresentados verifica-se que a área de abrangência desses desastres concentra-se em maior proporção nos extremos da Bacia Hidrográfica do rio Taquari (Muçum e Cruzeiro do Sul), cuja colonização destas áreas se deu sobre várzeas do rio, uma área naturalmente propícia à inundação. Sendo assim, podemos ressaltar que a ocupação destas áreas agrava a situação de risco, pois as áreas de várzea se caracterizam por serem planícies de inundação dos rios, e devem ser mantidas preservadas, a fim de garantir o equilíbrio ecológico e a segurança da população.

## **5.4 Discussão dos Impactos Ambientais**

### **5.4.1 Impacto no Meio Físico**

Dentre os prejuízos do meio físico mais impactantes nas áreas de APP e de risco de inundação, podemos destacar a perda de matéria orgânica e de nutrientes, tornando as áreas de encosta do rio impermeáveis, comprometendo a tentativa de resiliência e de continuidade da vegetação, posto que, segundo a legislação ambiental vigente, estas áreas de proteção deveriam estar cobertas por vegetação, independentemente de estar constituída ou não de vegetação nativa.

Manter a preservação de área de APP das cidades estudadas é diminuir a ocorrência de erosão e perda de solo, evitar o aumento do nível de turbidez da água, causado pelo fluxo de rejeitos e detritos e pela erosão do solo e evitar danos na qualidade e disponibilidade do solo para qualquer tipo de uso agrícola pela lixiviação. Além disso, as áreas das APPs são importantes para proporcionar a infiltração e a drenagem pluvial, colaborando para a recarga dos aquíferos e minimizando a ação das águas na dinâmica natural, contribuindo de forma direta para conter inundações.

A ocupação por edificações nas áreas de APPs contribui significativamente para o aumento da impermeabilidade do solo, acarretando o aumento da exposição da população ao perigo e potencializa o risco de inundação nessas áreas, podemos observar nos gráficos gerados que as cidades com maior concentração da mancha urbana às margens do rio Taquari apresentaram maior índice de sobreposição entre os mapas.

### 5.4.2 Impacto no Meio Biótico

No que tange aos impactos no meio biótico, as áreas de zona ripária identificadas com ocupação urbana e rural interferem diretamente no ecossistema natural, causando danos ao fluxo gênico de fauna e flora.

Podemos observar nos mapas de risco para inundação gerados, que alguns municípios apresentam áreas de cultivo agrícola e de criação de gado às margens do rio Taquari, corroborando o pertencimento igualmente as áreas de proteção permanente. A presença de rebanhos em APP é altamente impactante para aspectos ambientais como compactação do solo, erosão e assoreamento e, ainda, interferência nos ecossistemas naturais. Além disso, a presença de espécies exóticas/invasoras nessas áreas, apresentam alto grau de impacto ambiental tratando-se da dispersão das espécies nativas, ou até mesmo a dominância dessas espécies exóticas/invasoras.

No ambiente aquático, a ocupação das áreas de APP pode contribuir com o aumento da turbidez da água do rio, aspecto nocivo aos peixes quando em alta concentração – situação se agrava quando a área é atingida por inundação pelo aumento da carga de sedimentos – por provocarem obstrução das brânquias, podendo levá-los à morte por asfixia. Além disso, prejudicam o desenvolvimento das comunidades aquáticas, modificando os movimentos migratórios, dificultando a ingestão de alimentos e diminuindo a tenacidade a doenças. Para mais, a elevada turbidez na água causa restrição de entrada da luz solar e, conseqüentemente, inviabilizando a fotossíntese das plantas aquáticas.

Por fim, um aspecto tal qual tão importante para a preservação das APPs são os resíduos gerados pelo aumento para as áreas urbanizadas, muitas vezes as áreas que margeiam o rio são consideradas locais de alocação de resíduos e entulhos, de modo que quando atingidos por inundações, são carregados para dentro do rio, gerando poluição hídrica e alteração nas propriedades físico-químicas do corpo hídrico.

### **5.4.3 Impacto no Meio Socioeconômico**

Na área estudada foram observados diversos problemas que podem estar relacionados às causas de inundações, dentre eles, ocupações vertiginosas nas áreas ribeirinhas ao rio. Os prejuízos socioeconômicos observados nas áreas de APP com o agravante de serem também áreas de risco para inundação, podem ser elencados como: danos à economia (perdas dos meios de áreas agrícolas e da produção), à infraestrutura (moradias, indústrias e comércios localizados dentro deste perímetro), ao turismo local, registros históricos e comunitários (tradições e histórias de colonização de famílias, relações sociais e afetivas, educação e registros culturais). Ainda, observa-se que, o risco de habitar as áreas de perigo está associado ao risco maior, que é segurança e a saúde da população, podendo acarretar, em casos extremos, a perda de vidas humanas.

É válido dizer que as cidades mais desenvolvidas abordadas neste estudo possuem uma boa estrutura de gestão, com estudos de setorização de risco atualizados, Defesa Civil com corpo técnico capacitado, plano de contingência e sistema de alerta de nível do rio Taquari – aderindo às plataformas digitais para alertar a população, o que contribui para reduzir os impactos decorrentes de uma inundação. Entretanto, é necessário que haja mais investimentos em atividades que antecedem ao desastre, objetivando preparar a população caso o risco se concretize. É importante ainda que a comunidade tenha mais informações sobre a função das APPs e sua importância ora para a segurança da população ora para um ambiente ecologicamente equilibrado, e ainda, elencar os riscos em ocupar estas áreas de risco e as medidas a serem tomadas caso ocorra um evento adverso.

Nesse sentido, se verifica a necessidade urgente de incentivo as políticas públicas voltadas para o mapeando dessas áreas de perigo associadas, conhecer a vulnerabilidade social da população exposta ao perigo, implementando sistemas que antecedem o risco de desastre, gerir uma fiscalização permanente nas áreas de risco localizadas no interior dos limites de APPs, de forma que se possa adotar medidas técnicas e estruturais eficientes.

## **5.5 Cenários temporais de risco de desastre por inundação**

Considerando os mapeamentos elaborados para prevenção de risco de desastre, alguns questionamentos podem ser realizados após a obtenção dos mapas de sobreposição. Para isso, se utiliza cenários temporais, partindo de uma perspectiva que integra aspectos sociais e ambientais, considerando também a dinâmica temporal, pois almeja-se instigar

outros estudos nessa temática e que essa metodologia possa ser reaplicada em outras cidades para servir de suporte na prevenção de risco de desastre.

Avaliando os cenários temporais de risco de desastre por inundação, confirma-se a hipótese desta pesquisa de trabalho de que os riscos de desastre são construídos, uma vez que as cidades apresentaram aumento ocupacional nas margens do rio Taquari, local definido como planície de inundação. A cheia do rio, um acontecimento natural, torna-se risco de desastre a partir do momento em que suas planícies são ocupadas. Considerando que o foco desta pesquisa foi inundação, é importante que realize estudos de outros tipos de risco de desastres, principalmente no que tange ao deslizamento, pois estas cidades já apresentaram ocorrências de deslizamentos e as áreas com maiores declividades apresentaram altos níveis de vulnerabilidade social.

É válido dizer que algumas das cidades abordadas neste estudo possuem uma boa estrutura de gestão, com estudos de setorização de risco atualizados, Defesa Civil com técnicos capacitados, plano de contingência e sistema de alerta de nível do rio Taquari, o que contribui para reduzir os impactos decorrentes de uma inundação. Entretanto, é necessário que haja mais investimentos em atividades que antecedem ao desastre, objetivando preparar a população caso o risco se concretize. É importante ainda que a comunidade tenha mais informações sobre a função das APPs e sua importância ora para a segurança da população ora para um ambiente ecologicamente equilibrado, e ainda elencar os riscos da ocupação destas áreas de risco e as medidas a serem tomadas caso ocorra um evento adverso.

Diante disso, como sugestão de objetivos para futuros estudos de modo a contemplar este trabalho, seria enfatizar o pós-evento dos desastres de inundação em áreas sobrepostas de APP e setores de risco, uma vez que cada pessoa tem uma percepção de risco e este não atinge de forma homogênea todos os moradores situados numa área de risco.

Sugere-se ainda que sejam feitas as atualizações dos mapeamentos dos setores de risco de inundação para os municípios, uma vez que as informações utilizadas nesta pesquisa foram levantadas pela CPRM usando em alguns casos métodos simplificados, e podem estar com a área de abrangência desatualizada.

Por fim, não se pretende findar esse assunto atual e que tem marcado a vida de muitas pessoas que residem nestas áreas classificadas como APP e como áreas ao risco de inundação, ainda mais que as cidades têm enfrentado sérios problemas relacionados a inundação e, com intuito de auxiliar na redução das áreas de risco, uma vez que os cenários podem ser atualizados anualmente.

Em conclusão, só é possível a tomada de decisão assertiva, reduzir as perdas de vidas e a preservação das áreas ambientais, melhorar a qualidade de vida das pessoas se existirem estudos para conhecimento da área de risco, caso contrário, toda decisão e ação a ser feita será fundamentada em achismo, que no futuro poderá ter sérias consequências.

## 6 CONCLUSÕES

As APPs em estudo não se afiguraram totalmente condizentes com as regras do Novo Código Florestal, decorrente das análises realizadas neste trabalho, tendo uma ocupação em áreas consideradas de risco à inundação de aproximadamente 1354,9m<sup>2</sup>, estas áreas podem contribuir tanto na degradação ambiental, quanto num possível risco para os municípios destas áreas ribeirinhas. Na medida em que as áreas de várzea compreendem as APPs, estas deveriam servir para garantir a permeabilidade e proteção durante períodos de intensas chuvas, conforme evidenciado pelo histórico de grandes inundações que atingem a bacia hidrográfica do rio Taquari.

Os impactos discutidos apresentaram alta magnitude e importância qualitativa e quantitativa nos meios físico, biótico e antrópico. A avaliação desses impactos a partir da sobreposição de mapas de risco hidrológico e da área de APP, possibilitou diagnosticar áreas propícias de degradação, prioritárias para alerta de risco e para a proteção conforme dita a lei federal.

Vale ressaltar ainda, que as áreas atingidas por inundações apresentam características positivas. Em analogia à mitologia, as cheias registradas em históricos milenares - como na Mesopotâmia - confirmaram que a engenhosidade do homem em controlar as águas do Tigre e Eufrates, tornou aquela região fértil, uns 600 anos antes da era cristã. Diante disso, conclui-se que as cheias anuais ou periódicas, são extremamente importantes para se aproveitar a abundante fertilidade gerada em solos pobres de nutrientes.

Apesar da reconhecida importância das APP, neste estudo foi diagnosticado que 1354,9m<sup>2</sup> de área de preservação permanente também são áreas de perigo permanente à inundação, gerando assim uma motivação adicional para manter as APPs preservadas também em função de perigo de inundação nas cidades da Bacia hidrográfica do rio Taquari. Os resultados gerados, bem como as diretrizes ambientais de impactos gerados aqui discutidas, indicaram as potencialidades e necessidades de recuperação ambiental da APP das cidades, oferecendo subsídios para elaboração e execução de projetos de alerta quanto a inundação que venham atingir à comunidade nestas áreas.

Pode-se concluir nesse estudo, que há uma correspondência direta entre a localização das pessoas e das áreas de risco, como também influência nessas áreas de risco

de aspectos relativos à APP. Ou seja, que a preservação de APP florestal tende a diminuir também o perigo de inundação para os habitantes da região estudada.

## 7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ACOT, Pascal. **História da ecologia**. Rio de Janeiro: Campus, 1990, p. 7

AHRENS, Sérgio. **O “Novo” Código Florestal Brasileiro: Conceitos Jurídicos Fundamentais**. Trabalho voluntário apresentado no VIII Congresso Florestal Brasileiro. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura. 2003. 15p.

ALMEIDA, O. T.; CASTELO, T. B.; RIVERO, S. L. M. **Avaliação dos stakeholders em relação às mudanças na legislação ambiental e reforma do Código Florestal Brasileiro**. Rev. Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 27, p. 163-177, jan./jun. 2013. Editora UFPR.

AMARAL, R.; RIBEIRO, R.R. 2009. **Inundação e Enchentes**. In: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. 2009. Desastres Naturais: conhecer para prevenir. São Paulo, Instituto Geológico, p. 39-52.

BITAR, O.Y. **Instrumentos de gestão ambiental (IGAs) aplicáveis ao planejamento, instalação, operação e desativação de empreendimentos**. In: SIMPÓSIO SOBRE GESTÃO AMBIENTAL, 1., SimGeA 2001, São Paulo, 2001.

BLASCHKE T.; KUX H. **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados: novos sistemas sensores métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

BRANDÃO, A. M. P. M. **Clima Urbano e Enchentes na cidade do Rio de Janeiro**; In GUERRA, A. J. T.; CUNHA C. B. da. (org) Impactos Ambientais Urbanos no Brasil, 2 ed., RJ: Bertrand Brasil, 2004. 416p.

BRASIL. **Lei nº 12.651** de 25 de maio de 2012. Código Florestal Brasileiro. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2012.

BRASIL. **Lei nº 6.938 - Política Nacional de Meio Ambiente**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/Ccivil\\_03/leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/Ccivil_03/leis/L6938.htm)>. Acesso em: 03 fev. 2021.

BUARQUE, D, C. **Simulação da geração e do transporte de sedimentos em grandes bacias**: Estudo de caso do Rio Madeira. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2015, 224p.

CEPED/UFRGS. **Capacitação em gestão de riscos**. 2. ed. Porto Alegre, 2016.

COUTINHO, L. M.; ZANETTI, S. S.; CECÍLIO, R. A.; DE OLIVEIRA GARCIA, G.; XAVIER, A. C. **Usos da terra e áreas de preservação permanente (APP) na bacia do Rio da Prata, Castelo-ES**. *Floresta e Ambiente*, v. 20, n. 4, p. 425-434. 2013.

CURRAN, P. **Principles of Remote Sensing**. Longman Scientific and Technical, UK, 1985, 282p.

DIÁRIO DO RIO DOCE. **A terceira pior enchente da história**. Publicado em 06/01/2012. Acesso em: 15 mar. 2021.

DIEDRICH, V. L.; AZAMBUJA, J. L. F. **Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes do Vale do Taquari - RS - Brasil**. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos (SIBRADEN), 2, 2007, Santos. Anais... São Paulo: ABGE, 2007. Artigos, p. 85.

ECKHARDT, R. R. **Geração de Modelo Cartográfico Aplicado ao Mapeamento das Áreas Sujeitas às Inundações Urbanas na Cidade de Lajeado / RS**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2008.

ENOMOTO, C. F.; MINE, M. R. M. **Método para elaboração de mapas de inundação: estudo de caso da bacia do Rio Palmital, Paraná**. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Ambiental – Setor de Tecnologia. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. 2004. 140p. Acesso em: 17.mar.2021.

FARIA, M. M.; ZACCHI, R. C.; FERREIRA, E. S. **Caracterização morfométrica e biológica da bacia hidrográfica do córrego Serafim, sub-bacia do rio Paraibuna, Juiz de Fora, MG**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009, Viçosa, MG.

GOERL, R. F; KOBAYAMA, M; MICHEL, G. P. **Mapeamento de áreas susceptíveis a inundação com o modelo HAND e análise do seu desempenho em diferentes resoluções espaciais**. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 69/1, p.61-69. 2017.

GUASSELLI, L. A.; OLIVEIRA, G. G de; ALVES, R. de C. M. (orgs.) **Eventos Extremos no Rio Grande do Sul: Inundações e Movimentos de Massa**. Porto Alegre: Evangraf, 2013

Hasenack, H.; Weber, E.(org.) **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85- 63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD). Disponível em: Acesso em: 17 abr. 2021.

HOFFMANN, Tereza Cristina Polato; MENDONÇA, Francisco; GOUDARD, Gabriela. **Eventos climáticos extremos: inundação e gestão de riscos no Paraná**. In. MENDONÇA, Francisco (org.). Riscos climáticos: vulnerabilidades e resiliência associados. Jundiaí: Paco Editorial, 2014. p. 223-260.

JAGUSZEWSKI, E.D.; GOTUZZO, C.C.; CONDORELLI, E.M.F. **Capacitação em Cadastro Ambiental Rural: Manual do Treinando** / Porto Alegre: SENAR/RS. 70p. 3ª Edição. 2014.

JÚNIOR, Juraci Pereira da Silva; INÁCIO FERREIRA, Rafaela Aparecida et al. **Histórico e conceitos do Código Florestal de 1965**. Revista Jus Navigandi, ISSN 1518-4862, Teresina, 2017. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/58371>. Acesso em: 3 fev. 2021.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. de O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G.S. F.; RUDORFF, F. de M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109 p.

LILLESAND, T; KIEFER, R, W; CHIPMAN, J. **Remote Sensing and Image Interpretation**. New York: Wiley, 2007. 756 p.

LINDNER, E. A.; GOMIG, K.; KOBIYAMA, M. **Sensoriamento remoto aplicado à caracterização morfométrica e classificação do uso do solo na bacia rio do Peixe/SC**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. Anais.Florianópolis: Inpe, 2007. p. 3405-3412.

MACHADO, R, E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. 2002, 166f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MARCONDES, D. **Floresta, para que floresta?** Disponível em . Acesso em 03 de fevereiro de 2021.

MEDEIROS, J. de D.; SAVI, M.; BRITO, B. F. A. de. **Seleção de área para criação de unidade de conservação na Floresta Ombrófila Mista.** Biotemas, Florianópolis, v.18, n. 3, p. 33-50. 2005.

MEDEIROS, R. **Evolution of typologies and categories of protected areas in Brazil.** *Ambient. soc.* vol.9 no.1 Campinas Jan./June 2006. Acesso em: 02 de fev 2021.

MENDES, C, A, B. **Planejamento Nacional de Recursos Hídricos Baseado no Uso de Técnicas de Geoprocessamento.** 1998. 9 p.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação.** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001. 536p. (Coleção Geoprocessamento; v. 1).Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2010.

MILARÉ, Edis. **Direito do ambiente.** 3ª ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2004, p. 120.

MOLNÁR, D, K; JULIEN, P, Y. **Estimation of Upland Erosion Using GIS.** *Computers & Geosciences*, v. 24, n. 2, p. 183-192. 1998.

OLIVEIRA, G. G. **Modelos para previsão, espacialização e análise das áreas inundáveis na bacia Hidrográfica do Rio Caí, RS.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, 2010.

RAMOS, R.I.; AHMAD, I.T. **Código Florestal – Apreciação Atualizada.** Relatório da Consultoria Florari Ambiental para ABES - SP – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Seção São Paulo. São Paulo, 2012.

REMPEL, C.; ECKHARDT, R. R. **Análise Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari,**Geografia, Universidade Estadual de Londrina, Dep.de Geociências, v. 16 n.1, jan a jun 2007.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETTC, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOOC, M. J. **HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-fi rme rainforest environments in Amazonia.** *Eselvier - Remote Sensing of Environment*, v.112, n.9, p. 3469-3481, 2008.

Ribeiro CAAS, Soares VP, Oliveira MAS, Gleriani JM. **O desafio da delimitação de áreas de preservação permanente**. Revista *Árvore* 2005; 29(2): 203-212.

RODRIGUES, M. **Introdução ao Geoprocessamento**. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São Paulo. p. 1-26. 1990.

ROSIM, S.; MONTEIRO, A. M. V.; RENNÓ, C. D.; SOUZA, de R. C. M.; SOARES, J. V. **Terrahidro - Uma plataforma computacional para o desenvolvimento de aplicativos para a análise integrada de recursos hídricos**. XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 2003. Anais. p. 2589–2596, 2003.

SALGE JR., Durval. **Instituição do bem ambiental no Brasil pela Constituição Federal de 1988: seus reflexos ante os bens da União**. São Paulo: Juarez de Oliveira, 2003, p. 87.

SAUSEN, Tania Maria; NARVAES, I. S. **Sensoriamento remoto para inundação e enxurrada**. In: SAUSEN, Tania Maria; LACRUZ, María Silvia Pardi (ed.). *Sensoriamento remoto para desastres*. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 119-147.

SCHULT, S. I. M.; PINHEIRO, A. **Ocupação e Controle das Áreas Urbanas Inundáveis**. In: **Enchentes na Bacia do Itajaí: 20 anos de experiência**. 1. Ed., Blumenau: FURB, v. 1, 2003. P. 173.

SOARES FILHO, B. S. **Modelagem de Dados Espaciais. Apostila do Curso de Especialização em Geoprocessamento**. BH : UFMG, 2000. 17p. Acesso em 17 mar. 2020.

Soares VP, Moreira AA, Ribeiro CAAS, Gleriani JM. **Mapeamento das áreas de preservação permanente e dos fragmentos florestais naturais como subsidio à averbação de Reserva Legal em imóveis rurais**. *Cerne* 2011.

TOMINAGA, L. K; SANTORO, J; AMARAL, R. (org). **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. Cap. 1, p. 11 – 23.

TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. da M. **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. 558p.

Weber, E.; Hasenack, H.; Ferreira, C.J.S. **Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação**. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-

02-9, 2004. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

YEVJEVICH, V. – **Flood and Society**, in: Rossi, G.; Harmancioglu, N.; Yevjevich, V. (ed.) – *Coping With Floods*, pp. 3 - 9, 1992.