

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DÉBORA APOLINÁRIO

**ESTUDO DAS INUNDAÇÕES ATRAVÉS DA PROJEÇÃO DE CENÁRIOS
FUTUROS DE URBANIZAÇÃO EM FRANCISCO BELTRÃO/PR**

PATO BRANCO

2022

DÉBORA APOLINÁRIO

**ESTUDO DAS INUNDAÇÕES ATRAVÉS DA PROJEÇÃO DE CENÁRIOS
FUTUROS DE URBANIZAÇÃO EM FRANCISCO BELTRÃO/PR**

**STUDY OF FLOODS THROUGH THE PROJECTOR OF FUTURE URBANIZATION
SCENARIOS IN FRANCISCO BELTRÃO/PR**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de concentração: Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Ney Lyzandro Tabalipa
Co-orientador: Prof. Dr. Elvis Rabuske Hendges

PATO BRANCO

2022



Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Pato Branco**



DEBORA APOLINARIO

**ESTUDO DAS INUNDAÇÕES ATRAVÉS DA PROJEÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS DE URBANIZAÇÃO
EM FRANCISCO BELTRÃO/PR**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Meio Ambiente.

Data de aprovação: 30 de Agosto de 2022

Dr. Ney Lyzandro Tabalipa, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Danilo Rinaldi Bisconsini, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Fabiano Andre Marion, Doutorado - Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 30/08/2022.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a Deus, pela dádiva da vida e por me permitir realizar tantos sonhos nesta existência. Nesse tempo foram altos e baixos, mas sei que sem a proteção divina não teria suportado.

Meus sinceros agradecimentos à minha mãe Marcileide, por ser meu alicerce, que nunca me deixou desistir, mesmo em momentos de dificuldade. Meu pai Jair e meu irmão André. Agradeço a vocês por todo incentivo nesse tempo, pois sem vocês ao meu lado não teria chego até aqui.

Ao meu namorado, Andrei, pela paciência e pelo companheirismo durante o mestrado.

Por entender a minha ausência em alguns momentos e por me apoiar, sendo pessoal ou profissional. Como a gente sempre fala, estaremos juntos para o que der e vier.

A minha família e meus amigos que me apoiaram, obrigado por ser suporte nesse tempo.

Ao Professor Ney, por estar compartilhando conhecimento durante a orientação e me instigando a buscar novos desafios.

Agradeço ao coorientador Elvis, por ter me acolhido e que de forma paciente me orientou e contribuiu para o trabalho.

Por fim, as Instituições de Ensino, UTFPR E UNIOESTE, por abrirem as portas para a pesquisa. Tenho plena certeza que cheguei até aqui, por ter comigo Universidades que apoiam a pesquisa e que têm em seu corpo docente, professores capacitados e compreensivos.

"Para tudo há um tempo, para cada coisa há um momento debaixo do céu"
(ECLESIASTES, 3)

RESUMO

A impermeabilização do solo provocada pelo aumento de urbanização das cidades brasileiras tem causado acentuados picos de vazão de águas pluviais, provocando muitas vezes inundações relacionadas também aos procedimentos de uso e ocupação do solo e a morfologia do terreno. Neste sentido, esta pesquisa tem como objetivo identificar as áreas suscetíveis às inundações no perímetro urbano de Francisco Beltrão/PR vinculadas ao processo de expansão urbana ocorrido na bacia hidrográfica do rio Urutago. Ao considerar os cenários atual e futuros de uso e ocupação de solo em conformidade com o Plano Diretor Municipal, será empregado em um ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) o método adaptado de Processo Hierárquico Analítico (AHP) através de técnicas de geoprocessamento. O método multicritério AHP foi usado como uma ferramenta de gestão estratégica para realizar o diagnóstico e avaliação para tomada de decisão, por meio de atribuição de pesos e sua importância relativa. O mapa da situação atual indicou as áreas sensíveis aos alagamentos urbanos e mostrou-se condizente com a realidade da ocorrência desse tipo de evento no município. As áreas de maior sensibilidade concentram-se na região noroeste da área de estudo e abrangem principalmente os bairros Luther King e Miniguaçu. O aumento de SF1 (situação futura 1) e SF2 (situação futura 2) em áreas urbanas afetou diretamente a mudança nos graus de sensibilidade de baixo para médio ou alto para muito alto. Esse efeito é consistente com a expansão urbana e, conseqüentemente, aumenta a impermeabilização do solo, escoamento superficial e áreas expostas a inundações urbanas. A expansão da área urbana nesta direção do município leva ao aumento da impermeabilização do solo, critério classificado pelos especialistas como o segundo mais importante para a ocorrência de alagamentos urbanos.

Palavras-chave: Mapeamento. SIG. AHP. Inundações.

ABSTRACT

Soil sealing caused by increased urbanization in Brazilian cities has caused sharp peaks in the flow of rainwater, often causing floods also related to soil use and occupation procedures and terrain morphology. In this sense, this research aims to identify the areas susceptible to flooding in the urban perimeter of Francisco Beltrão/PR linked to the urban expansion process that occurred in the hydrographic basin of the Urutago river. When considering the current and future scenarios of land use and occupation in accordance with the Municipal Master Plan, the adapted method of Analytical Hierarchical Process (AHP) will be used in a Geographic Information Systems (GIS) environment through geoprocessing techniques. The AHP multicriteria method was used as a strategic management tool to carry out the diagnosis and evaluation for decision making, by assigning weights and their relative importance. The map of the current situation indicated the areas sensitive to urban flooding and proved to be consistent with the reality of the occurrence of this type of event in the municipality. The areas of greatest sensitivity are concentrated in the northwest region of the study area and mainly cover the Luther King and Miniguaçu neighborhoods. The increase in SF1 (Future Situation 1) and SF2 (Future Situation 2) in urban areas directly affected the change in sensitivity degrees from low to medium or high to very high. This effect is consistent with urban sprawl and consequently increases soil sealing, runoff and areas exposed to urban flooding. The expansion of the urban area in this direction of the municipality leads to an increase in soil sealing, a criterion classified by experts as the second most important for the occurrence of urban flooding

Keywords: Mapping. SIG. AHP. Floods.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Macrozonas e zonas urbanas do município de Francisco Beltrão	27
Figura 2 - Etapas da pesquisa	32
Figura 3 - Mapa de localização da área de estudo.....	33
Figura 4 - Inundação na região do rio Urutago.....	35
Figura 5 - Trecho do Rio Marrecas com afloramento de rochas basálticas	36
Figura 6 - Mapa de declividade da área de estudo	46
Figura 7 - Mapa de hipsometria da área de estudo	47
Figura 8 - Resumo Climatológico	48
Figura 9 - Mapa de precipitação média da área de estudo	49
Figura 10 - Mapa de Uso da Terra 2020	51
Figura 11 - Cenário de Uso da Terra para o ano de 2030 (S1)	52
Figura 12 - Cenário de Uso da Terra para a situação futura 2	53
Figura 13 - Mapa de Susceptibilidade a inundações no cenário atual	59
Figura 14 - Áreas Susceptíveis a inundações no rio Urutago	60
Figura 15 - Mapa de Susceptibilidade a inundações no cenário I (2030)	65
Figura 16 - Mapa de Susceptibilidade a inundações no cenário II (Área totalmente urbanizada)	66
Figura 17 - Influência do uso e ocupação do solo na susceptibilidade a inundações urbana	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Escala fundamental de Saaty	39
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de matriz de comparação par a par	22
Tabela 2 – Escala de valores para reclassificação dos critérios	43
Tabela 3 – Classes de uso e ocupação para o ano de 2020	50
Tabela 4 – Comparação entre as áreas de uso e ocupação do solo dos cenários propostos	54
Tabela 5 – Pesos atribuídos por cada especialista e pesos finais dos	56
Tabela 6 – Histórico dos episódios pluviais intensos no Rio Lonqueador	60
Tabela 7 – Comparação entre as áreas de suscetibilidade a inundações urbanas	63

LISTA DE SIGLAS

AHP	Processo Hierárquico Analítico
ADMC	Métodos de Tomada de Decisão Multicritério
CONPDEC	Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil
GRDES	Gestão De Riscos de Desastres e Emergências em Saúde
MDCA	Análise de Decisão Multicritério
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SINPDEC	Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas
SVM	Suporte de Vetor de Máquinas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo geral	14
1.1.2	Objetivos específicos.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Inundações Urbanas	15
2.2	Sistema de Informação Geográfica	17
2.2.1	Spring	20
2.3	Método de Tomada de Decisão Multicritério	20
2.3.1	<i>Analytic Hierarchy Process</i>	21
2.4	Plano Diretor de Município de Francisco Beltrão	25
2.5	Responsabilidade Civil do Estado por Desastres	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1	Caracterização da Pesquisa	31
3.2	Etapas da Pesquisa	31
3.3	Área de Estudo	33
3.3.1	Solos da área de estudo.....	35
3.4	Situação Atual	36
3.4.1	Mapa de declividade.....	37
3.4.2	Mapa de hipsometria	38
3.4.3	Mapa de uso e ocupação do solo.....	38
3.4.4	Aplicação do método AHP.....	38
3.5	Situação Futura	41
3.6	Reclassificação e Sobreposição dos Critérios	42
4	RESULTADOS	45
4.1	Mapeamento dos Critérios	45
4.2	Hierarquização dos Critérios	55
4.3	Suscetibilidade a Inundações	57
5	CONCLUSÕES	68
	REFERÊNCIAS	70
	ANEXO A - LEI N. 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998	77

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população urbana, acompanhado da construção de novos loteamentos e edifícios, dentre outros fatores vem acarretando a impermeabilização do solo e, em consequência, a redução da infiltração e aumento do escoamento superficial. Desse modo, a urbanização sem planejamento ocasiona inúmeros impactos ambientais, como, a falta de saneamento básico e problemas na drenagem urbana. A diminuição da área permeável de bacias hidrográfica aumenta significativamente o escoamento superficial das águas pluviais que se dão através das canalizações e galerias até serem lançadas em corpos hídricos.

Nessa perspectiva, a falta de planejamento urbano e de propostas ambientais sustentáveis na elaboração de projetos contribui para a perpetuação da situação atual no que diz respeito aos métodos de drenagem ineficientes no Brasil.

A inundação urbana é fruto do excesso de chuvas, aumento dos índices de impermeabilização do solo, diminuição de infiltração e retenção da água. Sempre que o volume de escoamento de água ultrapassa a capacidade de drenagem dos córregos e canais das cidades, ocorrerão os alagamentos. Estes por sua vez, tem sido constante em vários municípios. Assim, profissionais da área da engenharia vem buscando novas tecnologias que visem redução do escoamento superficial.

Diante da relevância das inundações urbanas, verificou-se um aumento do número de investigações em relação aos impactos hidrológicos. No final da década de 90 e início dos anos 2000 os estudos se intensificaram na morfologia e processos hidrológicos das bacias urbanas (JACOBSON, 2011).

De acordo com Bathrellos *et al.* (2017) uma alternativa para auxiliar no planejamento da urbanização de novas áreas e evitar inundações é o mapeamento das áreas de risco, que identifica locais suscetíveis ao evento em estudo. Deste modo, torna-se importante estudar estes eventos para identificação dos danos que causam a todo o ambiente, bem como sua frequência de acontecimentos.

Dentre as metodologias utilizadas para a criação desses mapas estão os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) que amparam a investigação das formas de uso e ocupação de um espaço utilizado das áreas de risco. Juntamente com os SIG, em alguns estudos tem sido os métodos de Tomada de Decisão Multicritério, em específico, o *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

A fim de compreender melhor os episódios de inundações, é relevante saber quais destas características da Decisão Multicritério, mais influência na sua ocorrência, o que pode ser feito com a utilização do AHP. Uma aplicação do método AHP é na investigação de um cenário futuro de uso e ocupação do solo para mapeamento das áreas que podem demonstrar risco de inundação e assim obter um auxílio na tomada de decisão em um evento complexo.

Assim, a utilização do SIG e AHP, este trabalho visa identificar as áreas de risco de inundação na microbacia do Rio Urutago em Francisco Beltrao/PR, localizada dentro do perímetro urbano do município, compreendendo o cenário atual de uso e ocupação do solo e também cenário futuro de uso e ocupação do solo estabelecido no Plano Diretor municipal.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Identificar as áreas urbanas suscetíveis a inundações na bacia hidrográfica do rio Urutago localizado no perímetro urbano da cidade de Francisco Beltrão/PR.

1.1.2 Objetivos específicos

Para identificar as áreas suscetíveis a inundações urbanas mencionadas no objetivo geral, a pesquisa será realizada da seguinte maneira:

- Criar um Banco de Dados em ambiente de SIG com a importação de elementos cartográficos que irão auxiliar o mapeamento temático da área de estudo para a situação atual de urbanização;
- Elaborar o mapa de uso atual da terra da área de estudo;
- Identificar em mapas de uso da terra as classes que mais contribuíram para o surgimento de novas áreas urbanas;
- Projetar um cenário futuro de urbanização baseados na evolução de uso da terra bem como no Plano Diretor municipal;
- Realizar o mapeamento de elementos topográficos como classes altimétricas e de declividade (mapa hipsométrico e mapa de declividade);
- Identificar áreas de maior vulnerabilidade à inundação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Inundações Urbanas

A urbanização é o crescimento das cidades, que junto com o progresso, pode promover diversas complicações, uma delas são as inundações que causam danos e prejuízos. Tucci (2010) descreve a urbanização como um processo de desenvolvimento econômico e social resultante da transição do meio rural para o urbano, concentrando os serviços nas cidades.

A inundação pode ser compreendida como a concentra o de água de chuva em excesso que o solo não consegue absorver por estar saturado. De acordo com Souza (1998) as inunda es estão associadas   quantidade e intensidade da precipita o atmosférica, da taxa de infiltra o de água no solo, bem como, a satura o do solo. Tucci e Bertoni (2003) descrevem que a inunda o urbana   o volume das águas ultrapassando a capacidade normal, chegando a áreas de moradias, indústrias, comércios e outros, e   proveniente do processo de urbaniza o.

A inunda o   considerada o desastre hidrológico mais recorrente no mundo, conforme dados do *Emergency Events Database (EM-DAT)* coletados entre os anos de 2009 e 2019 que mostram a ocorrência de aproximadamente 50 mil mortes no mundo devido às inunda es (CRED, 1998-2017). Entre todos os tipos de desastres naturais ocorridos no Brasil, cerca de 72% estão relacionados às inunda es (CEPED-UFSC, 2013). O crescente número de desastres está relacionado às inunda es em decorrência de vários fatores, principalmente mudanças climáticas e crescimento populacional (IPCC, 2007).

Os impactos causados por fen menos naturais têm aumentado em número e intensidade com o passar dos anos, e muitas pessoas ainda confundem dois eventos naturais, enchente e inunda o. Philippi Jr. (2005) relata que a enchente   aquele fen meno que ocorre na bacia hidrográfica quando existem precipita o e aumento no nível d'água, mas sem transbordamento, enquanto na inunda o ocorre o extravasamento.

Diversos fatores contribuem para a ocorrência da inunda o, como o aumento gradativo do volume de sedimentos e do escoamento superficial, devido ao lançamento de sólidos nos rios, canais e galerias. Outro ponto a ser destacado   a

crescente urbanização que gera efeitos negativos sobre os recursos hídricos, por meio da ocupação dos solos (TUCCI, 2007). Quando a urbanização acontece em áreas propensas a eventos de inundação, as consequências são agravadas por falta de infraestrutura adequada, pois causam mudanças também nas condições hidrológicas locais, dificultando a infiltração e aumento do volume de escoamento em função da impermeabilização da superfície (FLETCHER; ANDREIEU; HAMEL, 2013; MUSTAFA *et al.*, 2018).

Frequentemente noticiadas nos meios de comunicação, as inundações são causadoras de perdas humanas, materiais, contaminações e interrupções de atividades social e econômica. De acordo com Mendes (2004), no Brasil inúmeras cidades registram ligações clandestinas de esgoto interligadas a galerias pluviais, fato este que compromete o correto tratamento e destinação da parte sólida. Esta atitude pode ocasionar sérios danos a população por meio do contato direto com a água contaminada.

Segundo Lira (2003), a inundação é resultante da desorganizada expansão urbana que tem como consequência inadequada infraestrutura, de pontes e taludes de estradas construídos em locais impróprios, sem estudo prévio, obstruem o escoamento, e reduzem a seção de escoamento. Outro ponto salientado é a deposição de resíduos e sedimentos e a obstrução de rios, canais e condutos, por meio de projetos e obras de drenagem inadequadas causadores das inundações.

Existem sistemas de drenagem artificiais para solucionar o déficit de infiltração e assim evitar as inundações (DE SILVA *et al.*, 2011; CHERQUI *et al.*, 2015). As complexas redes de drenagem subterrâneas presentes nas áreas urbanas tem por premissa remover a água da superfície, evitando a sua acumulação. Butler e Davies (2004) descrevem que nas áreas urbanas há dois tipos de água que necessitam de drenagem, as pluviais e residuais. A drenagem pode ser separada ou combinada, sendo esta última a mais comum.

Diante da magnitude das inundações urbanas, houve um aumento do número de investigações em relação aos impactos hidrológicos. Conforme Jacobson (2011), alguns estudos mostraram que os córregos e rios urbanos apresentam rápido aumento de vazão logo após um evento de precipitação. Na concepção de McGrane (2016) uma das consequências resultantes da urbanização em decorrência das mudanças hidrológicas locais é o aumento da proporção dos eventos de inundação nas cidades.

Na visão de Hammond *et al.* (2015), as inundações urbanas são todas aquelas que acontecem em regiões urbanas, independente do seu motivo, logo, a ocorrência delas pode não ser resultante somente da precipitação. Outros fatores que contribuem para o são obstrução das sarjetas por ramos, folhas de árvores e detritos, bem como ruptura de conduta na via pública (DE SILVA *et al.*, 2011; RUDARI *et al.*, 2014; CHERQUI *et al.*, 2015).

Teng *et al.* (2017) afirmam que “monitorar, prever e identificar as áreas que podem ser atingidas, estimar os danos destes eventos, passou a ser foco de investigação”. Com os estudos realizados e as descobertas obtidas, foram desenvolvidos procedimentos para identificação e prevenção as áreas vulneráveis a inundações. Apesar da evolução nas descobertas dos fatores intervenientes, ainda é de suma importância continuar investigando as inundações urbanas por serem recorrentes em todo o mundo, gerando impactos significativos nas áreas sociais, econômicas e humanas. Os dados do *UNITED NATIONS* (2018) estimam que 68% da população mundial estará residindo as áreas urbanas até o ano de 2050. Portanto, pesquisas para minimizar os impactos e até mesmo evitar eventos futuros, tornam-se fundamentais.

2.2 Sistema de Informação Geográfica

Para Rosa (2009), o Sistema de Informações Geográficas (SIG) consiste em tecnologias para aquisição, armazenamento, gerenciamento, análise e exibição de dados espaciais. O termo é originário do inglês GIS (*Geographic Information System*) e trata de integração de programas, dados, equipamentos e usuários. O SIG surgiu em 1854 em Londres, quando a cidade estava sofrendo com uma grave epidemia de cólera e um médico teve a ideia de inserir dados em um mapa para identificar a localização dos doentes em cada área da cidade e assim obter melhores informações. Os SIG realizam a integração, em uma única base de dados, de informações geográficas oriundos de fontes e formatos diversos, promovendo mecanismos para restaurar, manipular e visualizar esses dados (CÂMARA *et al.*, 1996).

Corroborando com os autores supracitados Chrisman (1997 apud Miranda, 2005, p. 24) define SIG como “um sistema de computadores e periféricos, programas, dados, pessoas, organizações e instituições com o objetivo de coletar,

armazenar, analisar e disseminar informações sobre áreas da Terra”. Portanto, contribuem para a coleta, armazenamento, análise e viabilização de grande quantidade de dado que, em virtude da complexidade dos desastres e das emergências em saúde, seriam inviáveis de receber tratamento utilizando métodos analógicos ou tradicionais (MARCELINO, 2008).

O uso de geotecnologias embasadas em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) direcionada para a Gestão de Riscos de Desastres e Emergências em Saúde (GRDES) proporciona melhor processo de gestão. Essa denotação é empregada como um dos princípios norteadores do “Marco de Sendai”, incluindo o SIG como método para aprimorar as ferramentas de medição e coleta, análise e disseminação dos dados do *United Nations* (2016).

Nas últimas décadas com o surgimento de novas técnicas e ferramentas geoespaciais, os estudos regionais se tornaram mais eficazes. Por SIG fornecerem melhores alternativas às técnicas convencionais no monitoramento e avaliação das áreas, os SIG conquistaram seu espaço e têm sido aplicados em diversos campos de estudos, como na agricultura (SINGH, 2018; ZABIHI *et al.*, 2015), saúde (HAGAN *et al.*, 2016; LAU *et al.*, 2016) e no consumo de energia em áreas urbanas (NOUVEL *et al.*, 2015). Os Sistemas de Informações Geográficas da mesma forma se fizeram presentes na investigação de desastres, no mapeamento de áreas vulneráveis à deslizamentos de encostas (SHAHABI; HASHIM, 2015) e análise de ocorrências históricas de incêndios florestais (MATIN *et al.*, 2017).

Wang e Xie (2018) relataram em sua pesquisa que os SIG se tornaram um método importante para no processamento de dados, análise espacial e mapeamento dos recursos hídricos e ocorrências de inundações, pelo motivo de realizar análise espaciais do que aconteceu no passado e ter a possibilidade de projetar o futuro, permitindo minimizar os danos por meio de desastres.

A modelagem de inundações SIG pode ser considerada simples de acordo com Chen *et al.* (2009), pois permite a utilização de módulos acoplados de outros desenvolvedores e se o usuário possuir conhecimento avançado pode elaborar seu próprio módulo para solucionar problemas específicos. Esta modelagem permite realizar o cálculo da área da bacia de contribuição, comprimento dos canais, o fator de forma e outros. Os dados de precipitação e imagem de uso do solo permitem estipular o escoamento superficial, gerando a representação gráfica (hidrograma) para comparações com os hidrogramas observados.

Os autores Suriya e Mudgal (2012) mostram na sua pesquisa de impacto da urbanização nas inundações, a utilização do SIG no estudo do uso e ocupação do solo, bem como, a influência em inundações e relataram que a mudança no padrão de uso da terra devido à acelerada urbanização, afeta de modo negativo os processos hidrológicos em uma bacia, possibilitando obter um ambiente aquático deteriorado. A pesquisa de aproximadamente 30 anos, contribuiu para o mapeamento de inundações e para compreender a influência da urbanização no processo hidrológico de uma bacia. No entanto, os pesquisadores utilizaram os SIG vinculados a *softwares* que simulavam os processos de precipitação e escoamento superficial, concluindo a versatilidade do conjunto de ferramentas empregado na análise dos dados.

Segundo Wu *et al.* (2015), em seu estudo comparativo das áreas urbanizadas e a expansão urbana, os autores mostraram a utilização de Sistemas de Informação Geográfica para avaliar três grandes cidades (Pequim, Tianjin e Shijiazhuang) mesclando com a abordagem de análise da paisagem, direção, forma e densidade das áreas urbanas ao longo do tempo, realizaram comparativo de resultados entre as regiões estudadas e concluíram que a expansão urbana enfrenta desafios para administrar a redução da disparidade intrarregional e a manutenção dos benefícios econômicos e ecológicos regionais.

Tehrany *et al.* (2015) realizaram um estudo referente a avaliação de suscetibilidade a inundações usando modelo de máquinas de vetor de suporte (SVM) baseado no SIG. Essa técnica de avaliação de risco natural está se popularizando na capacidade de previsão da ocorrência de inundações. Os autores utilizaram banco de dados construído por meio de fatores condicionantes de inundações: altitude, declive, curvatura, índice de potência do rio, geologia, uso e cobertura da terra, solo e escoamento superficial. Criaram mapas de suscetibilidade às inundações e o resultado obtido foram as taxas de predição às inundações das áreas pesquisadas, deste modo finalizaram o estudo ressaltando que todos os fatores condicionantes exercem influência na análise de inundações.

Os SIG são uma importante ferramenta para estudo geográfico em relação ao espaço natural, evoluindo com o passar dos anos e se tornando fundamentais em diversas áreas de pesquisa. No estudo de desastres naturais, como inundações e processos de urbanização, o SIG se mostrou eficaz e permitiu vincular outras metodologias para obter diferentes resultados, assim, se apresentaram como

método alternativo para o planejamento da urbanização com foco na ocorrência de inundações.

2.2.1 Spring

A partir de 1991 a DPI (Divisão de Processamento de Imagens) iniciou a elaboração do Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING). A determinação sobre a concepção de um SIG exclusivo surge com a necessidade de obter soluções de problemas presentes no cotidiano brasileiro, bem como, ter um controle tecnológico dessa ferramenta para enfrentar novos obstáculos com total autonomia (FELGUEIRAS, 2006).

Nos dias de hoje o SPRING está em sua versão 4.3, e é manuseado por dezenas de instituições governamentais e não governamentais e empresas públicas e privadas, do Brasil e de outros países. O software SPRING está disponível em três idiomas, Português, Inglês e Espanhol, e roda em sistemas operacionais associados com o Windows e com algumas distribuições Linux. O SPRING é um SIG que tem como finalidade a funcionalidade de entrada e saída de dados geográficos, de gerenciamento de uma base de dados geográfica, de processamento de imagens digitais, de modelagem numérica de terreno, de tratamento de dados temáticos, cadastrais e de redes. O mesmo apresenta ainda, procedimentos de análises espaciais individuais e multiníveis proporcionando o desenvolvimento de aplicações complexas que abrangem análises e integrações de inúmeros tipos de dados expostos na base de dados (FELGUEIRAS, 2006).

2.3 Método de Tomada de Decisão Multicritério

A decisão multicritério é um termo que corresponde a um conjunto de abordagens formais, considerando inúmeros critérios para contribuir com um indivíduo ou grupo de indivíduos, na escolha da decisão com maior importância (BELTON e STEWART, 2002). A tomada de decisão multicritério é constituída por: abordagem formal, presença de diversos critérios e decisões tomadas por indivíduos ou grupo de indivíduos (MENDONZA e MARTINS, 2006). Desta forma, a escolha de uma entre as alternativas deve considerar todos os critérios importantes na solução de problema, e, embasado nisso, foram criados os Métodos de Tomada de Decisão Multicritério (ADMC) ou Análise de Decisão Multicritério (MDCA), que auxiliam na

tomada de decisão.

Buscando maior assertividade nas tomadas de decisão, o método multicritério fornece classificação e ranqueamento para resolução de problemas (SAATY e VARGAS, 2012). Analytic Hierarch Process (AHP) ou processo de análise hierárquica foi proposto por Thomas Saaty em 1977. A ideia é dividir o problema de decisão em níveis hierárquicos de modo a facilitar sua avaliação e prover medidas objetivas da coerência dos critérios utilizados no processo decisório. O AHP é um método que possibilita a utilização simultânea de critérios quantitativos e qualitativos (SAATY, 1987). De acordo com Vincke (1992) geralmente não existem decisões que sejam simultaneamente ótimas em todos os critérios de análise, o que torna o método uma vantagem na seleção da melhor opção.

Na concepção de Ensslin (2001) existem diferenças expressivas entre os métodos multicritérios de tomadas de decisões e outros métodos de análise, pois consideram inúmeros aspectos, por meio de ações e critérios, permitindo obter de cada conjunto uma função matemática utilizada para mensurar o desempenho de cada ação.

2.3.1 *Analytic Hierarchy Process*

O método AHP (Analytic Hierarchy Process) é uma ferramenta de gestão estratégica que busca a modelagem e solução de um determinado problema com diversas opções, critérios, e importâncias diferentes (COSTA, 2006). Vargas (1990) destaca que o AHP é um método de apoio a tomada de decisão com foco na resolução de conflitos. O método multicritério AHP é um apoio à tomada de decisão com diversas vertentes para quantificar os critérios e prover a resolução de problemas. Este método permite formular os problemas, propondo solução otimizada para o mesmo (ALVES, ALVES, 2015).

O Processo de Hierarquia Analítica (AHP) foi criado por Thomas L. Saaty na década de 70, cuja característica principal é a subdivisão hierárquica de um problema por meio da aplicação de critérios, realizando avaliações e aplicando um conjunto de pontuações e pesos. A formação do método é composta por fases: estruturação do problema; julgamentos comparativos e análise das prioridades (ROSSONI, 2011). Santos (2013) ressalta que o AHP é aplicado em três etapas, sendo elas as estruturações dos problemas em níveis hierárquicos: o primeiro é

formado pelos objetivos, o segundo por critérios (definição de prioridades) e o terceiro por subcritérios e alternativas (consistência lógica).

A Tabela 1, a seguir, mostra um exemplo da matriz de comparação pareada.

Tabela 1: Exemplo de matriz de comparação par a par
QUAL A BEBIDA É A MAIS CONSUMIDA NOS EUA?

Bebidas	Café	Vinho	Chá	Cerveja	Refrigerante	Leite	Água
Café	1	9	5	2	1	1	½
Vinho	1/9	1	1/3	1/9	1/9	1/9	1/9
Chá	1/5	2	1	1/3	¼	1/3	1/9
Cerveja	1/2	9	3	1	1/2	1	1/3
Refrigerante	1	9	4	2	1	2	1/2
Leite	1	9	3	1	1/2	1	1/3
Água	2	9	9	3	2	3	1

Fonte: Adaptado de Saaty (2008)

Na Tabela 1, exemplo indicado por Saaty (2008), é efetuado a comparação par a par entre determinados tipos de bebidas para definir qual delas é mais consumida nos Estados Unidos da América. São comparados os critérios da linha “Bebidas”, um a um, com os critérios da coluna “Bebidas”. O componente mais significativo da comparação obtém um valor inteiro enquanto o menos importante recebe o oposto desta unidade. Nota-se que a diagonal principal é 1, o que frequentemente se repetirá, observado que um critério é da mesma forma importante em relação a ele próprio.

O último item é o reconhecimento das prioridades e a averiguação da consistência da matriz. De acordo com Saaty (2008), pode ser expressa pela Equação 1.

$$IC = \frac{x\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1}$$

Onde:

- IC = Índice de consistência;
- n = Dimensão da matriz;
- $\lambda_{\text{máx}}$ = autovalor máximo.

Para calcular o autovalor máximo, precisa-se medir o autovetor máximo. O autovetor máximo é alcançado com o seguinte procedimento:

1. Somam-se os componentes de cada coluna da matriz, conforme Tabela 1;
2. Seguidamente, divide-se cada componente da matriz pela somatória encontrada no passo 1, criando uma nova matriz, chamada de matriz normalizada;
3. Na matriz normalizada, somam-se os componentes de cada linha;
4. Os valores decorrentes do passo 3 são somados;
5. Todo valor resultante do passo 3 é dividido pelo valor resultante em 4, o que constitui o autovetor máximo.

A fim de obter do autovalor máximo, multiplica-se a matriz original, da Tabela 1, pelo autovetor máximo. Em seguida, a multiplicação soma-se os valores da coluna resultante e descobre-se o autovalor máximo ($\lambda_{\text{máx}}$). De acordo com Saaty (1991), uma matriz é consistente se apresentar IC menor que 0,1.

Saaty (2008) menciona que as prioridades são os pesos finais de cada critério. As mesmas podem ser calculadas com base na divisão de cada peso pela somatória dos pesos da sua coluna na matriz original, Tabela 1, e tornando-se por fim uma média entre os valores descobertos. A estruturação em níveis hierárquicos é uma fase importante para a solução do problema e seu correto entendimento. A estruturação começa pelo objetivo da decisão que fica no topo hierárquico, seguido dos critérios e alternativas, isso possibilita ao decisor uma ampla visão do sistema com todos seus componentes e interações (MARINS, 2009).

A segunda etapa do modelo hierárquico compreende a definição dos pesos e prioridades. Determina-se a influência de cada elemento em níveis distintos, calculando-se os pesos relativos dos impactos dos elementos em relação ao nível mais baixo e também sobre os objetivos gerais (SAATY, 1991). Deve ser realizada uma comparação paritária dos elementos, utilizando uma escala numérica que indica o peso dos elementos em relação aos outros, considerando os critérios ou propriedades a que são comparados (SAATY, 2008).

As comparações paritárias são representadas por uma matriz de decisão quadrada, sendo que a quantidade de interações necessárias para a construção de uma determinada matriz decisória genérica é $n(n-1)/2$, onde, n corresponde ao número de elementos pertencentes a ela.

A razão de consistência (RC) é determinada por meio do índice de Consistência (IC) e do índice Aleatório (RI), calculados pela expressão $RC = (IC/RI)$.

Sendo que, para valores de $RC < 0,1$, a matriz é considerada consistente, caso contrário o decisor a avaliação deve ser refeita. Saaty (1991), ainda ressalta que a matriz é consistente se autovalor $\geq n$, sendo índices aleatórios (RI – Randon Index) validados de acordo com n (número de critérios).

Bastos (2011) descreve que o método AHP busca agregar valores a cada alternativa em cada critério, sendo priorizada a importância relativa de n elementos em relação a um objetivo, são realizadas avaliações parciais dos elementos com a finalidade de facilitar a análise. Ao final é possível confrontar se os valores atribuídos a cada par de critérios são coerentes.

A maior vantagem do método AHP segundo Lañez e Cunha (2006) é possibilitar aos usuários atribuir pesos para atributos múltiplos ou múltiplas alternativas para um único atributo, realizando o comparativo sincronizado com as propostas. Pode ser utilizado em diversos ramos de atuação, marketing, programas de qualidade, planejamento estratégico e outros. Os SIG foram utilizados em conjunto com o AHP em estudos destinados a gestão das águas, desastres de inundações e gestão dos recursos hídricos (DEBRITO e EVERS (2016) e HAJKOWICS e COLLINS (2007).

Saaty (1991) menciona que a metodologia AHP “busca a melhor solução para diversas alternativas possíveis, priorizando a utilização de recursos, essas alternativas são ranqueadas por ordem de prioridades com base num conjunto de critérios pré-definidos, de acordo com a matriz e decisão”.

A combinação do método AHP com SIG aplicado ao problema de vulnerabilidade de inundação em uma área de expansão urbana pode ser visto no estudo dos autores Ouma e Tateishi (2014) que tinham por premissa fornecer conhecimento para o preparo cartográfico de uma base pública, por meio do mapeamento de risco na bacia hidrográfica do rio Sosianu, na cidade de Eldoret no Quênia. Os autores realizaram a estruturação dos problemas do método AHP, utilizando ocorrência de inundação e considerando a distribuição da precipitação, elevação e declividade, uso e cobertura da terra, assim como os tipos de solo e rede de drenagem.

O estudo de Magalhães *et al.* (2011) apresenta um comparativo entre dois métodos no mapeamento de áreas suscetíveis a risco de inundação no município de Guaçuí – ES. Para identificar o local que a inundação atingiu no perímetro urbano, utilizaram o GPS de navegação para mapear a área. O método AHP foi usado para

demonstrar uma segunda área de altíssimo risco de inundação para a área de estudo. O AHP foi elaborado em um software computacional ArcGIS10.

O ato de decidir requer eleger uma alternativa entre várias opções disponíveis. A decisão geralmente é realizada de maneira automática, e está ligada à origem da atividade humana que busca atingir o objetivo principal de resolver determinado problema (PEREIRA, 2007). A tomada de decisão em ambiente complexo torna difícil a decisão, pois, esta condição pode apresentar dados imprecisos ou incompletos, envolver múltiplos critérios e inúmeros agentes decisores. A metodologia multicritério de apoio a tomada de decisão não substitui a função do decisor, mas auxilia na melhor escolha, ou naquela mais adequada a cada tipo de problema, ressaltando as alternativas conhecidas e os resultados esperados e assim obtendo as prioridades (COSTA, 2006).

2.4 Plano Diretor de Município de Francisco Beltrão

O Plano Diretor é o principal instrumento para a política de desenvolvimento urbano municipal estabelecido pela Constituição Federal de 1988. Por meio do Plano Diretor os municípios estruturam o desenvolvimento e expansão das áreas urbanas. O seu uso é obrigatório em cidades que possuam mais de vinte mil habitantes, entre outras exigências (BRASIL, 2018).

Para Santos e Montandon (2011), o principal objetivo do Plano Diretor é a definição da função social da cidade e da propriedade urbana. Para isso, foi criado o instrumento de ordenação da cidade, regido pela Lei Federal nº 10.257 de 10 de julho de 2001 – Estatuto da Cidade, que assegura o atendimento das necessidades dos cidadãos em relação à qualidade de vida; à justiça social e ao desenvolvimento das atividades econômicas. O Plano Diretor é um instrumento básico fundamental da política urbana municipal, nele estão contidas as diretrizes de expansão urbana inseridas no contexto geográfico de uso e ocupação do solo (BRAGA, 2001).

Os municípios utilizam o Plano Diretor para nortear a política de desenvolvimento e de expansão urbana, aspiram a integração de aspectos socioeconômicos, físicos e ambientais e, assim, a gestão e proteção das águas são essenciais. Para Silva (2018) é “plano” porque se refere aos objetivos a serem atingidos, embora seja um plano geral e não possua necessidade de fixar prazos, nem responsáveis. Da mesma forma que é “diretor” porque estabelece as diretrizes

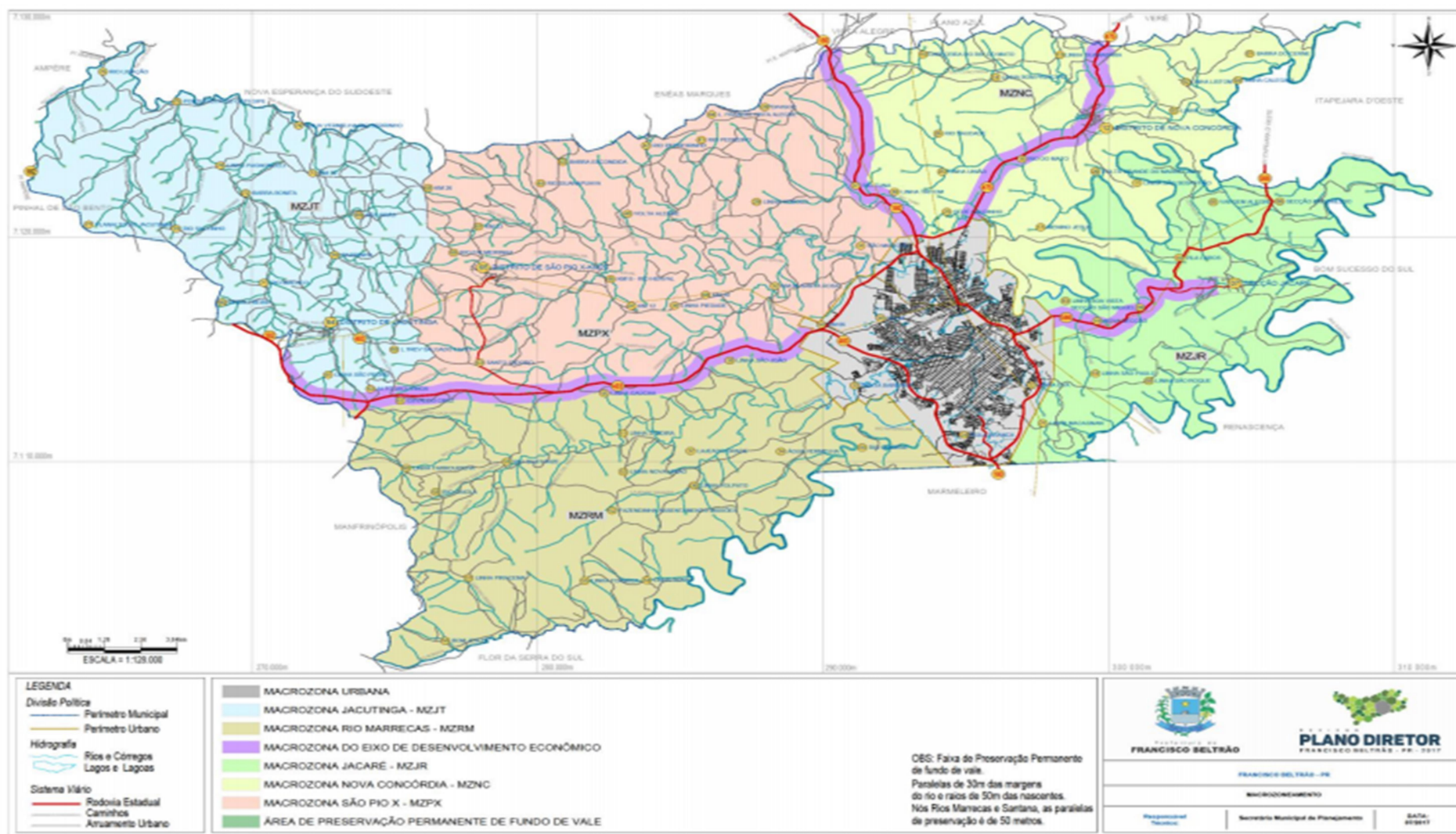
do desenvolvimento urbano do município. Segundo Botelho (2011) a gestão de recursos hídricos em bacias com predominância urbana, quando inclusas nas políticas de desenvolvimento urbano, tem por finalidade de planejamento o controle de inundações, preservação ambiental, uso de água para fins econômicos em geral, abastecimento urbano, coleta e tratamento das águas.

No município de Francisco de Beltrão, localizado no sudoeste do Paraná, o Plano Diretor é integrado pelo Plano de Ação e Investimentos, que viabiliza a articulação do Plano Diretor Municipal - PDM a todo o processo de planejamento orçamentário municipal, como o Plano Plurianual (PPA), Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO) e Lei de Orçamento Anual (LOA), conforme dados da própria secretaria municipal de planejamento. A combinação dos planos permite que as políticas e diretrizes de desenvolvimento estabelecidas pelo PDM se transformem em ações concretas. O Plano de Ação e Investimentos contempla ações, medidas e orçamentos que devem ser revisados e acompanhados continuamente ao longo de sua vigência de forma a adequar-se às políticas urbanas em andamento (Lei do Plano Diretor Municipal de Francisco Beltrão, 2018).

O PDM incorpora a Lei Estadual nº 15.229 que dispõe sobre normas para execução do sistema das diretrizes e bases do planejamento e desenvolvimento *estadual*. Desta forma, constitui este documento, na atualização do Plano de Ação e Investimentos para o período de 2018 a 2021. Nova atualização deve acontecer quando da próxima revisão do Plano Diretor Municipal, conforme prevê a Lei nº 10.257 de 2001 – Estatuto da Cidade, onde se institui a vigência de 10 anos para os Planos Diretores Municipais.

A Lei de zoneamento do uso e ocupação do solo urbano de Francisco Beltrão é a Lei nº 4.612/2018 de 31 de outubro de 2018. O município se divide em macrozonas e zonas urbanas (Figura 1).

Figura 1 – Macrozonas e zonas urbanas do município de Francisco Beltrão



Fonte: Lei municipal nº4.612/2018 (2018)

A Figura 1 mostra as macrozonas e áreas de preservação do município, assim como, a faixa de preservação permanente de fundo do vale. Paralelas de 30 metros das margens do rio e raios de 50 metros das nascentes, sendo, nos rios Marrecas e Santana as paralelas de preservação com 50 metros.

As macrozonas rurais do Município são delimitadas por rodovias, rios e córregos, divisas de municípios e limites dos perímetros urbanos, etc. As Macrozonas Urbanas são destinadas para a urbanização e são compostas pelo limite do perímetro urbano da sede, ou a cidade de Francisco Beltrão, pelos perímetros urbanos dos distritos de Jacutinga, São Pio X, Nova Concórdia e Seção Jacaré.

Destina-se aos usos predominante de habitação, do comércio e/ou à prestação de serviços, e tem a finalidade de atender aos usos e atividades característicos dos centros urbanos, conforme dados obtidos por meio da Lei municipal nº 4.612/2018.

2.5 Responsabilidade Civil do Estado por Desastres

A responsabilidade civil é toda ação gerada por uma violação da norma jurídica legal, diante disso, nasce uma obrigação de realizar o reparo do ato danoso. A responsabilidade civil do estado na concepção de Di Pietro (2006) está intimamente ligada ao poder administrativo, jurisdicional e a legislativa, porém, se fala com maior frequência da responsabilidade administrativa devido aos poderes legislativo e judiciário incidirem em casos excepcionais.

Noronha (2007) descreve que a Revolução Industrial contribuiu para o surgimento de riscos em diversas atividades advindos das máquinas pelo excesso de reparação de danos, por meio da grande mecanização do trabalho, modernização dos meios de transporte e outros fatores. Este fato deu origem a primeira teoria sobre a responsabilidade e mesmo após muitas décadas ainda existem divergências na conceituação de responsabilidade civil. A partir da Revolução Industrial notou-se o uso irracional do meio ambiente, provocando ameaças e riscos imprevisíveis e invisíveis, cooperando para a degradação ambiental.

Ao abordar a responsabilidade em relação ao meio ambiente utiliza-se a Constituição Federal de 1988 que descreve o direito ao meio ambiente

ecologicamente equilibrado, de uso comum, fundamental à sadia qualidade de vida. No texto, o dever de preservação é tanto da população quanto do poder público, ambos devem preservar o meio para as presentes e futuras gerações (Brasil 2018). A responsabilidade civil por desastres naturais confere ao estado o dever de reparação conforme § 6.º do art. 37 da Constituição Federal.

A Lei nº12.608 contempla a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informação e monitoramento e institui as competências da união, estados e municípios em relação aos desastres. Esta Lei busca a redução de ocorrências de desastres, recuperação de áreas afetadas e a ordenação do uso e ocupação do solo com intuito de a vida humana e o meio ambiente. A PNPDEC ressalta em seu texto que o dever é da União, dos Estados e do Distrito Federal, bem como dos municípios adotar as medidas necessárias a redução dos riscos de desastres, destacando que a “incerteza quando o risco de desastre não constituirá óbice para adoção das medidas preventivas e mitigadoras da situação de risco” (BRASIL, 2012b, p. 01).

Diante do exposto, é notório a necessidade de planejamento em todas as esferas do poder público em relação aos desastres. Portanto, os municípios devem monitorar as regiões sujeitas a ocorrência de desastres e de riscos, evitando a urbanização destas áreas pelo possível agravamento da situação e para auxiliar no processo de fiscalização destas áreas os SIG podem ser utilizados. A PNPDEC estabelece que “promover a fiscalização das áreas de risco de desastre e vedar novas ocupações nessas áreas” (BRASIL, 2012b, p. 01).

Segundo Farber (2013) os desastres tendem a aumentar a cada ano. Os fatores que contribuem para tal são o aumento populacional e mudanças climáticas, desta forma, este assunto deve estar sempre em evidência nas pautas e discussões políticas. O autor indica utilizar o ciclo de desastres que trata das ações diante destes fenômenos para auxiliar na tomada de decisão em relação a esses eventos. No mesmo viés, vale refletir sobre o “Ciclo do Direito dos Desastres” como instrumento indispensável de análise para prevenção, respostas, compensação e de reconstrução dos desastres.

O dano ambiental pressupõe a responsabilidade civil bem como sua reparação, e para isso há a necessidade de conhecimento das causas que levaram

ao ocorrido. Deste modo, o estado é o responsável pelo dano ambiental, uma vez que o mesmo tem o dever de agir para prevenir tal situação. Pois, ainda que não tenha plena convicção da extensão do dano futuro, sua gravidade, período exato de ocorrência, obtendo dados iniciais já se pode implementar medidas de reparação e responsabilização antes mesmo da ocorrência do evento. Assim, o estado passa a exercer não somente responsabilidade ressarcitória, mas também preventiva, para reduzir os impactos produzidos pelos danos (CARVALHO, 2013).

Constantemente os meios de comunicação noticiam desastres, e estudos apontam uma crescente no número de ocorrências. Somente planejar formas de reduzir esses eventos não é uma ação expressiva, é preciso realizar a reestruturação das áreas afetadas, monitorar e prevenir a ocorrência. Para as ações descritas se concretizarem o poder público deve estar comprometido e buscando frequentemente novas soluções.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico são discorridas as etapas do trabalho, tal como a área de estudo e os seus parâmetros considerados no AHP para mapeamento das áreas suscetíveis a inundações urbanas.

3.1 Caracterização da Pesquisa

É importante evidenciar que a abordagem e o tipo de pesquisa instigam a caracterização dos sujeitos participantes da pesquisa, ou seja, aqueles que fornecerão os dados de que o trabalho necessita (ZANELLA, 2013). Este trabalho encaixa-se tanto como pesquisa quantitativa quanto qualitativa. Quantitativa, pois, conforme Zanella (2013) emprega um modo que pode ser apresentado por meio de números, como é o caso do AHP.

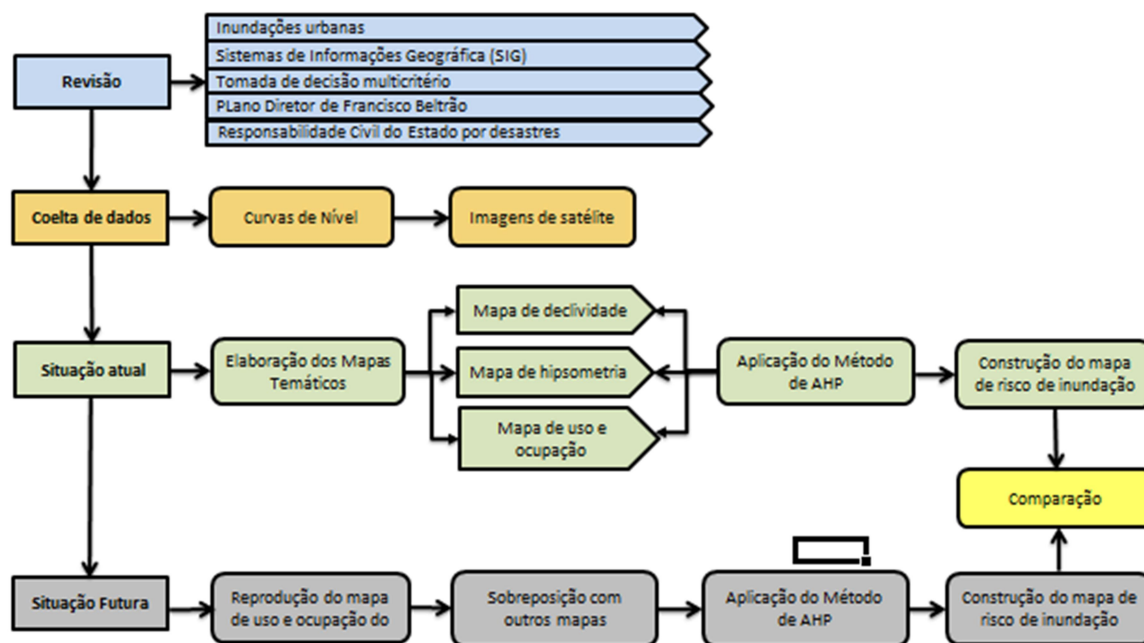
A pesquisa qualitativa caracteriza-se, por examinar evidências baseadas em dados verbais e visuais para entender um fenômeno, e também por não utilizar de instrumentos estatísticos de análises de dados. Esse modelo de análise tem por estrutura conhecimentos teórico-empíricos que permitem conceder-lhe cientificidade (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Assim esta pesquisa é considerada também como qualitativa por seu resultado ser analisado por meio de mapas temáticos que visam alertar a sociedade em relação às inundações urbanas.

De acordo com os objetivos gerais, este trabalho classifica-se como exploratório e explicativo. Explicativo por identificar as origens das inundações urbanas, e exploratório por pesquisar a área de estudo em relação aos motivos que influenciam nas inundações. O estudo define-se como bibliográfico, pois se fundamenta em trabalhos como artigos científicos, e classifica-se ainda como um estudo de caso. Por percorrer os aspectos influenciadores de um contexto do nosso dia a dia (GIL, 2002), que no cenário são as inundações no município de Francisco Beltrão/PR.

3.2 Etapas da Pesquisa

A Figura 2 demonstra uma perspectiva geral da pesquisa, que foi dividida em quatro etapas principais.

Figura 2- Etapas da pesquisa



Fonte: Autora (2021)

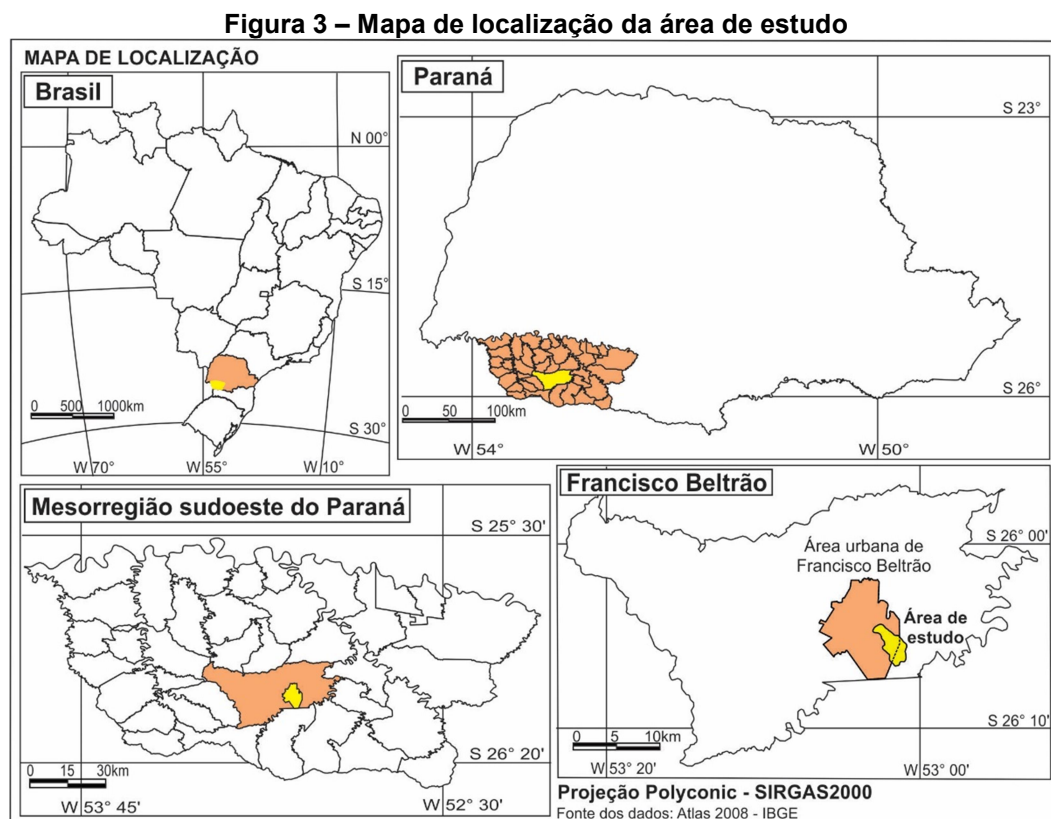
No primeiro tópico do estudo, apresenta-se a revisão de literatura para explicar o contexto das inundações urbanas, tal como o uso do SIG como assistente em trabalhos sobre este tipo de desastre natural, os Métodos de Tomada de Decisão Multicritério e suas aplicações estudo das inundações. Em seguida, a pesquisa segue para a coleta de dados.

Posteriormente a segunda etapa, a pesquisa divide-se em duas fases, a situação atual e a situação futura. Na situação atual a área de estudo é analisada com o auxílio dos mapas temáticos de declividade, hipsometria e uso e ocupação do solo. Em seguida, com a aplicação do método AHP, estes mapas temáticos devem ser sobrepostos e dessa forma, será elaborado o mapa das áreas de risco de inundação.

O tópico situação futura apresentará, de acordo com Plano Diretor do município, o mapa de uso e ocupação do solo, indicando o potencial de urbanização de Francisco Beltrão na região especificada. O novo mapa de uso e ocupação do solo será sobreposto com os demais mapas temáticos com base na metodologia do AHP. Conseqüentemente, será gerado o mapa das áreas que tem potencial para as inundações urbanas caso a área de estudo seja apropriada de acordo com o Plano Diretor.

3.3 Área de Estudo

A área de estudo faz parte da bacia hidrográfica do Rio Urutago, com um perímetro total de 12,8 km e área total equivalente a 724,17ha. E está situada no perímetro urbano do município de Francisco Beltrão, Paraná, como mostra a Figura 3.



Fonte: Autora (2021)

Situada na região Sudoeste do Paraná, a bacia hidrográfica do rio Marrecas compreende os territórios dos municípios de Flor da Serra do Sul, Marmeleiro, Francisco Beltrão, Verê e Itapejara D'Oeste.

O rio Marrecas é o maior afluente do rio Santana, dependente do rio Chopim, que por sua vez desagua na bacia hidrográfica do rio Iguaçu (LUZ, 2011). O mesmo é um dos recursos hídricos mais importantes do município, transpondo o território de Francisco Beltrão, sendo o principal manancial encarregado pelo abastecimento de água à população residente no espaço urbano.

Totalizando uma extensão de 865,43 km² de área e 164,9 km de perímetro, a bacia do rio Marrecas é constituída por 60 sub-bacias formadas por 465 canais tributários, que somam uma área de 970,67 km² de extensão (LUZ, 2011).

Francisco Beltrão possui área de aproximadamente 735.111 km² e uma população estimada de 93.308 habitantes para o ano de 2021 (IBGE, 2020). A cidade está localizada em região de clima subtropical com temperatura média anual do ar entre 18 e 19°C, e com precipitação anual entre 2.000 e 2.200 mm (IAPAR, 2019).

Levando em consideração o desenvolvimento histórico de formação do espaço urbano, é necessário destacar que a cidade desenvolveu-se no entorno do rio Marrecas, abrangendo suas margens e as de seus afluentes (SANTIS, 2000). Conforme estudos, o processo de ocupação e da criação territorial do município de Francisco Beltrão está diretamente associado ao rio Marrecas.

De acordo com Farias (2019), o acontecimento mais antigo de inundação registrado em Francisco Beltrão transcorreu em 1954. No decorrer desse fato, as águas dos rios Marrecas e Lonqueador transbordaram, inundando ruas e casas, gerando danos e prejuízos materiais.

Com a verificação das ocorrências de chuvas intensas e cheias no rio Marrecas, que derivaram em alagamentos e inundações no perímetro urbano de Francisco Beltrão entre os anos de 1954 e 2016, foi apurado um total de 89 (oitenta e nove) desastres hidrometeorológicos. Diante dos números, há uma preocupação crescente em torno dos desastres periódicos, principalmente nas últimas décadas. Entre 2014 e 2019 ocorreram 24 (vinte e quatro) desastres hidrológicos, uma média de 2,4 episódios por ano, o que instiga a atenção da população de Francisco Beltrão, dos órgãos de Proteção e Defesa Civil e da gestão pública municipal e estadual (FARIAS, 2019).

Ao analisar o contexto urbano de Francisco Beltrão, constata-se que o acentuado processo de urbanização se expande às sub-bacias, constituídas pelos afluentes do rio Marrecas. O acelerado crescimento demográfico e a intensificação das atividades antrópicas vêm provocando efeitos negativos na rede de drenagem (FARIAS, 2019).

No presente ano, como mostra Figura 4, o município também passou por eventos de inundação.

Figura 4 - Inundação na região do rio Urutago



Fonte: Rbj (2021)

A inundação representada pela Figura 4 ocorreu no dia 25 de janeiro de 2021 e tomou as ruas no entorno do rio Urutago, no bairro Luther king.

3.3.1 Solos da área de estudo

Segundo o Relatório Final do “Projeto Riquezas Minerais: avaliação do potencial mineral e consultoria técnica no município de Francisco Beltrão”, desenvolvido pelo Mineropar (2002), a composição geológica de Francisco Beltrão é caracterizada por rochas basálticas da Formação Serra Geral.

De acordo com a análise, descreve-se que, no decorrer o processo de alteração das rochas basálticas para a formação do solo, sobram frações de rocha que vão se escamando em perfil de alteração esferoidal, frequentemente analisada nas encostas do município (MINEROPAR, 2002).

Figura 5 – Trecho do Rio Marrecas com afloramento de rochas basálticas



Fonte – Farias (2019)

Os técnicos da Mineropar, ao examinar o solo da região de Francisco Beltrão, reconheceram a presença prevalente de latossolo roxo, com profundidade alta essencialmente nas porções aplainadas do relevo (FARIAS, 2019).

A propriedade física mais relevante destes solos é a grande densidade, que ultrapassa geralmente 3 metros, mas pode passar dos 10 metros nas regiões de relevo plano. Tais solos são característicos dos relevos com declividades de 2% até 8%, com menos frequência até 12% e raramente até 15% (MINEROPAR, 2002).

3.4 Situação Atual

Uma das finalidades desta pesquisa é mapear as áreas suscetíveis a inundações de acordo com a urbanização presente. Para tal, primeiro foram abordados os fatores ou critérios que influenciam na ocorrência de inundações. Tais foram selecionados a partir da bibliografia e da disponibilidade de dados em Francisco Beltrão.

São aspectos fundamentais para a ocorrência de inundações: a declividade e a elevação do terreno. A declividade atua na velocidade do escoamento superficial. Portanto, encostas íngremes resultam em maior velocidade de escoamento, ao passo que em terrenos planos a água escoar lentamente e pode concentrar no seu

entorno. Deste modo, regiões planas são mais propensas a inundações. Quanto menor a declividade, menor é a velocidade e capacidade de escoamento dos cursos d'água. Também influencia em vários outros fatores dentro de uma bacia, como na infiltração e susceptibilidade à erosão (TUCCI, 2007). A elevação do terreno, também é fator significativo visto que influencia na extensão e profundidade das inundações (BATHRELLOS *et al.*, 2017; GICOVIĆ *et al.*, 2017; RAHMATI; ZEINIVAND; BESHARAT, 2016).

O número crescente de pessoas vivendo em áreas de risco de deslizamentos, enchentes e inundações têm sido uma das características negativas do processo de urbanização e do crescimento desordenado das cidades brasileiras, o que se verifica, principalmente, nas regiões metropolitanas onde a pressão sob o uso e ocupação do solo urbano é ainda maior. De acordo com o Ministério das Cidades (2007), o problema da ocupação das áreas de riscos nas cidades brasileiras está associado a aspectos de ordem política, econômica, social e cultural. Uma das hipóteses deste trabalho é de que a expansão das áreas urbanas pode intensificar as inundações em Francisco Beltrão. Assim, o uso e ocupação do solo é fator importante para a pesquisa. Regiões cobertas por vegetação permitem a infiltração da água no solo e são menos propensas a inundações. Já a impermeabilização do solo nas áreas urbanas torna estes espaços mais expostos aos eventos (RAHMATI; ZEINIVAND; BESHARAT, 2016).

Assim sendo, foram selecionados 3 fatores como importantes na ocorrência de inundações: declividade, elevação e uso e ocupação do solo. Estes parâmetros estão representados através de mapas, descritos a seguir, e serão utilizados para posterior aplicação do método AHP. Todos os mapas foram elaborados em um ambiente SIG, no software SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas).

3.4.1 Mapa de declividade

O mapa de declividade foi elaborado a partir do Modelo Digital de Elevação WORLDDDEM da área de estudo. De posse do MDE foram interpoladas as curvas de nível, equidistantes em 1m que deram origem a uma grade triangular TIN elaborada pelo SPRING. A partir da grade TIN, medida a distância segmentada entre as curvas de nível, calculando-se a porcentagem de inclinação do terreno, dividida depois em

sete classes de declividade. As superfícies mais planas, com declividades mais suaves, que permitem o acúmulo das águas e, portanto, contribuem mais para a ocorrência de inundações quando comparadas com as declividades mais acentuadas, foram divididas de forma mais detalhada, já que apresentam maior influência nas inundações, enquanto que as declividades superiores foram agrupadas em espaços intervalares maiores.

3.4.2 Mapa de hipsometria

Um dos aspectos que influenciam nas inundações é a elevação do terreno, representada pelo mapa de hipsometria. A hipsometria do terreno é resultado direto do Modelo Digital de Elevação (WORLDDDEM) através da função fatiamento do SPRING, onde a diferença altimétrica (maior altitude menos a menor altitude) de 180m da área do terreno foi dividida em cinco classes, com intervalo de 36m. As classes de elevação ou classes de hipsometria foram definidas a partir das próprias cotas altimétricas do terreno da área de estudo.

3.4.3 Mapa de uso e ocupação do solo

O mapeamento do uso e ocupação do solo da área de estudo possibilita a identificação das regiões já urbanizadas. Para isto, foram aplicadas imagens do satélite com boa resolução espacial, oriundas do aplicativo Google Earth Pro, datadas de junho de 2010, setembro de 2016 e agosto de 2020, para comparativo dos anos, após salvas foram georreferenciadas (processo de registro) e importadas para o Banco de Dados do SPRING. Os mapas de uso da terra foram elaborados através da digitalização manual (vetorização) das classes agricultura, área urbana, campo, floresta, lâmina d'água e pedreira.

3.4.4 Aplicação do método AHP

A metodologia AHP será aplicada para conceder o grau de atuação de cada critério no acontecimento dos eventos de inundação. Para a utilização do Método de Análise Hierárquica, serão utilizados os procedimentos de cálculo expostos nos trabalhos de Thomas L. Saaty, criador do método.

Conforme Saaty (2008), para a utilização do AHP é necessário seguir alguns passos:

1. Determinar o problema e o que se pretende compreender;
2. Organizar a análise hierárquica para desintegrar o problema em critérios que necessitam ser decompostos em subcritérios até o nível mais baixo de hierarquia;
3. Elaborar uma matriz de comparação equiparada entre os critérios;
4. Detectar as prioridades e validar a consistência da matriz de comparação.

No passo 1, neste trabalho a finalidade do uso do AHP é desenvolver mapas que determinem, as áreas suscetíveis a inundações com base no conhecimento de quais fatores mais influenciam nestes eventos. Para o segundo passo, os critérios foram indicados como descrito no item 3.4 para a situação atual, que consiste em mapear as áreas suscetíveis a inundações através dos mapas de declividade, hipsometria e uso e ocupação do solo e no item 3.5 subsequente, para a situação futura, analisaremos através do plano diretor do município a atuação do potencial de urbanização.

Já o terceiro passo, para aplicação do AHP, é a criação de uma matriz para comparação pareada entre os critérios. Esta comparação é realizada com o uso da escala fundamental de Saaty, apresentada no Quadro 1.

Quadro 1: Escala fundamental de Saaty

Intensidade da importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	Ambos os itens (critérios ou alternativas) contribuem igualmente para atingir o objetivo
2	Importância ligeiramente superior	
3	Importância Moderada	Experiência e julgamento favorecem ligeiramente um item (critérios ou

		alternativas) sobre o outro
4	Mais moderada	
5	Forte Importância	Experiência e julgamento favorecem fortemente um item sobre o outro
6	Mais forte	
7	Importância muito forte	Um item é muito fortemente favorecido em detrimento de outro; sua dominância é demonstrada na prática
8	Muito mais forte	
9	Importância absoluta ou extrema importância	A evidência favorecendo uma atividade sobre a outra é da mais alta ordem possível de afirmação
n, 1 a n, 9	Quando as atividades são muito próximos um decimal adicionado a 1 para mostrar a sua diferença, conforme apropriado	Comparar duas atividades estreitas, favorecendo a maior com o acréscimo de decimais
Recíprocos	Valores inversos aos pesos de julgamentos: $(1/n)$ onde "n" é o peso atribuído	Suposição lógica

Fonte: Saaty (2013)

Esta escala expressa em números o quanto um critério é mais significativo do que outro para a resolução do problema e tomada de decisão (SAATY, 2008). Desse modo, os valores numéricos da primeira coluna do Quadro 1, chamados também de pesos, serão conferidos aos critérios.

Saaty (2008) discorre que o AHP é um método de comparações pareadas fundamentado em julgamentos de especialistas. Desta forma, a atribuição destes

pesos para a construção da matriz de comparação pareada será obtida pelos dados da dissertação da mestra Isabel Dalanhol, realizada no ano de 2019.

A atribuição dos pesos foi feita por meio de questionário aplicado pela mestra, no qual cada um dos especialistas realizou a classificação dos indicadores, utilizando as variáveis linguísticas, para avaliar a importância de cada critério em relação ao estudo. Cada especialista agregou a importância de acordo com sua visão.

Nesta pesquisa, as prioridades, depois de calculadas, serão multiplicadas pelo mapa de cada critério no Spring, resultando no mapa com as áreas suscetíveis a inundações.

3.5 Situação Futura

O propósito deste trabalho é relacionar a urbanização com as inundações. Um dos objetivos é analisar a atuação do potencial de urbanização, de acordo com o Plano Diretor, nas ocorrências de inundações no município de Francisco Beltrão. Nos dias de hoje, as regiões urbanas da área de estudo não envolvem todo o espaço do perímetro urbano, modificado ao longo do tempo conforme descrito em 2.4. Portanto, a finalidade é atribuir que o perímetro urbano seja integralmente preenchido dentro da área de estudo conforme permite Plano Diretor. Assim, apurar a influência dessa nova configuração da urbanização nas inundações para um contexto de situação futura.

Para a situação futura serão empregados os mesmos parâmetros da situação atual. O mapa de declividade, hipsometria e de uso e ocupação do solo a serem utilizados serão os mesmos descritos em 3.4. Todavia, com o propósito de constatar a influência da capacidade de urbanização da área de estudo nas inundações do município, o mapa de uso e ocupação do solo será refletido para a situação futura.

O Plano Diretor do município foi utilizado como base para a estimativa da urbanização. O delineamento mais atual do perímetro urbano será posto sobre o mapa de uso e ocupação do solo da situação atual. No software spring, as regiões ainda não urbanizadas serão completadas manualmente com a classe “áreas urbanas”. As possíveis áreas de preservação serão consideradas.

Foram definidas duas situações futuras:

- Situação futura 1 (SF1): ocupação parcial do restante da área de estudo para o ano de 2030;
- Situação futura 2 (SF2): ocupação total do restante da área de estudo.

Para criar um cenário de urbanização para os próximos 10 anos (2030), realizou-se o cruzamento dos locais onde a cidade cresceu nos últimos anos (através das imagens) com diferentes mapas, para atribuir pesos as classes onde mais teve expansão. Com esses pesos foram verificado os locais mais propícios para o crescimento futuro.

Na concepção final do mapa de inundação da situação futura, o método AHP será empregado da mesma maneira como apresentado no item 3.4.5. As prioridades e valores de cada critério, do mesmo modo serão os mesmos da situação atual. A distinção se originará exclusivamente pelo mapa de uso e ocupação do solo.

3.6 Reclassificação e Sobreposição dos Critérios

Para mapear áreas propensas a inundações, os critérios representados neste trabalho são sobrepostos em um ambiente SIG. Esses mapas são sobrepostos para obter 5 classificações finais de suscetibilidade a inundações. As 5 categorias foram selecionadas com base em outros trabalhos (OUMA; TATEISHI, 2014; PAPAIOANNOU, G.; VASILIADES, L.; LOUKAS, 2015; BATHRELLOS *et al.*, 2017; GICOVIĆ *et al.*, 2017) que também utilizando SIG e AHP. Os níveis de suscetibilidade considerados foram: (1) muito baixo, (2) baixo, (3) moderado, (4) alto e (5) muito alto.

Para representar a classificação final de suscetibilidade, cada critério (cada mapa) também reorganizou sua classificação de acordo com os 5 mencionados acima. Por exemplo, no caso de um mapa de declividade, as menores declividades têm maior impacto na ocorrência de inundações, podendo ser reclassificadas para representar um nível de suscetibilidade "muito alto" ou "alto". Portanto, os critérios para todas as categorias são normalizados em uma escala de 1 a 5. Um valor de 1 indica uma sensibilidade mais baixa (ou muito baixa) à inundação em comparação com as outras categorias, e um valor de 5 indica uma sensibilidade mais alta (ou muito alta). A normalização ou reclassificação de classes de mapas é feita usando *spring* e de acordo com a tabela 2.

Tabela 2- Escala de valores para reclassificação dos critérios

Critério	Classe	Escala
Declividade	< 2 %	5
	2 - 4 %	5
	4 - 6 %	4
	6 - 8 %	3
	8 - 12 %	2
	12 - 20 %	1
	> 20 %	1
Hipsometria	539 – 575m	5
	575 – 611m	4
	611 – 647m	3
	647 – 683m	2
	683 – 719m	1
Precipitação	2.030 mm	3
Uso e ocupação do solo	Áreas urbanas	5
	Lâmina d'água	5
	Pedreira	5
	Cultivo Agrícola	3
	Pastagens	2
	Cobertura Florestal	1
Cenário I (mapa de uso 2030)	Áreas urbanas	5
	Lâmina d'água	5
	Pedreira	5
	Cultivo Agrícola	3
	Pastagens	2
	Cobertura Florestal	1
Cenário I (urbanização mapa zoneamento)	Áreas urbanas	5
	Lâmina d'água	5
	Pedreira	5
	Cultivo Agrícola	3
	Pastagens	2
	Cobertura Florestal	1
	APM	1
	APP	5

Fonte: Autora (2022)

Na Tabela 2, foram apresentados os valores de atribuição da escala baseados na bibliografia (OUMA; TATEISHI, 2014; RAHMATI; ZEINIVAND; BESHARAT, 2016; BATHRELLOS *et al.*, 2017), onde se buscou avaliar qual classe de cada critério que mais influencia a ocorrência de enchentes e qual o valor que cada autor atribuiu a ele.

No caso da precipitação, os autores atribuem valores mais altos à precipitação média anual mais alta e valores mais baixos à precipitação média anual mais baixa. Como a precipitação tem apenas uma categoria neste trabalho, foi atribuído um valor intermediário de 3, representando uma sensibilidade moderada. Este valor foi escolhido para que a precipitação média anual superior a 2.030 mm represente mais suscetibilidade inundações e a precipitação média anual inferior a 2.030 mm represente menos suscetibilidade.

Após a reclassificação, seguiu-se para a sobreposição dos mapas no Spring. Para isto, utilizaram-se os pesos obtidos no AHP para cada critério. Esses pesos são multiplicados por seus respectivos mapas para criar um mapa de sensibilidade. Este procedimento ocorre da mesma forma tanto para a situação atual quanto para o futuro.

4 RESULTADOS

Neste item são apontados os pesos de cada critério alcançados a partir do AHP, como a concretização destes critérios em mapas. Também, são exibidos os mapas de áreas suscetíveis a inundações para a situação atual e situações futuras.

4.1 Mapeamento dos Critérios

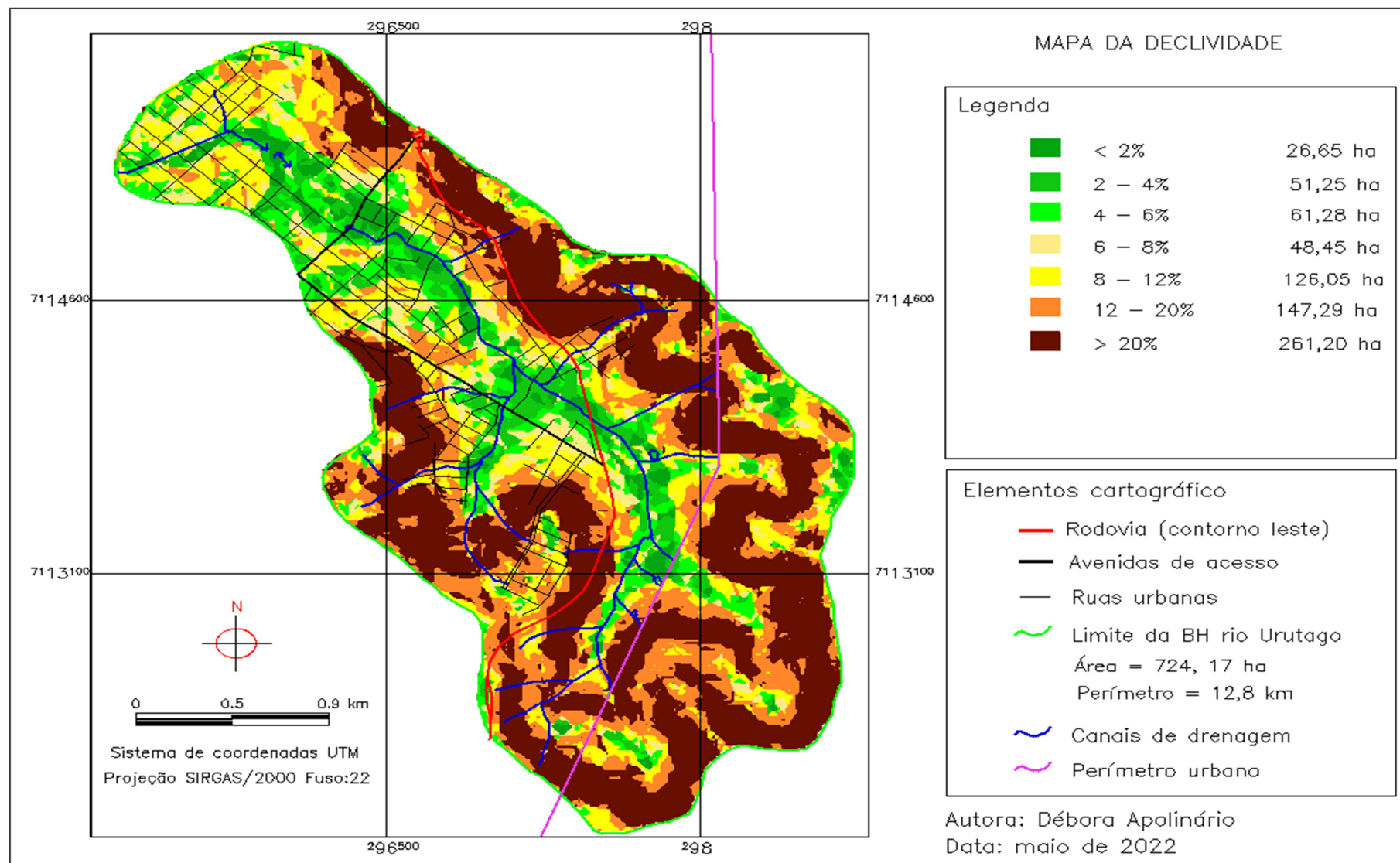
O mapa de declividade especifica quais são as áreas íngremes e planas do local de estudo. Assim, é possível averiguar onde a água procedente do escoamento superficial tem potencial de acumular e promover as inundações. A Figura 6 demonstra o mapa de declividade da área de estudo, onde se classificou como plano, suave ondulado, ondulado, moderadamente ondulado, forte ondulado, montanhoso.

As classes de declividade foram divididas de modo em que as classes de menor declive, as que mais têm influência nas inundações, fossem mais detalhadas e as de maior declividade foram agrupadas.

De acordo com a Figura 6, pode-se observar que as regiões com maior declividade, em vermelho, estão localizadas nos afluentes. Assim, quanto maior a declividade menor a probabilidade de inundações nesta região, visto que a velocidade de escoamento é maior. Já as áreas planas, indicadas pela cor verde, estão mais suscetíveis a inundações se posicionadas nas cotas mais baixas do relevo, pois nas áreas mais planas a água esco paulatinamente e pode se acumular (BATHRELLOS *et al.*, 2017; GICOVIĆ *et al.*, 2017; RAHMATI; ZEINIVAND; BESHARAT, 2016).

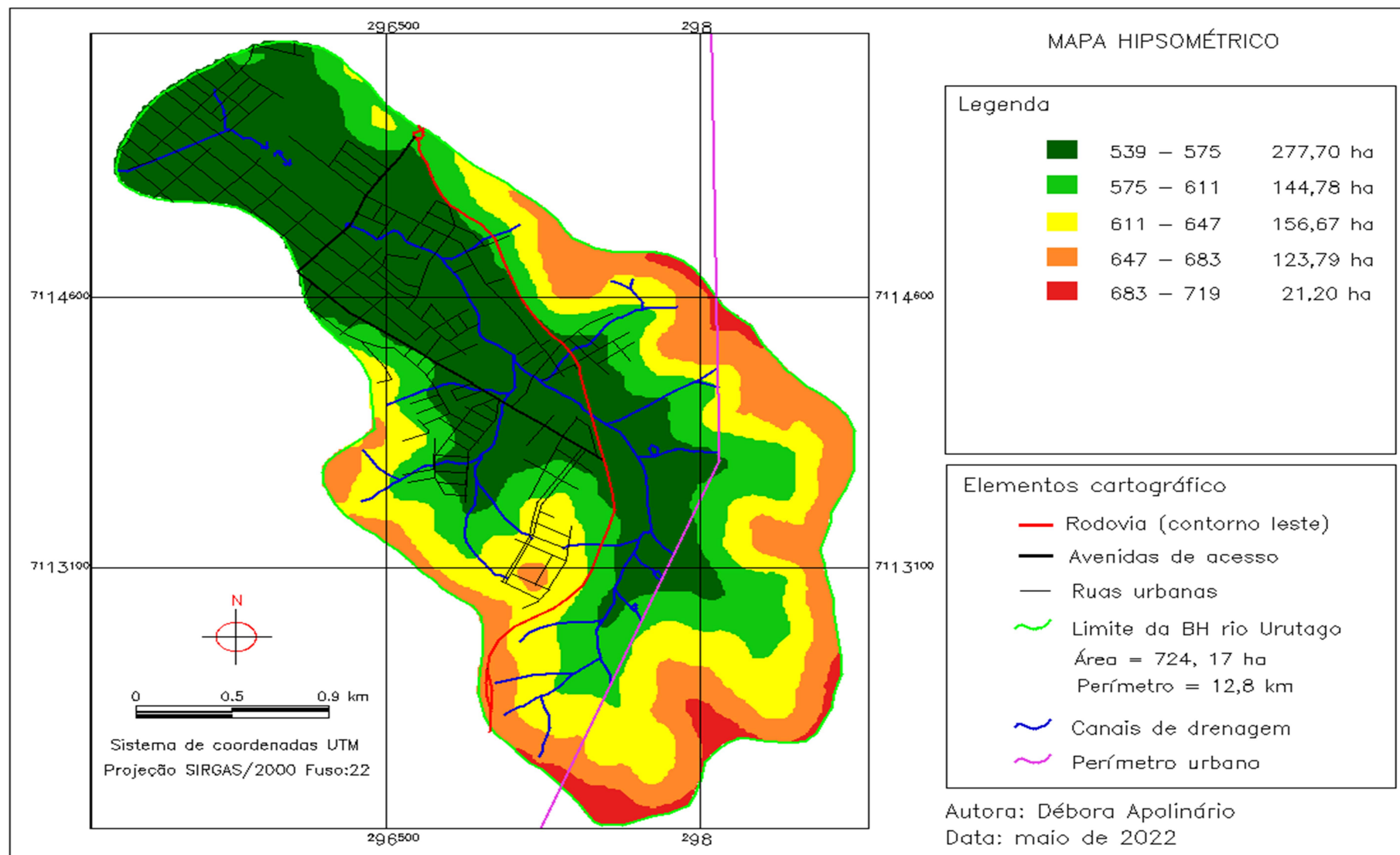
A altitude da área de estudo, elemento significativo para a ocorrência de inundações, foi caracterizado pelo mapa de hipsometria, como mostra Figura 7.

Figura 6 – Mapa de declividade da área de estudo



Fonte – Autora (2022)

Figura 7 – Mapa de hipsometria da área de estudo



Fonte: Autora (2022)

As classes de hipsometria foram determinadas conforme as cotas do terreno. Isto é, dividiu-se a área de estudo em 5 classes entre a menor cota, de 539 metros, e a maior cota, de 719 metros. Esse item é critério significativo para a ocorrência de inundações por que aponta a direção do escoamento superficial (RAHMATI; ZEINIVAND; BESHARAT, 2016).

Dessa forma, a água que precipita nas regiões mais altas é escoada para as áreas com menor cota. Portanto, na Figura 7 a cor verde-escura corresponde às regiões mais baixas da área de estudo, em direção onde deve ser conduzido o escoamento superficial. Como decorrência, ao comparar o mapa de hipsometria com o mapa de declividade, as regiões centrais e noroeste da área de estudo são vulneráveis da ocorrência de inundações.

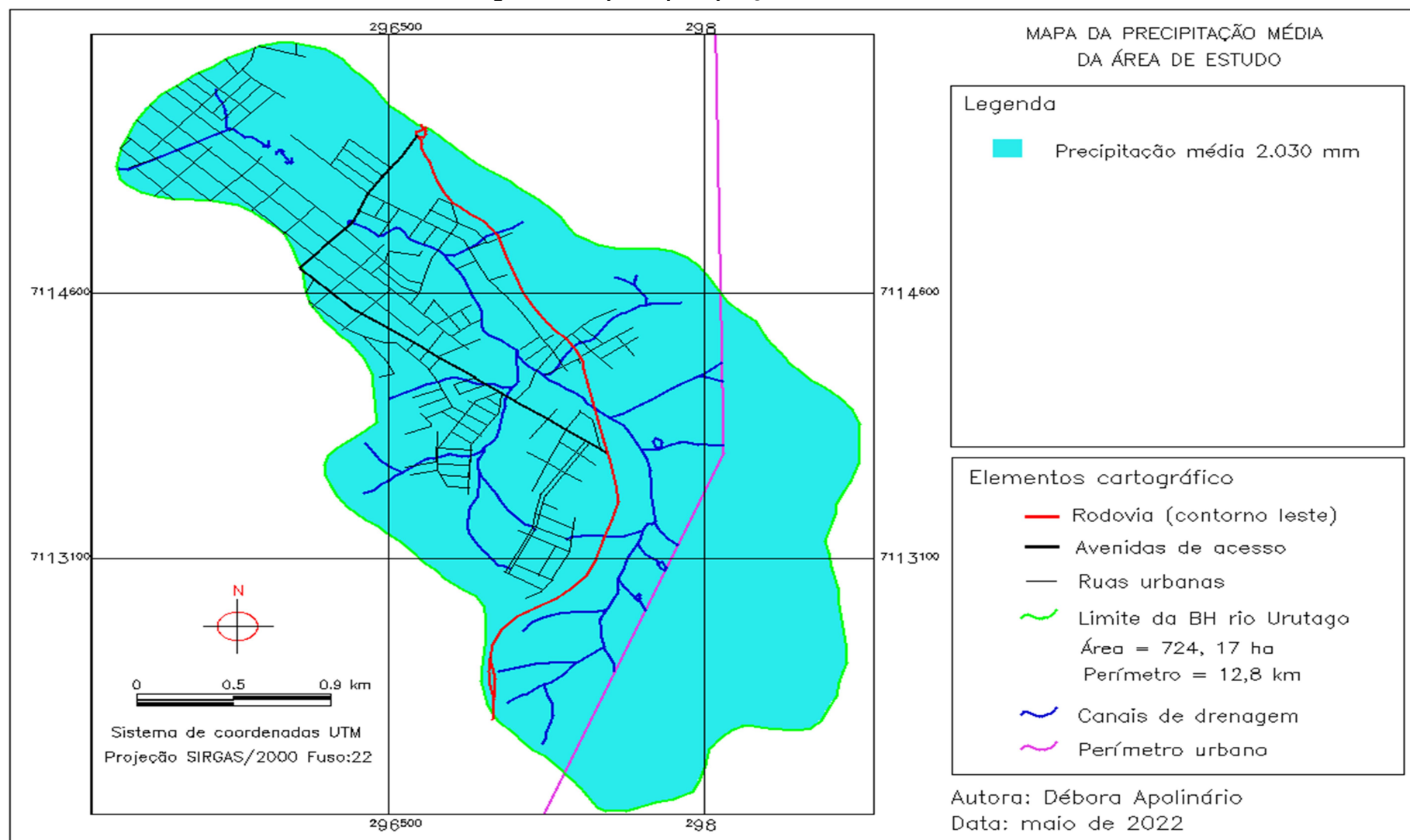
O parâmetro da precipitação também foi realizado em mapa para sobreposição com os demais critérios. As informações para execução do mapa de precipitação aplicada correspondem ao período entre os anos de 1974 e 2020, como mostra Figura 8.

Figura 8 – Resumo Climatológico

INSTITUTO AGRONOMICO DO PARANA																ÁREA DE ECOFISIOLOGIA	
ESTACAO: FRANCISCO BELTRAO / CODIGO: 02653012 / LAT: 26.05 S / LONG: 53.04 W / ALT: 650 M																PER.: 1974/2020	
MES	TEMPERATURA DO AR (.c)					U. REL		VENTO		PRECIPITACAO			EVAPOR.		INSOL.		
	média máxima	média mínima	máxima abs	ano	min abs	ano	média comp	média %	dir pr.	m/s	total	máxima 24h	ano	dias chuva	total mm	total horas	
JAN	30,2	18,5	36,4	1991	8,0	1974	23,6	75			190,2	146,8	1980	14	79,6	220,6	
FEV	29,9	18,3	37,6	2014	8,7	1991	23,2	76			173,3	131,0	1983	13	65,7	190,6	
MAR	29,2	17,0	37,4	2005	3,4	1976	22,2	76			145,0	98,4	1983	11	71,8	213,2	
ABR	26,2	14,2	33,8	2007	1,0	1999	19,3	77			163,4	178,0	2010	9	59,5	190,7	
MAI	22,3	10,9	31,9	1981	-0,2	2007	15,7	81			193,7	176,5	2014	10	48,4	170,4	
JUN	20,8	9,5	31,0	1974	-4,2	1978	14,2	81			163,7	183,6	1991	10	43,3	146,0	
JUL	21,2	9,0	30,0	1994	-5,0	1975	14,2	77			129,2	137,8	1983	9	59,2	174,6	
AGO	23,4	10,2	34,0	1999	-2,4	1984	16,0	71			110,5	152,0	2011	8	78,7	195,7	
SET	24,7	12,1	36,6	2020	-0,4	2002	17,7	70			157,6	116,0	2014	10	82,8	182,8	
OUT	26,9	14,7	37,2	2020	3,3	1982	20,2	71			250,7	113,2	1975	12	84,2	198,9	
NOV	28,4	15,9	38,3	1985	4,8	1995	21,7	69			178,9	137,0	1982	11	90,9	221,7	
DEZ	29,7	17,7	38,2	1985	8,6	2010	23,1	72			173,5	117,0	1994	12	86,9	219,4	
ANO	26,1	14,0					19,3	74,6			2030			131	851	2325	
EXT			38,3	1985	-5,0	1975						183,6	1991				

Fonte: Iapar (2021)

Figura 9 – Mapa de precipitação média da área de estudo.



Fonte: Autora (2022)

De acordo com a Figura 8 entre os anos de 1974 e 2020 a precipitação média anual foi de 2030 mm. O valor de precipitação média anual foi utilizado para geração do mapa de precipitação como mostra a Figura 9.

Conforme apresentado na metodologia e com a Figura 9, o raster gerado para caracterizar o mapa de precipitação é homogêneo, ou seja, compreende apenas uma classe. Conseqüentemente, não seria necessário apresentar o seu resultado, pois o valor não varia na área de estudo. Entretanto, ele foi considerado para evidenciar que mesmo com uma única classe o raster de precipitação foi sobreposto com os demais mapas para gerar as áreas de suscetibilidade a inundações urbanas.

Baseado nas imagens de satélite, o mapeamento do uso e ocupação do solo foi desenvolvido. No decorrer da criação do mapa foram apontadas manualmente 6 classes principais de uso do solo, como mostra a Figura 10.

Na Tabela 3, delimitou-se a área através das classes definidas.

Tabela 3 – Classes de uso e ocupação para o ano de 2020

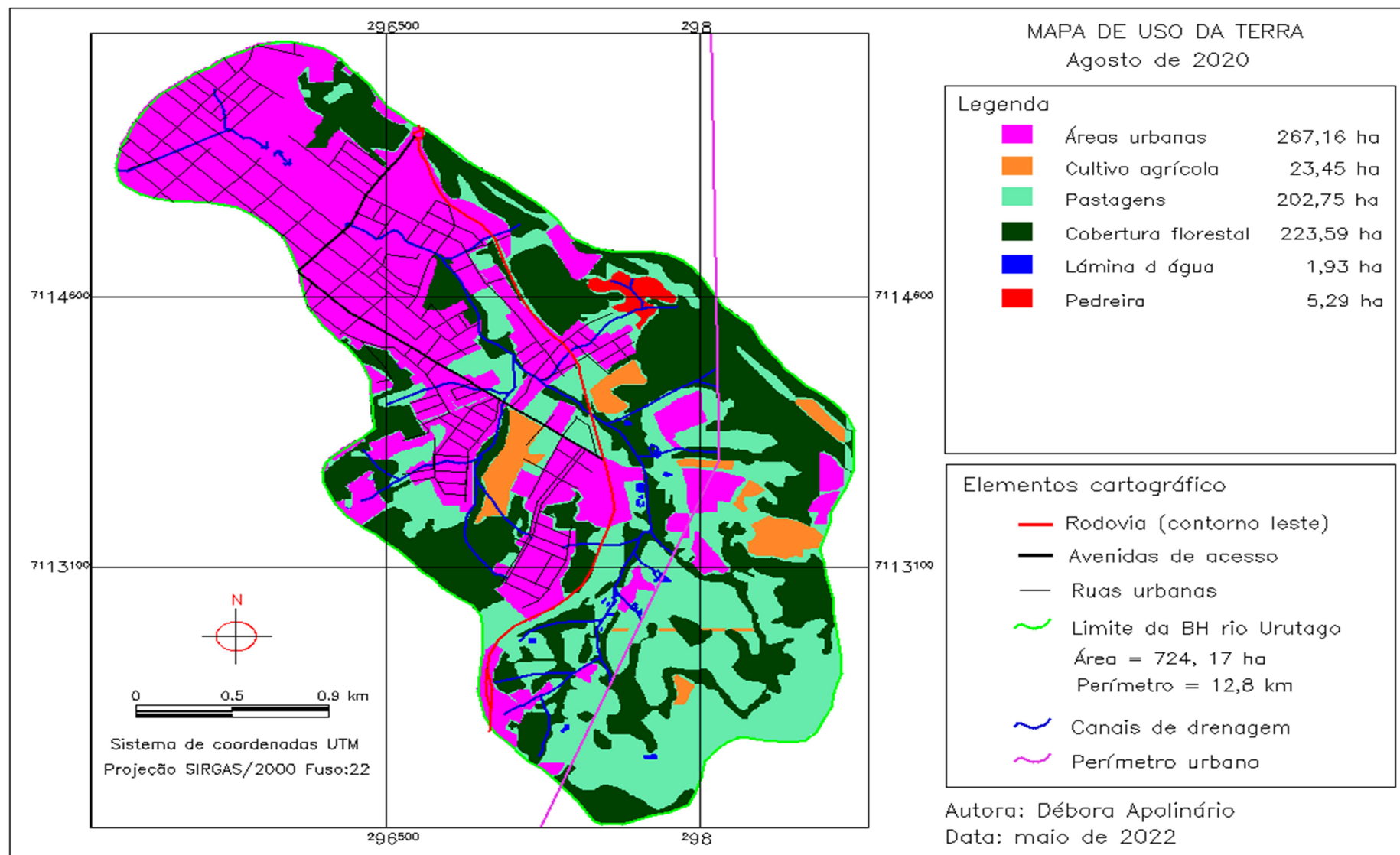
Classe de uso	Área (hectares)
Áreas Urbanas	267,16
Cultivo Agrícola	23,45
Pastagens	202,75
Cobertura Florestal	223,59
Lâmina d'água	1,93
Pedreira	5,29
TOTAL	724,17

Fonte: Autora (2022)

A cor rosa determina as regiões já urbanizadas ao longo da área de estudo. A mancha urbana está disposta principalmente nas porções noroeste e centro do mapa. Comparando o crescimento de cada ano, observa-se que a área urbana vem tomando a maior parte da área. Sendo assim, diminuindo os espaços de infiltração do solo. A área de pastagens e de cobertura florestal também é acentuada. Já os corpos d'água são minoria, apenas 1.93 ha. Deste modo, ao contrapor o mapa de uso e ocupação do solo com os outros mapas, as áreas com maior impermeabilização concentram-se onde a água proveniente do escoamento superficial tende a acumular. Portanto, a região noroeste da área de estudo verifica-se como provável ponto de inundações.

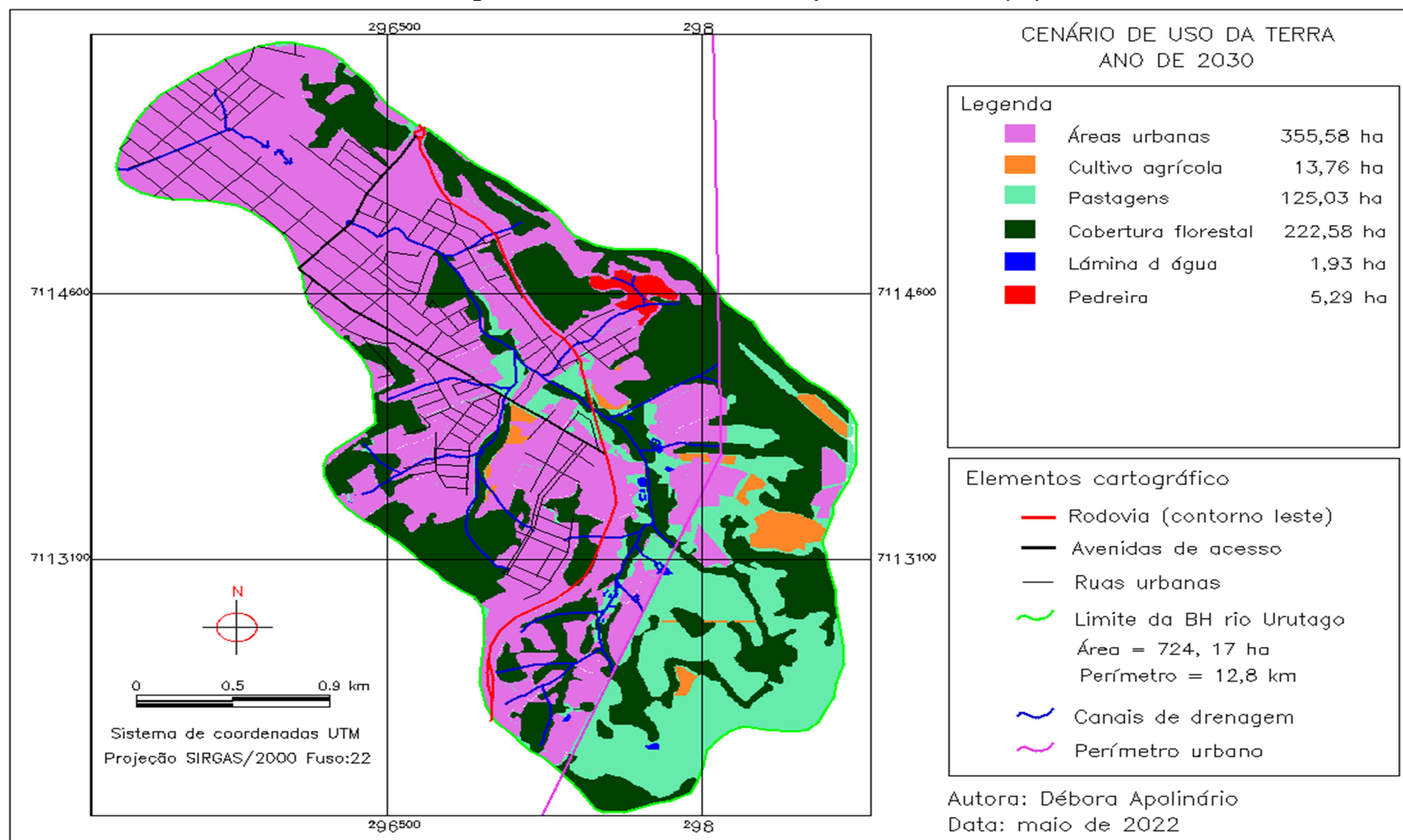
Nas Figuras 11 e 12, demonstram a realização dos mapas de uso e ocupação do solo para as situações futuras.

Figura 10 – Mapa de Uso da Terra 2020



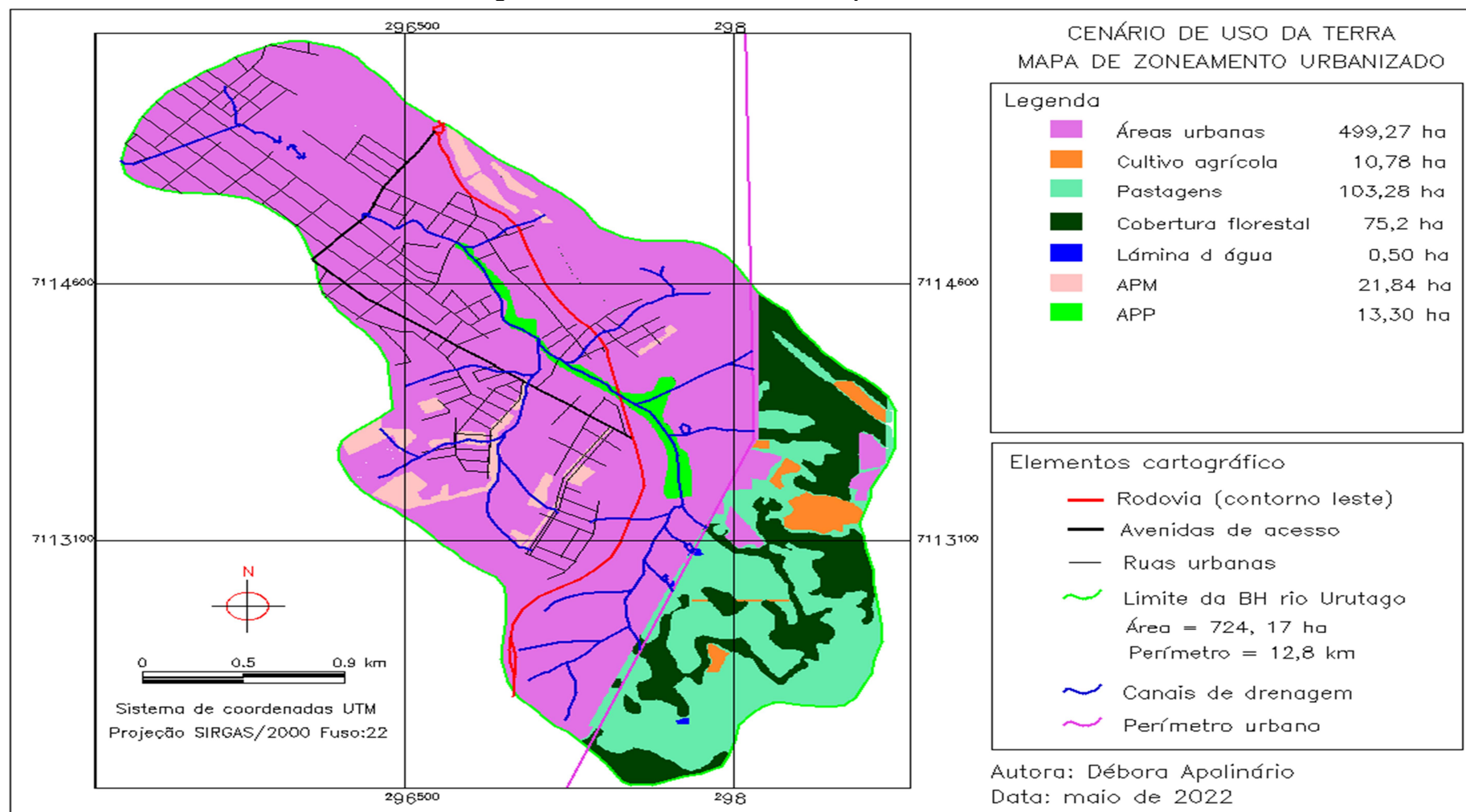
Fonte: Autora (2022)

Figura 11 – Cenário de Uso da Terra para o ano de 2030 (S1)



Fonte: Autora (2022)

Figura 12 – Cenário de Uso da Terra para a situação futura 2



Fonte: Autora (2022)

O mapa do cenário I (2030), simulando as alterações dos padrões de uso da terra projetando 10 anos, baseando-se no estudo das alterações ocorridas nos últimos dez anos, teve como destaque o cruzamento das seguintes classes temáticas: Pastagens e Cultivo Agrícola.

As novas áreas para cada classe de cada situação são apresentadas na Tabela 4 em comparação com a situação atual.

Tabela 4 – Comparação entre as áreas de uso e ocupação do solo dos cenários propostos

Classe de uso	Área (hectares)		
	Situação Atual	Situação Futura 1	Situação Futura 2
Áreas Urbanas	267,16	355,58	499,27
Cultivo Agrícola	23,45	13,76	10,78
Pastagens	202,75	125,03	103,28
Cobertura Florestal	223,59	222,58	75,2
Lâmina d`água	1,93	1,93	0,50
Pedreira	5,29	5,29	-
APM	-	-	21,8
APP	-	-	13,30
TOTAL	724,17	724,17	724,17

Fonte: Autora (2022)

A Tabela 4 apresenta o crescimento da área urbana em aproximadamente 33,10% na situação futura 1. Com a Figura 12 e a Tabela 4 percebe-se que as áreas classificadas como cultivo agrícola, pastagens, cobertura florestal, lâmina d`água tiveram uma diminuição para a S2. Entretanto, obtemos duas novas classes: a APM (área de preservação de matas) e APP (área de preservação permanente). Isto se deve as mudanças do uso e ocupação do solo, conforme Lei n.º 4612 de 31 de outubro de 2018 (FRANCISCO BELTRAO, 2018).

As áreas de fundo de vale, inundáveis, e áreas de preservação permanente, próximas e em ambas as margens do rio Marrecas serão transformadas ao longo de sua expansão urbana em parque linear, que representa à uma faixa de 50 metros em média, contadas a partir da faixa de preservação permanente de fundo de vale ao longo de cada margem do rio. Nos lotes relacionados legalmente até a presente lei, o Parque Linear equivale à uma faixa linear de 15 metros em média contadas a partir da lâmina da água, de fundo de vale ao longo de cada margem do Rio (FRANCISCO BELTRAO, 2018).

Ainda na situação futura 2, considera-se que a área urbana ocupa o restante da área de estudo, conforme permitido pelo plano Diretor, o que corresponde a um aumento de 86,88 % da área urbana em relação à situação atual. Nesta situação, a área urbana ocupa quase 80 % da área de estudo, ou seja, quase 80 % da área é vedada. Simultaneamente com o processo de expansão urbana a última década viu um aumento significativo nas taxas de impermeabilização do solo, uma enorme redução na área de vegetação e a confluência de empresas, edifícios públicos e viviendas usuais ao longo do Rio Marrecas e seus afluentes (Farias 2019). Por isso, com o crescimento dos limites da área urbana, as áreas de conservação da natureza não foram ocupadas, porém, na área investigada, as áreas de impermeabilização do solo aumentam com as mudanças da área urbana e, conseqüentemente, com o aumento da urbanização.

Os parágrafos a seguir mostram a hierarquia do mapa para cada critério considerado neste estudo.

4.2 Hierarquização dos Critérios

A classificação dos mapas, ou critérios, foi elaborada com o método AHP. A validação dos pesos do AHP foi realizada por especialistas com o uso de um questionário, onde o mesmo comparava os critérios por grau de importância. Essa pesquisa foi realizada pela mestra Isabel Dalanhol com especialistas da região sudoeste. Entre os 23 especialistas, 12 responderam, dentre eles profissionais da área de gestão de desastres naturais, planejamento urbano e gestão dos recursos hídricos.

Encontramos o peso de cada critério na comparação pareada. Nesse caso, a matriz resultou na seguinte classificação: (1) precipitação, (2) declividade, (3) impermeabilização do solo e (4) elevação. Assim, segundo este especialista, a precipitação é o critério mais importante para a ocorrência de cheias e a altitude é o menos influente entre os critérios considerados.

Logo após, foi calculada a média harmônica dos valores da linha "soma" da Tabela 5 e a consistência da tabela foi verificada por meio das equações 8 e 9. Dessa forma, obtivemos:

- $ICH = 0,043 < 0,1$;

- $RCH = 0,050 < 0,1$.

De acordo com Stein e Mizzi (2007), para que a matriz seja consistente, ICH e RCH devem ter valores menores que 0,1. Portanto, a matriz de julgamento pode ser considerada consistente. Isso significa que o perito atribuiu valores de forma razoável, sem contradições durante os juízos. Das 12 tabelas de crise que surgiram das respostas dos especialistas, 4 apresentaram valores de ICH e RCH superiores a 0,1, ou seja, são tabelas inconsistentes e contraditórias.

Segundo Alonso e Lamata (2006), o índice de consistência (CR) desenvolvido por Saaty (1991) mede o quão inconsistente é uma matriz quando o IC é maior que 0,1. Neste caso, de $IC > 0,1$, os pesos da matriz podem ser considerados se o seu RC for menor que 0,1. Isso significa, conforme os autores, que se $IC > 0,1$ mas $RC < 0,1$, a matriz é inconsistente, mas não é contraditória, e os pesos podem ser reatribuídos para adquirir maior consistência. No caso de $IC > 0,1$ e $RC > 0,1$, a matriz deve ser desconsiderada, pois é contraditória. O método de verificação de consistência de Stein e Mizzi (2007) segue a mesma direção com os valores de ICH e RCH. Por esse motivo, as 4 tabelas que apresentar valores de ICH e RCH neste estudo não foram consideradas para calcular os pesos finais dos critérios. Assim, as respostas dos oito especialistas contribuíram para o cálculo da hierarquia dos critérios e dos pesos finais.

Tabela 5 - Pesos atribuídos por cada especialista e pesos finais dos critérios

Especialistas	PESOS			
	Altitude	Declividade e	Impermeabilizaçã o do Solo	Precipitaçã o
Especialista 1	0,14	0,05	0,26	0,55
Especialista 2	0,05	0,22	0,13	0,6
Especialista 3	0,04	0,35	0,28	0,44
Especialista 4	0,05	0,29	0,13	0,54
Especialista 5	0,11	0,05	0,24	0,6
Especialista 6	0,11	0,04	0,25	0,6
Especialista 7	0,08	0,18	0,13	0,61
Especialista 8	0,05	0,15	0,21	0,56
MÉDIA/ PESOS	0,08	0,16	0,20	0,56

FINAIS

Fonte: Isabel Dalanhol (2019)

Conseqüentemente, verifica-se que a categorização final dos critérios segundo o método AHP foi a seguinte: (1) precipitação, (2) impermeabilização do solo, (3) declividade, (4) altitude. Assim, a equação final para mapeamento de sobreposições e obtenção de mapas de áreas suscetíveis a inundações, conforme item 3.6, é:

$$MSI = (0,08 * MHI) + (0,16 * MD) + (0,20 * MUO) + (0,56 * MP) \quad (11)$$

Onde:

- MSI = Mapa de suscetibilidade a inundações;
- MHI = Mapa de hipsometria;
- MD = Mapa de declividade;
- MUO = Mapa de uso e ocupação do solo;
- MP = Mapa de precipitação.

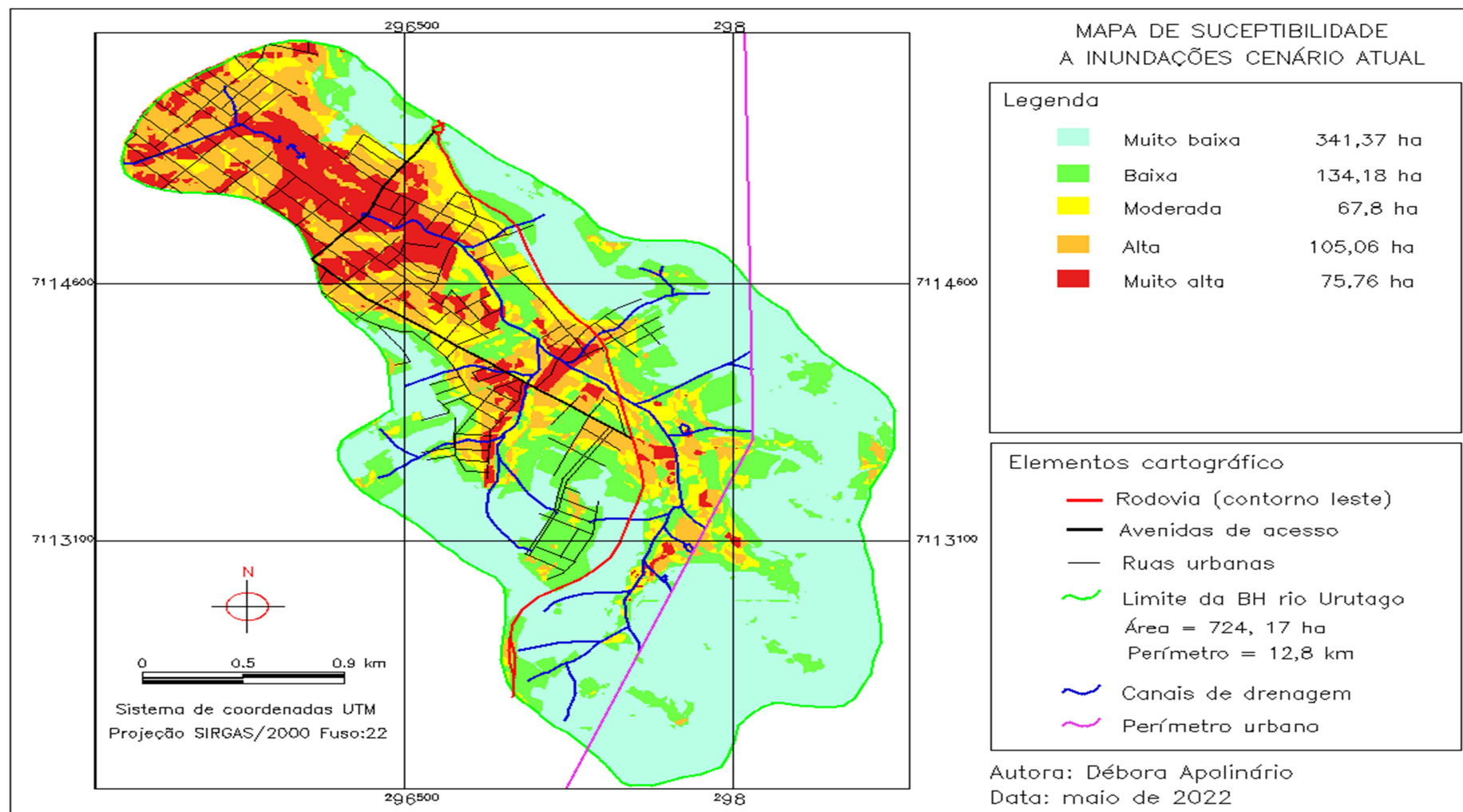
A equação é usada para situações presentes e futuras. A hierarquia de critérios derivada do AHP neste estudo é baseada na literatura (MCGRANE, 2016; MUSTAFA *et al.*, 2018; OUMA; TATEISHI, 2014; SURIYA; MUDGAL, 2012; TUCCI; BERTONI, 2003). Dos muitos fatores, os critérios mais importantes para inundações urbanas são a precipitação e a impermeabilização do solo.

4.3 Suscetibilidade a Inundações

Conforme mencionado acima, deve-se notar que este estudo cindiu o mapeamento das zonas de inundação na situação atual e em duas situações futuras, SF1 e SF2, elaborado de acordo com os pontos 3.4 e 3.5. O resultado das zonas de inundação para a situação atual, que leva em consideração a urbanização consolidada do município Francisco Beltrão, é apresentado por meio do mapa da Figura 13.

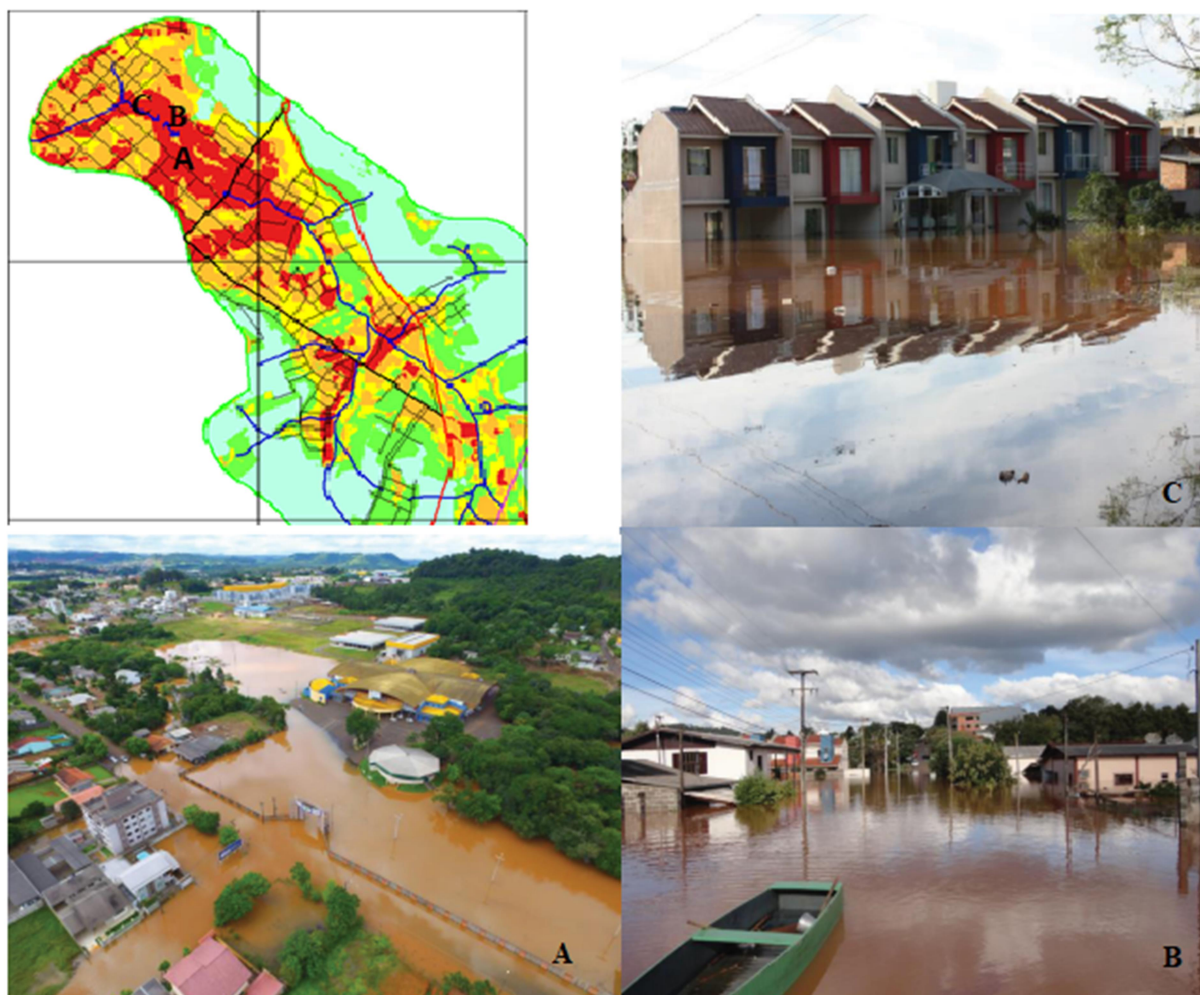
As áreas marcadas em vermelho na Figura 13 são consideradas altamente suscetíveis inundações. De fato, a maior mancha de sensibilidade muito alta na Figura 14 corresponde às áreas que apresentam fenômenos de inundação no município.

Figura 13 – Mapa de Susceptibilidade a inundações no cenário atual



Fonte: Autora (2022)

Figura 14 – Áreas Susceptíveis a inundações no rio Urutago



Fonte: RBJ (2021), FARIAS (2019), AUTORA (2022)

A Tabela 6 apresenta um resumo dos impactos socioambientais das fortes chuvas registradas na cidade de Francisco Beltrão com base em estudos, relatórios e notícias sobre as cheias do Rio marrecas entre 2010 e 2021, no trecho do Urutago.

Tabela 6 - Histórico dos episódios pluviais intensos no Rio Lonqueador

DATA	PLUVIOSIDADE (mm)	REGISTRO DAS OCORRÊNCIAS
22/04/2010 23/04/2010	86,8 178,0	Rio Lonqueador e o córrego Urutago transbordam, causando a obstrução de vias e a inundação das casas construídas às margens dos cursos d'água e do Parque de Exposições Jayme Cainet Júnior.

<p>30/04/2014</p> <p>26/06/2014</p> <p>27/06/2014</p> <p>28/06/2014</p> <p>30/09/2014</p>	<p>176,50</p> <p>20,40</p> <p>86,00</p> <p>116,00</p> <p>161,40</p>	<p>Transbordamento do rio Lonqueador, córrego Urutago e do rio Marrecas. A enchente afetou 520 pessoas e deixou 70 pessoas desabrigadas. A sequência de dias chuvosos causou a elevação do rio Marrecas em 5,9 m acima do normal.</p> <p>Nesta ocorrência foram retiradas 200 famílias de suas casas e contabilizadas 80 pessoas desabrigadas. As chuvas que atingiram o Paraná causaram problemas no município de Francisco Beltrão. A lâmina d'água acumulada em 48 horas causou a terceira enchente registrada na cidade, no ano de 2014.</p> <p>O nível do rio Marrecas começou a subir no dia 29, durante a tarde, deixando 110 de famílias desabrigadas na manhã do dia 30. O nível do rio subiu 6 m acima do normal, provocando inundações dos afluentes (Lonqueador, Urutago, Progresso e Santa Rosa). Os bairros atingidos foram Marrecas, São Miguel, Cristo Rei, Luther King, Presidente Kennedy, Vila Nova e Pinheirinho.</p>
<p>18/12/2016</p>	<p>110,0</p>	<p>Um evento de precipitação, com cerca de 1 h de duração, gerou pontos de alagamento na manhã do dia 27. Segundo informações do Corpo de Bombeiros, divulgadas pelo Diário do Sudoeste, houve somente um acionamento de apoio e o nível das águas do rio Marrecas estava sendo monitorado. Em alguns pontos da cidade, as bocas de lobo não conseguiram comportar a vazão e</p>

		<p>a água se acumulou nas vias públicas. A forte chuva que atingiu o Paraná causou alagamentos e inundações. Em Francisco Beltrão, duas pessoas ficaram desalojadas. Entre o período do início da madrugada até às 11 h do dia 18, choveu aproximadamente 110 mm. Houve um deslizamento de terra na Rua Buenos Aires, no Bairro Jardim Seminário. O córrego Urutago transbordou em alguns pontos do Parque de Exposições. Na rua Albatroz, localizada no bairro Padre Ulrico, as galerias das águas pluviais não suportaram a vazão e ocorreram alagamentos. Na Cidade Norte, o córrego Guaratinguetá também transbordou. Em outros pontos da cidade foram registrados alagamentos das vias públicas, devido à obstrução das bocas de lobo.</p>
25/01/2021	213,00	<p>No Parque de Exposições a água deixou o leito do rio e provocou alguns alagamentos. No portão de entrada de veículos, pela Rua Palmas, também alagou.</p>

FONTE: Adaptado e modificado de COORDENADORIA ESTADUAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL DO PARANÁ (2015); DIÁRIO DO SUDOESTE (2016); GAZETA DO POVO (2014); IAPAR (2016); JORNAL DE BELTRÃO (2021; 2016).

Portando, foi possível averiguar que o mapeamento realizado com SIG e AHP identificou áreas propensas inundações urbanas e as classificou de forma condizente com a realidade do espaço, conforme eventos citados na revisão.

Bathello *et al.* (2017) também usaram a integração AHP e SIG para mapear áreas propensas a deslizamentos de terra, eventos sísmicos e inundações. Os autores ressaltam que os mapas produzidos demonstrar correlação suficiente com a realidade da ocorrência de eventos na área de estudo e concluem que a metodologia aplicada é fiável. Veja também Bathrellos *et al.* (2017) menciona que a

metodologia permite um veloz processamento de dados e representação direta de áreas propensas a desastres naturais. Assim, segundo os autores existe uma ferramenta que facilita o planejamento e o desenvolvimento urbano e auxilia na escolha de técnicos para mitigar esses eventos. Embora o AHP seja individual, a determinação do peso depende da experiência de cada expert. Conseqüentemente, essa abordagem é uma ferramenta importante para a tomada de decisão.

Além disso, o AHP é adequado para investigações regionais e áreas com poucos dados e informações, e seu mapeamento é confiável. O mapeamento AHP e GIS também auxilia nas decisões de planejamento urbano em caso de inundação urbana (RAHMATI; ZEINIVAND; BESHARAT, 2016; LIN; WU; LIANG, 2019).

Dito isso, o mapa da Figura 13 pode, por exemplo, mostrar áreas classificadas como altamente sensíveis e que nunca sofreram inundações. No entanto, de forma global, o método identificou os locais que frequentemente sofrem inundações urbanas e desta forma a metodologia aplicada é fiável.

Mapeamentos de estados futuros também foram realizados, e as Figuras 15 e 16 mostram mapas dos estados futuros 1 e 2, respectivamente.

Ao comparar as Figuras 13, 14 e 15, é possível notar que as categorias tiveram alterações, e SF1 e SF2 possuem mais áreas classificadas como sensibilidade muito alta. A Tabela 7 mostra uma comparação entre áreas vulneráveis a inundações urbanas.

Tabela 7 - Comparação entre as áreas de suscetibilidade a inundações urbanas

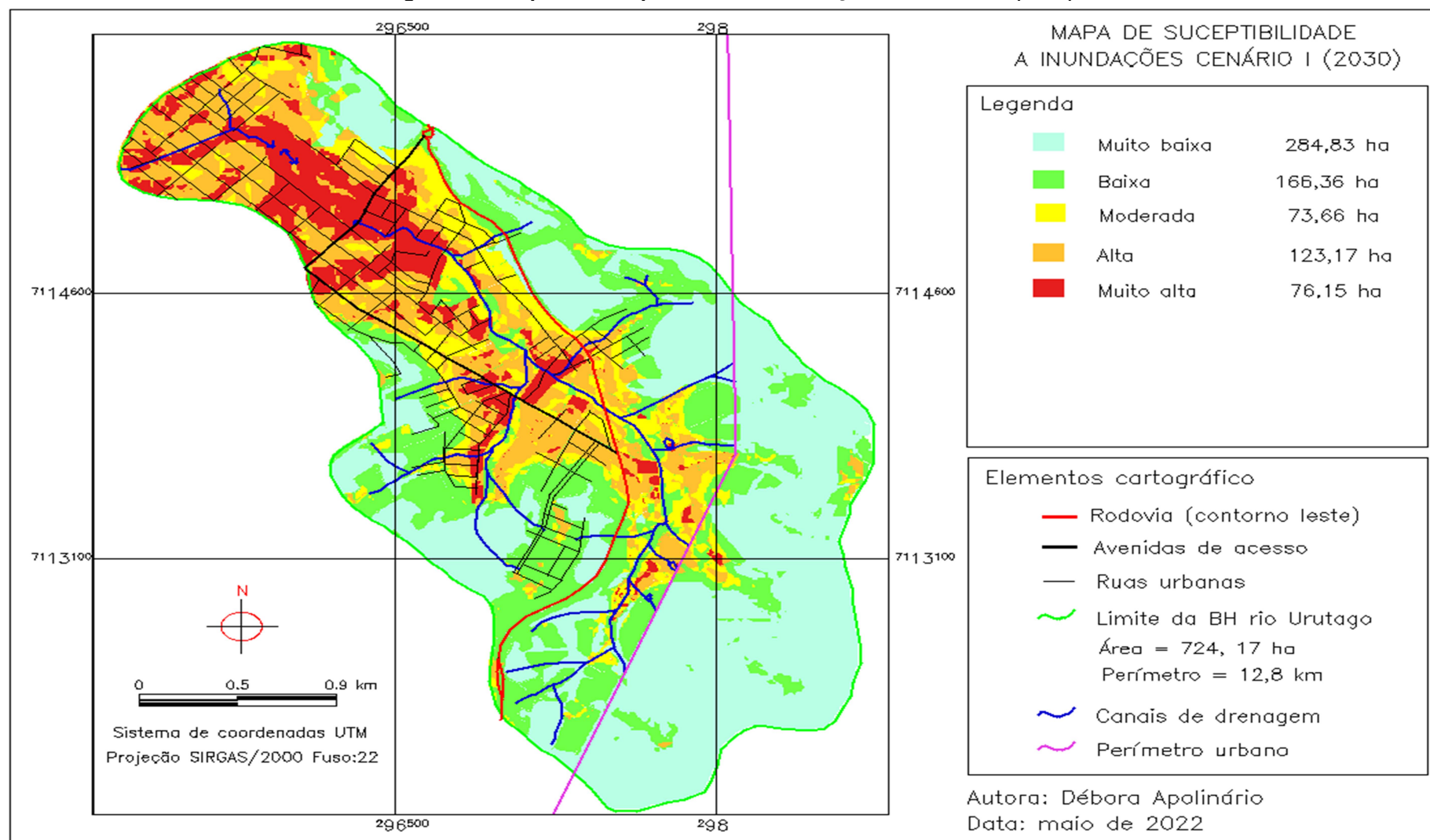
CLASSE	ÁREA (ha)		
	SA	SF1	SF2
Muito Baixa	341,37	284,83	187,11
Baixa	134,18	166,36	240,18
Moderada	67,8	73,66	61,21
Alta	105,06	123,17	119,65
Muito Alta	75,76	76.15	116,02

***SA = Situação Atual, *SF1 = Situação Futura 1 e *SF2 = Situação Futura 2**

Fonte: Autora (2022).

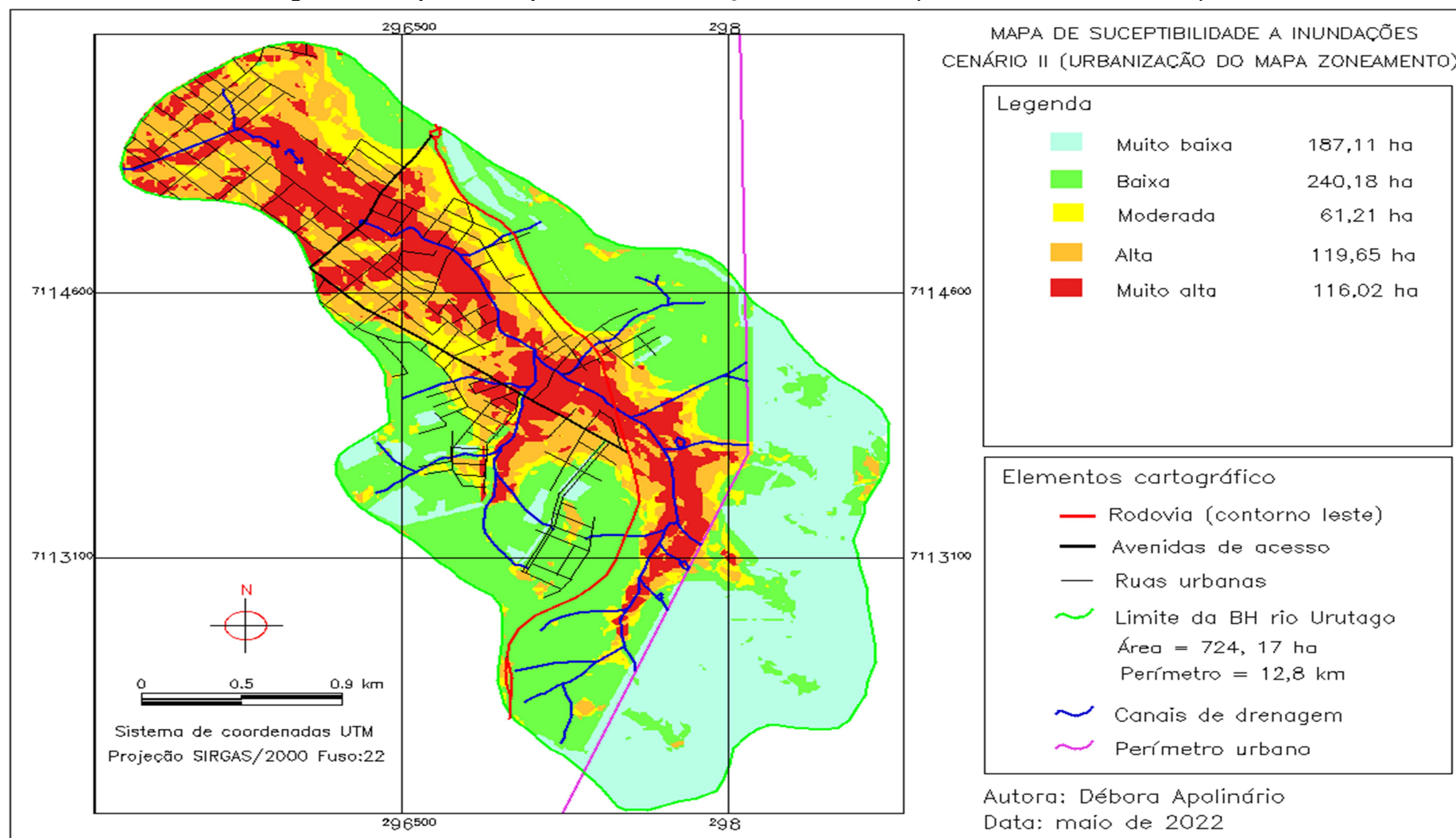
Conforme a Tabela 7, a impermeabilização do solo devido à urbanização da área de estudo levou a um aumento das áreas mais vulneráveis às inundações urbanas. Na SF1 houve um aumento das áreas classificadas como de suscetibilidade baixa, moderada, alta e muito alta. Já na SF2, o efeito mais significativo da impermeabilização do solo está na classe muito alta. Neste cenário de total ocupação das áreas passíveis de urbanização, a classe de suscetibilidade “muito alta” representa um aumento de 52%.

Figura 15 – Mapa de Suceptibilidade a inundações no cenário I (2030)



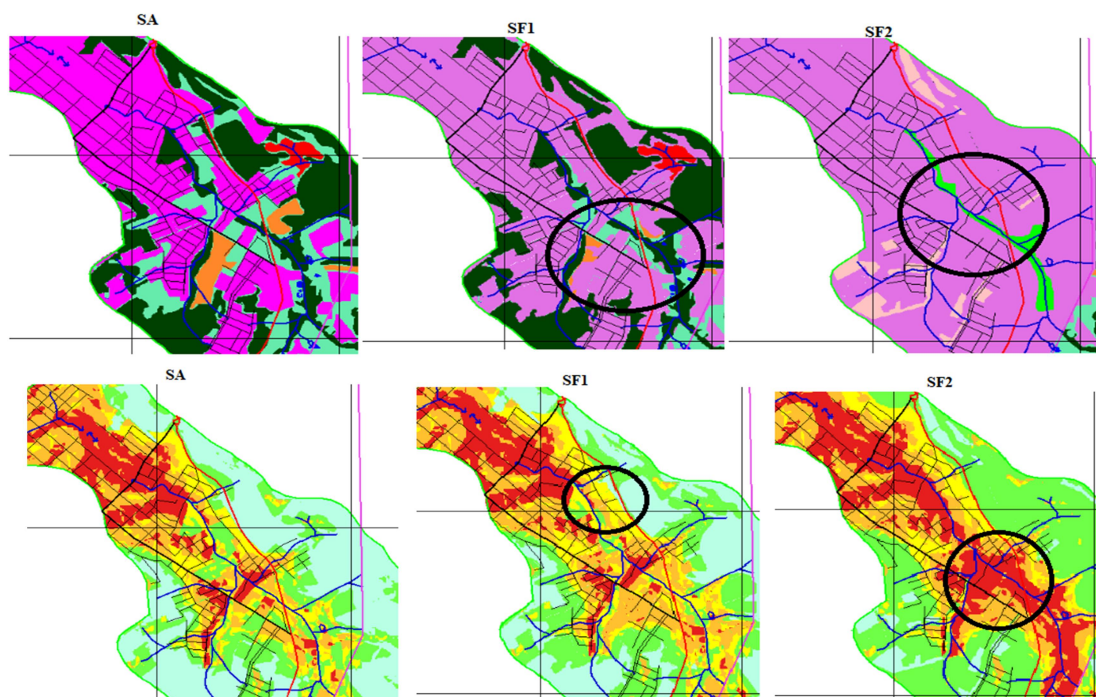
Fonte: Autora (2022)

Figura 16 – Mapa de Suceptibilidade a inundações no cenário II (Área totalmente urbanizada)



Fonte: Autora (2022)

Figura 17 - Influência do uso e ocupação do solo na suscetibilidade a inundações urbana



Fonte: Autora (2022)

O aumento de SF1 e SF2 em áreas urbanas afetou diretamente a mudança nos graus de sensibilidade de baixo para médio ou alto para muito alto. Esse efeito é consistente com a expansão urbana e, conseqüentemente, aumenta a impermeabilização do solo, escoamento superficial e áreas expostas inundações urbanas (TUCCI, 2007). Assim, em resposta ao problema deste estudo, pode-se entender que as áreas suscetíveis a inundações urbanas aumentam com a expansão urbana da área de estudo. Conseqüentemente, se a área de estudo continuar a se urbanizar, espera-se que as áreas suscetíveis inundações urbanas aumentem. Os mapas das situações futuras servem como alerta para a expansão urbana na área de estudo, principalmente sem planejamento.

A expansão urbana significa uma maior impermeabilização do solo. Este é o critério que os especialistas classificam como o segundo critério mais importante para inundações. Portanto, qualquer aumento da urbanização nesta área deve ser ponderado contra os fatores que contribuem para as inundações urbanas. Além disso, os mapas criados para as três situações podem auxiliar os municípios no planejamento urbano da região e contribuir para a mensuração precisa das medidas de mitigação de enchentes urbanas. No entanto, outras metodologias podem ser utilizadas em conjunto com SIG e AHP para mapear inundações urbanas.

5 CONCLUSÕES

A principal causa das enchentes e inundações nas cidades brasileiras deve-se à ocupação desenfreada do espaço urbano que impermeabiliza o solo, e devido à concepção de sistemas de drenagem que transmitem o problema para jusante sem qualquer preocupação com retenção de volumes escoados. A acentuação destas ocorrências se intensificou ao longo dos anos com o crescimento da população e urbanização sem planejamento. Assim, reconhecer as áreas suscetíveis a estes eventos pode cooperar para a aplicação correta de medidas mitigatórias. Além disso, auxiliar o município no planejamento para que essas áreas não se agravem.

Este trabalho teve como premissa o potencial de urbanização da região do rio Urutago em Francisco Beltrão, no que pode influenciar nas inundações do município. Deste modo, o objetivo é a identificação das áreas suscetíveis a estes eventos foi compreendido em dois cenários. O primeiro relativo à urbanização já consolidada e o segundo de acordo com a capacidade de urbanização descrito no Plano Diretor municipal. O estudo fez uso dos Sistemas de Informação Geográfica e empregou o Método de Análise Hierárquica – AHP.

Neste estudo, considerou-se que a declividade, hipsometria e uso e ocupação do solo são aspectos determinantes para episódios destes eventos. Estes critérios são demonstrados por mapas e foram hierarquizados pelo AHP para formação dos mapas de áreas vulneráveis a inundações.

O mapa da situação atual indicou as áreas sensíveis aos alagamentos urbanos e mostrou-se condizente com a realidade da ocorrência desse tipo de evento no município. As áreas de maior sensibilidade concentram-se na região noroeste da área de estudo e abrangem principalmente os bairros Luther King e Miniguaçu.

O aumento de SF1 e SF2 em áreas urbanas afetou diretamente a mudança nos graus de sensibilidade de baixo para médio ou alto para muito alto. Esse efeito é consistente com a expansão urbana e, conseqüentemente, aumenta a impermeabilização do solo, escoamento superficial e áreas expostas inundações urbanas. A expansão da área urbana nesta direção do município leva ao aumento da impermeabilização do solo, critério classificado pelos especialistas como o segundo mais importante para a ocorrência de alagamentos urbanos.

Quanto à metodologia, a integração de SIG e AHP mostrou-se eficaz no mapeamento e com resultados confiáveis na exploração contra a ocorrência de inundações e com bibliografia. O SIG possibilitou a criação de cenários futuros de forma rápida e prática. O AHP, por outro lado, embora os resultados dependam da experiência dos especialistas envolvidos, ajudou no reconhecimento das principais determinantes das inundações urbanas e no mapeamento.

Portanto, um mapa é uma ferramenta para planejar uma expansão urbana ordenada. Essa é a base da construção de políticas de uso e ocupação do solo que solucionam os problemas sociais da população e busque soluções voltadas para a conservação dos ecossistemas. Conseqüentemente, a aplicação dos mapas propostos abrange categorias de trabalho que vão desde estudos técnicos voltados ao planejamento, projetos de urbanização e desenvolvimento de políticas públicas voltadas à redução de vulnerabilidades a desastres sociais e ambientais, até práticas socioeducativas voltadas à redução do risco de inundação.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. R. X.; ALVES, J. M. **Definição de localidade para instalação industrial com apoio do método de análise hierárquica (AHP)**. Production, v. 25, n.1, p. 13-26, jan./mar. 2015.
- BASTOS, A. L. A.; KLEBERSON, E. M.; DAMM, H. E.; LUNA, M. M. M. (2011). Modelo Multicritério de Apoio a Decisão para Seleção de Fornecedores. In: CNEG - Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2011. **Anais [...]** Belo Horizonte: CNEG, 2011.
- BATHRELLOS, G. D.; *et al.* **Suitability estimation for urban development using multihazard assessment map**. Science of the Total Environment, v. 575, p. 119-134, 2017.
- BELTON, V.; STEWART, T. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. Springer Science & Business Media, 2002.
- BRAGA, R.; CARVALHO, P. F. **Perspectiva de gestão ambiental em cidades médias**. Rio Claro: LPM-UNESP, 2001.
- BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**: texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações adotadas pelas emendas constitucionais nos 1/1992 a 99/2017, pelo Decreto legislativo nº 186/2008 e pelas emendas constitucionais de revisão nos 1 a 6/1994. – 53. ed. – Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2018.
- BRASIL. O Estatuto da Cidade (2001). **O Estatuto da Cidade e outras leis nacionais no campo do Direito Urbanístico**. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012a.
- BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. **Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC**. Brasília: Planalto, 2012b.
- BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 13.465, de 11 de julho de 2017**. Brasília: Presidência da República, Secretaria Geral, Subchefia para Assuntos Jurídicos, 2017.
- BOTELHO, R. G. M. **Bacias Hidrográficas Urbanas**. In: GUERRA, A. J. T. (Org.). Geomorfologia Urbana. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- BUTLER, D., DAVIES, J. W., 2004. **Urban Drainage, 2nd edition**. ed. Spon Press, London. 2004. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
- CÂMARA G, MEDEIROS C. B, CASANOVA M. A, *et al.* **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. São Paulo: Inpe; 1996. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/livros/anatomia.pdf>. Acesso em: 02 de jun. 2021.

CARVALHO, Délton Winter de; DAMACENA, Fernanda Dalla Libera. **Direito dos Desastres**. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2013. p. 47.

CHEN, J.; HILL, A. A.; URBANO, L. D. **A gis-based model for urban flood inundation**. Journal of Hydrology, Orlando, v. 373, p. 184-192, 2009.

CHERQUI, F., BELMEZITI, A., GRANGER, D., SOURDRIL, A., LE GAUFFRE, P., 2015. **Assessing urban potential flooding risk and identifying effective risk-reduction measures**. Sci. Total Environ. 514, 418–425. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.02.027.

CRED – CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS. **Economic Losses, Poverty & Disasters** (1998-2017). Disponível em https://www.preventionweb.net/files/61119_credeconomiclosses.pdf. Acessado em 02 de jul. 2021.

CEPED-UFSC. **Atlas brasileira de desastres naturais**. Florianópolis, 2013. Disponível em: <http://www.ceped.ufsc.br/atlas-brasileiro-de-desastres-naturais-1991-a-2012/>. Acessado em 15 de jun. 2021.

COORDENADORIA ESTADUAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL DO PARANÁ - CEPDEC. **Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil – Plancon para deslizamentos, alagamentos, inundações, granizo, vendavais e tempestades no município de Francisco Beltrão – PR**. Versão 9. Curitiba: Defesa Civil do Paraná, 2015.

COSTA, H.G. **Auxílio multicritério à decisão: método AHP**. Rio de Janeiro: Abepro. 2006.

DALANHOL, I. **Identificação de áreas suscetíveis a inundações em Pato Branco, Brasil**. 2019.

DEBRITO, M. M.; EVERS, M. **Multi-criteria decision-making for flood risk management: a survey of the current state of the art**. Natural Hazards and Earth System Sciences, v. 16, n. 4, p. 1019-1033, 2016.

DIÁRIO DO SUDOESTE. **Chuva intensa resulta em pontos de alagamento em Francisco Beltrão**. Francisco Beltrão: Diário do Sudoeste, 2016. Acesso em: 30 jun. de 2022.

DI PIETRO, Maria Sylvia Zanella. **Direito Administrativo**. 19.ed. São Paulo: Atlas, 2006.

DE SILVA, D., MARLOW, D., BEALE, D., MARNEY, D., 2011. **Sewer Blockage Management: Australian Perspective**. J. Pipeline Syst. Eng. Pract. 2, 139–145. doi:10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000084

ENSSLIN, L. **Apoio à decisão: metodologia para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas**. Florianópolis: Insular. 2001.

FARBER, D. A. **Catastrophic risk, climate change, and disaster law**. Asia Pacific Journal of Environmental Law, v. 16, p. 37, 2013.

FARIAS, A. S. **Inundações urbanas em Francisco Beltrão/Pr: Riscos e Vulnerabilidades Socioambientais**. Curitiba, 2019.

FELGUEIRAS, CARLOS ALBERTO. **A tecnologia SPRING, breve histórico, status atual e evolução**. Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil, 11-15 novembro 2006, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 811-824.

FLETCHER, T. D.; ANDRIEU, Herve; HAMEL, Perrine. **Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art**. Advances in Water Resources, v. 51, p. 261-279, 2013.

FRANCISCO BELTRAO, **Lei do Zoneamento do uso e ocupação do solo do município de Francisco Beltrão**, 2018.

FRANCISCO BELTRAO, **Lei do Plano Diretor do município de Francisco Beltrão**, 2018.

GAZETA DO POVO. **Enchente em Francisco Beltrão faz 110 famílias deixarem suas casas**. Curitiba: Jornal Gazeta do Povo, 2014.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Plageder, 2009

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, v. 5, n. 61, p. 16-17, 2002.

HAGAN, J. E. *et al.* **Spatiotemporal determinants of urban leptospirosis transmission: four-year prospective cohort study of slum residents in Brazil**. PLoS Neglected Tropical Diseases, v. 10, n. 1, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico: 2020**. Rio de Janeiro, 2020.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **Cartas climáticas do Paraná: Precipitação – Média Anual**. Londrina: IAPAR, 2015.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Resumo Climatológico**. Curitiba, 2021.

IPCC. **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Geneva, Switzerland. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>. Acessado em 05 de julho de 2021.

JACOBSON, C. R. **Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchmentes: A review**. Journal of Environmental Management, v. 92, n.6, p. 1438-1448, 2011.

JORNAL DE BELTRÃO – JB. Francisco Beltrão amanhece com pontos de alagamento. Francisco Beltrão: Jornal de Beltrão, 2019.

IAÑEZ, M.M.; CUNHA, C. B. **Uma metodologia para seleção de variedades para o plantio de cana-deaçúcar.** Produção, 16(3), 394-412. 2006.

LAU, C. L. *et al.* **Human leptospirosis infection in Fiji: an eco-epidemiological approach to identifying risk factors and environmental drivers for transmission.** PLoS Neglected Tropical Diseases, v. 10, n. 1, p. e0004405, 2016.

Lei nº 10.257 – Estatuto da Cidade, 10 de julho de 2001. Dispõe sobre. In: **Diário Oficial da República Federal do Brasil.** Brasília – DF, 2001.

Lei nº 15.229 – Estatuto da Cidade, 26 de julho de 2006. Dispõe sobre. In: **Diário Oficial da República Federal do Brasil.** Brasília – DF, 2006.

LIRA, A. M. **Avaliação das condições do Sistema de Macrodrenagem da cidade de São Carlos.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo. 2003.

LUZ, Constantino Eleuthério da. **Tendências granulométricas dos sedimentos de fundo no Rio Marrecas, Região Sudoeste do Paraná.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Francisco Beltrão, 2011.

MAGALHÃES, I. A. L; THIAGO, C. R. L; AGRIZZI, D. V; SANTOS, A. R. **Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos.** Cadernos de Geociência. 2011 Nov; 8(2): 63-70.

MARCELINO E. V. **Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos.** Santa Maria: INPE; 2008. Série Caderno Didático n. 1.

MARINS, C. S., SOUZA, D. DE O., & BARROS, M. DA S. **O Uso Do Método De Análise Hierárquica (AHP) Na Tomada De Decisões Gerenciais - Um Estudo.** Xli Sbpo, 11, 2009.

MARINS, C. S.; Souza, D. O.; Barros, M. S. (2009). **O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais – um estudo de caso.** XLI SBPO 2009 – Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. 1 a 4 de setembro de 2009. Porto Seguro. Bahia.

MATIN, M. A. *et al.* **Understanding Forest fire patterns and risk in Nepal using remote sensing, geographic information system and historical fire data.** International Journal of Wildland Fire, v. 26, n. 4, p. 276-286, 2017.

MCGRANE, S. J. **Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review.** Hydrological Sciences Journal, v. 61, n. 13, p. 2295-2311, 2016.

MENDES, H. C. **Expansão Urbana e inundações: histórico e Impactos. Reflexões sobre impactos das inundações e propostas de políticas públicas mitigadoras.** Disciplina de Hidrologia Física – SHS 5874. Relatório NIBH. Departamento de Hidráulica e Saneamento, EESC, p. 05-18. 2004.

MENDOZA, G. A.; MARTINS, H. **Multi-criteria decision analysis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigms.** Forest ecology and management, v. 230, n. 1-3, p. 01-22, 2006.

MIRANDA, José Iguimar. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas.** Brasília- DF: Embrapa, 2005. 425 p.

NORONHA, F. **Direito das obrigações.** 2. Ed. São Paulo: Saraiva, 2007. Vol. I.

NOUVEL, R. et al. **Combining GIS-based statistical and engineering urban heat consumption models: Towards a new framework for multi-scale policy support.** Energy and Buildings, v. 107, p. 204-212, 2015.

OUMA, Y.; TATEISHI, R. **Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment.** Water, v. 6, n. 6, p. 1515-1545, 2014.

PEREIRA, S, D, L. **Modelagem da decisão por pacotes de viagem: Um estudo usando Processo de Hierarquia Analítica (AHP).** 2007. 81 f. Tese (Mestrado) – Programa de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.

PETTS, J. **Waste management strategy development: a case study of community involvement and consensus-building in Hampshire.** Journal of Environmental Planning and Management, 1995.

PHILIPPI JR, A. **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável.** Barueri, SP: Manole, 2005.

RAHMATI, O.; ZEINIVAND, H.; BESHARAT, M. **Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis.** Geomatics, Natural Hazards and Risk, v. 7, n. 3, p. 1000-1017, 2016

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto.** 7ª ed. Uberlândia: EDUFU, 2009.

ROSSONI, C, F. **Decisão Multicritério: Uma pesquisa experimental para a avaliação da percepção dos gestores de MPE acerca do modelo de tomada de decisão multicritério T-ODA quanto à sua aplicabilidade.** 2011. 170 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de mestrado em administração, Faculdade Campo Limpo Paulista, São Paulo, 2011.

SAATY, R.W. **The Analytic Hierarchy Process: What it is and how it is used.** Mathematical 9 (3-5): 161-176, 1987.

SAATY, T.L. **The Analytic Hierarchy Process**. Tradução e revisão por Wainer da Silveira e Silva, McGraw-Hill, Makron, São Paulo, SP, Brasil, p. 278, 1991.

SAATY, T. L. **Decision making with the analytic hierarchy process**. International Journal of Services Sciences, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SAATY, T. L., & VARGAS, L. G. **Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process** (2 ed., International Series in Operations Research & Management Science, 175). New York: Springer. (2012).

SAATY, T. L. **On the Measurement of Intangibles: A Principal Eigenvector Approach to Relative Measurement Derived from Paired Comparisons**. Notices: of the American Mathematical Society, Providence, v. 60, n. 2, p. 192- 208, 01 fev. 2013.

SANTIS, Dirce Grando Diaz. **Impactos de inundações em áreas urbanas: o caso de Francisco Beltrão - Paraná**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2000.

SANTOS JUNIOR, O. A.; MONTANDON, D. T. **Os planos diretores municipais pós-estatuto da cidade: Balanço crítico e perspectivas**. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2011, p. 295.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO PARANÁ – MINEROPAR. **Projeto riquezas minerais: Avaliação do potencial mineral e consultoria técnica no município de Francisco Beltrão – Relatório final**. Curitiba: MINEROPAR, 2002.

SHAHABI, H.; HASHIM, M. **Landslide susceptibility mapping using GIS-based statistical models and remote sensing data in tropical environment**. Scientific Reports, v. 5, p. 9899, 2015.

SINGH, A. **Managing the salinization and drainage problems of irrigated areas through remote sensing and GIS techniques**. Ecological Indicators, v. 89, p. 584-589, 2018.

SOUZA, C.R. de G. 1998. **Flooding in the São Sebastião region, northern coast of São Paulo state, Brazil**. Anais Academia Brasileira Ciências, 70 (2): 353-366, 1998.

SURIYA, S.; MUDGAL, B. V. **Impact of urbanization on flooding: the Thirusoolam sub watershed - a case study**. Journal of Hydrology, v. 412, p. 201-219, 2012.

TEHRANY, M. S.; PRADHAN, B.; MANSOR, S.; AHMAD, N. **Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types**. Catena, v. 125, p. 91-101, 2015.

TENG, H. LIN, O. FANG, T. SONG, H. LIU, B. CHEN, L. **Red raspberry and its anthocyanins: Bioactivity beyond antioxidant capacity**. Trends in Food Science & Technology, 66, 153-165. 2017.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações urbanas na América do Sul**. Ed. dos Autores, v. 1, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas: impactos da urbanização**. Porto Alegre: Ed. ABRH/RHAMA, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Urbanização e recursos hídricos**. In: BICUDO, C. E. de M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. **Águas do Brasil: análises estratégicas**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010.

UNITED NATIONS. **World urbanization prospects: the 2018 revision**. United Nations Department of Economic and Social Affairs (Population Division). New York, 2018.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015**. United Nations; 2016. Disponível em: https://www.unisdr.org/files/43291_sendaiframework-fordrren.pdf. Acesso em 02 jun. de 2021.

VARGAS, L. G. (1990). **An overview of the Analytic Hierarchy Process and its applications**. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 2-8.

VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid**. Chichester: John Wiley & Sons. (1992).

WANG, X.; XIE, H. **A review on applications of remote sensing and geographic information systems (GIS) in water resources and flood risk management**. *Water*, v. 10, n. 5, p. 608, 2018.

WU, W. *et al.* **A comparative study of urban expansion in Beijing, Tianjin and Shijiazhuang over the past three decades**. *Landscape and Urban Planning*, v. 134, p. 93-106, 2015.

ZABIHI, H. *et al.* **Land suitability procedure for sustainable citrus planning using the application of the analytical network process approach and GIS**. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 117, p. 114-126, 2015.

ZANELLA, L. C. H. **Metodologia de pesquisa / Liane Carly Hermes Zanella**. – 2. ed. reimp. – Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/ UFSC, 2013.

ANEXO A - Lei n. 9.610, de 19 de fevereiro de 1998



Presidência da República
Casa Civil
Subchefia para Assuntos Jurídicos

LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998¹.

Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

Título I - Disposições Preliminares

Art. 1º Esta Lei regula os direitos autorais, entendendo-se sob esta denominação os direitos de autor e os que lhes são conexos.

Art. 2º Os estrangeiros domiciliados no exterior gozarão da proteção assegurada nos acordos, convenções e tratados em vigor no Brasil.

Parágrafo único. Aplica-se o disposto nesta Lei aos nacionais ou pessoas domiciliadas em país que assegure aos brasileiros ou pessoas domiciliadas no Brasil a reciprocidade na proteção aos direitos autorais ou equivalentes.

Art. 3º Os direitos autorais reputam-se, para os efeitos legais, bens móveis.

Art. 4º Interpretam-se restritivamente os negócios jurídicos sobre os direitos autorais.

Art. 5º Para os efeitos desta Lei, considera-se:

I - publicação - o oferecimento de obra literária, artística ou científica ao conhecimento do público, com o consentimento do autor, ou de qualquer outro titular de direito de autor, por qualquer forma ou processo;

II - transmissão ou emissão - a difusão de sons ou de sons e imagens, por meio de ondas radioelétricas; sinais de satélite; fio, cabo ou outro condutor; meios óticos ou qualquer outro processo eletromagnético;

III - retransmissão - a emissão simultânea da transmissão de uma empresa por outra;

IV - distribuição - a colocação à disposição do público do original ou cópia de obras literárias, artísticas ou científicas, interpretações ou execuções fixadas e fonogramas, mediante a venda, locação ou qualquer outra forma de transferência de propriedade ou posse;

V - comunicação ao público - ato mediante o qual a obra é colocada ao alcance do público, por qualquer meio ou procedimento e que não consista na distribuição de exemplares;

VI - reprodução - a cópia de um ou vários exemplares de uma obra literária, artística ou científica ou de um fonograma, de qualquer forma tangível, incluindo qualquer armazenamento permanente ou temporário por meios eletrônicos ou qualquer outro meio de fixação que venha a ser desenvolvido;

VII - contrafação - a reprodução não autorizada;

VIII - obra:

a) em co-autoria - quando é criada em comum, por dois ou mais autores;

b) anônima - quando não se indica o nome do autor, por sua vontade ou por ser desconhecido;

c) pseudônima - quando o autor se oculta sob nome suposto;

d) inédita - a que não haja sido objeto de publicação;

e) póstuma - a que se publique após a morte do autor;

f) originária - a criação primígena;

g) derivada - a que, constituindo criação intelectual nova, resulta da transformação de obra originária;

h) coletiva - a criada por iniciativa, organização e responsabilidade de uma pessoa física ou jurídica, que a publica sob seu nome ou marca e que é constituída pela participação de diferentes autores, cujas contribuições se fundem numa criação autônoma;

i) audiovisual - a que resulta da fixação de imagens com ou sem som, que tenha a finalidade de criar, por meio de sua reprodução, a impressão de movimento, independentemente dos processos de sua captação, do suporte usado inicial ou posteriormente para fixá-lo, bem como dos meios utilizados para sua veiculação;

IX - fonograma - toda fixação de sons de uma execução ou interpretação ou de outros sons, ou de uma representação de sons que não seja uma fixação incluída em uma obra audiovisual;

X - editor - a pessoa física ou jurídica à qual se atribui o direito exclusivo de reprodução da obra e o dever de divulgá-la, nos limites previstos no contrato de edição;

XI - produtor - a pessoa física ou jurídica que toma a iniciativa e tem a responsabilidade econômica da primeira fixação do fonograma ou da obra audiovisual, qualquer que seja a natureza do suporte utilizado;

XII - radiodifusão - a transmissão sem fio, inclusive por satélites, de sons ou imagens e sons ou das representações desses, para recepção ao público e a transmissão de sinais codificados, quando os meios de decodificação sejam oferecidos ao público pelo organismo de radiodifusão ou com seu consentimento;

XIII - artistas intérpretes ou executantes - todos os atores, cantores, músicos, bailarinos ou outras pessoas que representem um papel, cantem, recitem, declamem, interpretem ou executem em qualquer forma obras literárias ou artísticas ou expressões do folclore.

Art. 6º Não serão de domínio da União, dos Estados, do Distrito Federal ou dos Municípios as obras por eles simplesmente subvencionadas.

¹ Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19610.htm.