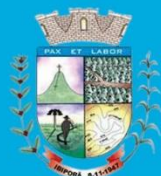


PLANO MUNICIPAL DE DRENAGEM URBANA

IBIPORÃ

ETAPA 3
Prognóstico e alternativas
para efetivação da
drenagem urbana

Contrato n.º 299/2023
Setembro de 2023





**PLANO DIRETOR DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS DO
MUNICÍPIO DE IBIPORÃ - PR**

CONTRATO n.º 299/2023

CONTRATANTE



PREFEITURA MUNICIPAL DE IBIPORÃ – ESTADO DO PARANÁ
RUA PADRE VITORIANO VALENTE, 540 - CENTRO
CEP: 86200-000 – IBIPORÃ, PR

CONTRATADA



DRZ GEOTECNOLOGIA E CONSULTORIA LTDA.
AVENIDA HIGIENÓPOLIS, 32, 4º ANDAR, CENTRO
CEP: 86020-080 – LONDRINA, PR



ELABORAÇÃO E EXECUÇÃO

DRZ GEOTECNOLOGIA E CONSULTORIA LTDA.

CNPJ: 04.915.134/0001-93 • CREA Nº 41972

Avenida Higienópolis, 32,4º andar, Centro.

Tel.: 43 3026 4065 - CEP 86020-080 - Londrina-PR

Home: www.drz.com.br • e-mail: drz@drz.com.br

DIRETORIA:

Agostinho de Rezende - Diretor Geral

EQUIPE TÉCNICA DRZ:

Agenor Martins Junior – Arquiteto e Urbanista

Paulo Henrique Barbosa de Sales Dias – Engenheiro Civil

GESTOR MUNICIPAL DO CONTRATO

Junior Frederico Aliano



Revisão	Responsável	Data	Situação

PLANO DIRETOR DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS - PDDMAP DE IBIPORÃ - PR		
Produto 3: Prognósticos e alternativas para efetivação da drenagem urbana		
ELABORAÇÃO		
Elaborado por:	DRZ GEOTECNOLOGIA E CONSULTORIA LTDA. Avenida Higienópolis, 32, 4º andar, Centro Tel.: (43) 3026 4065 • CEP 86020-080 • Londrina / PR Home: www.drz.com.br • e-mail: drz@drz.com.br	
	Equipe chave e Apoio técnico	
APROVAÇÃO		
Aprovado por:		Data: Parecer técnico nº: Gestor Municipal do Contrato: Junior Frederico Aliano



APRESENTAÇÃO

Em conformidade com o Contrato n.º 299/2023 e com o Termo de Referência constante no Processo Licitatório PE (Pregão Eletrônico) n.º 47/2023, origem do referido contrato firmado entre a Prefeitura do Município de Ibiporã e a DRZ Geotecnologia e Consultoria, o presente documento é o **Produto 3 – Prognósticos e Alternativas para Efetivação da Drenagem Urbana** do processo de elaboração do Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de Ibiporã – PR e trata-se do 2º Relatório Técnico Parcial – Prognóstico e alternativas para efetivação da drenagem urbana, que apresenta etapa fundamental para subsidiar o planejamento dos serviços de macro e microdrenagem do município.

Para a estruturação do Plano Municipal de Drenagem (PMD) seguir-se-á as diretrizes da **Lei Estadual n.º 12.726/1999**, que estabeleceu normas de orientação à **Política Estadual de Recursos Hídricos**, bem como ao Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, balizadora da elaboração de planos diretores para as atividades de manejo e aproveitamento de fontes hídricas naturais. Assim como as diretrizes da **Lei Federal n.º 14.0206/2020** que atualiza o marco legal do saneamento básico, estabelecendo diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico.

O PDDMAP tem como objetivo aparelhar o município com instrumentos e mecanismos que permitam a apresentação de propostas para a implantação de ações articuladas, duradouras e eficientes, que possam garantir o combate às enchentes e minimizar os efeitos das cheias.



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. LEVANTAMENTO DOS SISTEMAS DE MICRODRENAGEM E DE MACRODRENAGEM	15
3. LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO CADASTRAL DAS SEÇÕES DE CONTROLE.....	19
4. ESTUDO HIDROLÓGICO.....	21
4.1. DADOS DE OCORRÊNCIAS DA DEFESA CIVIL	21
4.2. ANÁLISE HIDROLÓGICA	23
4.2.1. PRECIPITAÇÕES INTENSAS PARA IBIPORÃ	23
4.2.2. BACIAS HIDROGRÁFICAS	30
4.2.3. DECLIVIDADE DO TALVEGUE	36
4.2.4. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	37
4.2.5. INTENSIDADE DA CHUVA DE PROJETO	39
4.2.6. PERÍODO DE RETORNO	39
4.3. ESTUDO HIDROLÓGICO DAS BACIAS DO MUNICÍPIO	50
4.3.1. MÉTODO DOS BLOCOS ALTERNADOS.....	50
4.3.2. RELAÇÃO INFILTRAÇÃO DEFLÚVIO.....	51
4.3.3. DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES MÁXIMAS URBANAS E RURAIS	56
4.3.4. CONCLUSÃO DO ESTUDO HIDROLÓGICO	67
5. LEVANTAMENTO DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO E FATORES DE RISCOS DE ALAGAMENTO	68
5.1. METODOLOGIA UTILIZADA PARA O LEVANTAMENTO DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO E FATORES DE RISCOS DE ALAGAMENTO.....	70
5.2. FATORES DE RISCOS DE ALAGAMENTO	76
5.3. LIMITES PARA OS RISCOS DE ALAGAMENTO	77
5.4. CENÁRIOS DE ANÁLISE.....	78
5.4.1. CENÁRIO TENDENCIAL MB01	80
5.4.2. CENÁRIO TENDENCIAL MB02	86
5.4.3. CENÁRIO TENDENCIAL MB03	91
5.4.4. CENÁRIO TENDENCIAL MB04	96
5.4.5. CENÁRIO TENDENCIAL MB05	101
5.4.6. CENÁRIO TENDENCIAL MB06	106



5.4.7. CENÁRIO TENDENCIAL MB07	111
5.4.8. CENÁRIO TENDENCIAL MB07	116
5.4.9. CENÁRIO TENDENCIAL MB09	121
5.4.10. CENÁRIO TENDENCIAL MB10.....	126
5.4.11. CENÁRIO TENDENCIAL MB11.....	131
5.4.12. CENÁRIO TENDENCIAL MB12.....	136
5.4.13. CENÁRIO TENDENCIAL MB13.....	141
5.4.14. CENÁRIO TENDENCIAL TOTAL.....	146
6. CONCLUSÃO	151
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	152



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cadastro de rede de drenagem existente georreferenciada	18
Figura 2 – Levantamento do sistema de drenagem em campo.....	20
Figura 3 – Sub-Bacias do município de Ibiporã.....	31
Figura 4 – Valores recomendados para períodos de retorno.	40
Figura 5 – Condições atuais de uso do solo do município de Ibiporã.	45
Figura 6 – Classificação hidrológica dos solos.....	49
Figura 7 – Característica do hidrograma unitário proposto pelo SCS	57
Figura 8 – Hidrograma unitário curvilíneo do SCS.	57
Figura 9 – Comparativo entre hidrogramas do Método SCS.....	61
Figura 10 – Hidrograma pelo Método Racional.	65
Figura 11 – Esquema representativo de enchente, inundação e alagamento.....	68
Figura 12 – Modelo de inserção da rede existente no <i>software</i> PCSWMM.	72
Figura 13 – Polígonos das Edificações Urbanas.....	73
Figura 14 – Malha de Drenagem Superficial com as Deformações Geradas pelas Edificações.....	74
Figura 15 – Modelo de Delimitação das Áreas de Contribuição.....	75
Figura 16 – Registro fotográfico de algumas caixas coletoras com falta de manutenção em Ibiporã.....	79
Figura 17 – Risco de perdas materiais: MB01.....	82
Figura 18 – Risco de perdas de vida: MB01.....	84
Figura 19 – Manchas de Inundação: MB01.....	85
Figura 20 – Risco de perdas materiais: MB02.....	87
Figura 21 – Risco de perdas de vida: MB02.....	89
Figura 22 – Ocorrência de cheias e inundações: MB02	90
Figura 23 – Risco de perdas materiais: MB03.....	92
Figura 24 – Risco de perdas de vida: MB03.....	94
Figura 25 – Ocorrência de cheias e inundações: MB03.....	95
Figura 26 – Risco de perdas materiais: MB04.....	97
Figura 27 – Risco de perdas de vida: MB04.....	99
Figura 28 – Manchas de Inundação: MB04.....	100
Figura 29 – Risco de perdas materiais: MB05.....	102
Figura 30 – Risco de perdas de vida: MB05.....	104



Figura 31 – Manchas de Inundação: MB05.....	105
Figura 32 – Risco de perdas materiais: MB06.....	107
Figura 33 – Risco de perdas de vida: MB06.....	109
Figura 34 – Manchas de Inundação: MB06.....	110
Figura 35 – Risco de perdas materiais: MB07.....	112
Figura 36 – Risco de perdas de vida: MB07.....	114
Figura 37 – Manchas de Inundação: MB07.....	115
Figura 38 – Risco de perdas materiais: MB07.....	117
Figura 39 – Risco de perdas de vida: MB07.....	119
Figura 40 – Manchas de Inundação: MB07.....	120
Figura 41 – Risco de perdas materiais: MB09.....	122
Figura 42 – Risco de perdas de vida: MB09.....	124
Figura 43 – Manchas de Inundação: MB09.....	125
Figura 44 – Risco de perdas materiais: MB10.....	127
Figura 45 – Risco de perdas de vida: MB10.....	129
Figura 46 – Manchas de Inundação: MB10.....	130
Figura 47 – Risco de perdas materiais: MB11.....	132
Figura 48 – Risco de perdas de vida: MB11.....	134
Figura 49 – Manchas de Inundação: MB11.....	135
Figura 50 – Risco de perdas materiais: MB12.....	137
Figura 51 – Risco de perdas de vida: MB12.....	139
Figura 52 – Manchas de Inundação: MB12.....	140
Figura 53 – Risco de perdas materiais: MB13.....	142
Figura 54 – Risco de perdas de vida: MB13.....	144
Figura 55 – Manchas de Inundação: MB13.....	145
Figura 56 – Risco de perdas materiais: Total.....	147
Figura 57 – Risco de perdas de vida: Total.....	148
Figura 58 – Manchas de Inundação: Total (TR25).....	149
Figura 59 – Manchas de Inundação: Total (TR50).....	150



LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Ibiporã: Curvas IDF em função do período TR (anos).	26
Gráfico 2 – Ibiporã: Curvas IDF em função da duração t (minutos).	27
Gráfico 3 – Histograma das precipitações totais mensais.	28
Gráfico 4 – Histograma do número de dias de chuva.	29
Gráfico 5 – Hietogramas excedentes da Sub-Bacia do Ribeirão das Abóboras.....	52
Gráfico 6 – Hietogramas excedentes da Sub-Bacia do Ribeirão Jacutinga.	53
Gráfico 7 – Hietogramas excedentes da Sub-Bacia Ribeirão Engenho de Ferro.....	54
Gráfico 8 – Hietogramas excedentes da Sub-Bacia Água do Agrião.	54
Gráfico 9 – Hietogramas excedentes da Sub-Bacia do Limoeiro.	55
Gráfico 10 – Hidrogramas das vazões máximas pelo Método SCS.	62
Gráfico 11 – Hidrogramas das vazões máximas pelo Método Racional para microbacias urbanas.	66



LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Informações da estação pluviométrica de Ibiporã - PR.	24
Quadro 2 – Valores de CN para diferentes tipos de uso do solo.....	41
Quadro 3 – Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas.	43
Quadro 4 – Risco de perdas de vida: limites em função da altura pela velocidade...	78
Quadro 5 – Risco de perdas materiais: limites em função da altura da lâmina d'água.	78



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Extensão total das redes de drenagem cadastradas, por diâmetro.	16
Tabela 2 - Registros de desastres hidrológicos no município de Ibiporã	21
Tabela 3 – Intensidade de precipitação para o município de Ibiporã.	25
Tabela 4 – Dados mensais de precipitação e dias de chuva.	29
Tabela 5 – Estudo morfométrico das sub-bacias do município de Ibiporã.	35
Tabela 6 – Comprimento e declividade dos talvegues das sub-bacias de Ibiporã. ...	37
Tabela 7 – Tempos de concentração das sub-bacias do município de Ibiporã.	38
Tabela 8 – Valores de CN das bacias do município de Ibiporã.	46
Tabela 9 – Valores das relações t_c , t_r , t_p , t_b e Q_p pelo Método SCS.	60
Tabela 10 – Vazões máximas pelo Método SCS.	60
Tabela 11 – Vazões máximas pelo Método Racional.....	64
Tabela 12 – Produto da altura pela velocidade.	77
Tabela 13 – Risco de perdas materiais e de vida para MB02	81
Tabela 14 – Risco de perdas materiais e de vida para MB02	86
Tabela 15 – Risco de perdas materiais e de vida para MB03	91
Tabela 16 – Risco de perdas materiais e de vida para MB04	96
Tabela 17 – Risco de perdas materiais e de vida para MB05	101
Tabela 18 – Risco de perdas materiais e de vida para MB06	106
Tabela 19 – Risco de perdas materiais e de vida para MB07	111
Tabela 20 – Risco de perdas materiais e de vida para MB07	116
Tabela 21 – Risco de perdas materiais e de vida para MB09	121
Tabela 22 – Risco de perdas materiais e de vida para MB10	126
Tabela 23 – Risco de perdas materiais e de vida para MB13	131
Tabela 24 – Risco de perdas materiais e de vida para MB12	136
Tabela 25 – Risco de perdas materiais e de vida para MB13	141

**LISTA DE SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APP	Área de Preservação Permanente
BC	Boletim de Cadastro
BH	Bacia Hidrográfica
BL	Boca de Lobo
C	Coefficiente de Escoamento
CN	Curva Número
COBRADE	Codificação Brasileira de Desastres
CRED	Centro para Pesquisa sobre Epidemiologia de Desastres
DAAE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FCTH	Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica
GPRH	Grupo de Pesquisa de Recursos Hídricos
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IAT	Instituto Água e Terra
IDF	Intensidade - Duração – Frequência
MB	Microbacia
MDT	Modelo Digital de Terreno
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial da Saúde
PDDMAP	Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais
PR	Paraná
PV	Poço de Visita
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
S2iD	Sistema Integrado de Informações sobre Desastres
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SIMEPAR	Sistema Meteorológico do Paraná
SINPDEC	Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil
TR	Tempo de Retorno
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UHE	Usina Hidroelétrica



USP Universidade de São Paulo



1. INTRODUÇÃO

Os problemas em relação à drenagem de águas pluviais, em sua maioria, são causados pela intensa impermeabilização do solo, assoreamento dos rios, retirada da vegetação de Áreas de Preservação Permanente (APP) e erosão e lançamento de resíduos em locais inadequados. Ainda são agravados pela ocupação inadequada dos leitos dos rios, que apresentam, como consequência, inundações, causando impactos ambientais, econômicos e sociais.

De acordo com Tucci (1999), o processo de desenvolvimento urbano brasileiro tem gerado aumento significativo na frequência de alagamentos e de inundações, na produção de materiais sólidos, sedimentos e poluentes e na degradação da qualidade da água e do solo. Esses problemas tornam-se maiores conforme os limites urbanos crescem.

Um planejamento ineficaz, e a ausência de uma análise integrada conciliando aspectos sociais, econômicos e ambientais, resultam em ações fragmentadas e nem sempre satisfatórias que conduzem para um desenvolvimento desequilibrado e com desperdício de recursos. A falta de um sistema de drenagem ou a adoção de soluções ineficientes trazem prejuízos à população, como os alagamentos e as enchentes que, por consequência, influenciam diretamente na saúde pública e na vida das pessoas. Em contrapartida, sistemas adequados de drenagem urbana reduzem significativamente os gastos com serviços de saúde e com auxílios emergenciais à população.

Acompanhando a preocupação com as questões relacionadas à prevenção de inundações, no âmbito nacional, a Lei n.º 12.608/2012, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC), estabeleceu diretrizes e objetivos relacionados à prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação voltados à proteção e defesa civil em casos de desastres naturais.

Neste sentido, o Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais é um instrumento fundamental no processo de urbanização, pois cria métodos de gestão da infraestrutura urbana, pertinentes ao escoamento de águas pluviais e dos rios em áreas urbanas e rurais. O PDDMAP tem como objetivos caracterizar as causas dos



problemas ocorridos e apresentar propostas de ações estruturais e não estruturais, de intervenção direta e indireta do Poder Público no controle de cheias, nos horizontes de curto, médio e longo prazo, visando diminuir progressivamente a frequência, a intensidade e a gravidade das ocorrências de inundações e de alagamentos no município de Ibiporã.

2. LEVANTAMENTO DOS SISTEMAS DE MICRODRENAGEM E DE MACRODRENAGEM

Os sistemas de drenagem são classificados como de microdrenagem e de macrodrenagem, sendo¹:

- **Microdrenagem**: é o sistema inicial de drenagem, definido pelo sistema de condutos pluviais ou canais nos loteamentos ou na rede primária urbana. Este tipo de sistema é projetado para atender a drenagem de precipitações com risco moderado.
- **Macro drenagem**: envolve os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem. Este tipo de sistema deve ser projetado para acomodar precipitações superiores às da microdrenagem com riscos de acordo com os prejuízos humanos e materiais potenciais.

O sistema de **microdrenagem** é aquele composto pelos dispositivos que coletam e conduzem as águas pluviais provenientes dos lotes e do sistema viário, onde compreende-se, as captações (bocas de lobo), os condutos de ligação, os poços de visita, as caixas de ligação, a rede de galerias de águas pluviais e outros dispositivos (pavimentos das ruas, guias, sarjetas, valetas, etc.).

Já o sistema de **macro drenagem** é constituído, em geral, por rede de galerias de águas pluviais com diâmetro maior ou igual a 1,00 m, galerias de seção retangular ou quadrada, canais abertos ou fechados e revestidos, reservatórios de retenção e de retenção situados entre trechos da rede de macrodrenagem e dispositivos de lançamento em cursos de água superficiais com dissipadores de energia².

¹ Manual de drenagem urbana de Porto Alegre, 2005; Manual de drenagem urbana de Curitiba, 2002.

² Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal, 2018.



Basicamente, o sistema da microdrenagem faz-se necessário para criar condições razoáveis de circulação de veículos e pedestres, por ocasião de ocorrência de chuvas frequentes, sendo conveniente verificar o comportamento do sistema de macrodrenagem para chuvas intensas, considerando os possíveis danos às propriedades e os riscos de perdas humanas por ocasião de temporais mais fortes.

Quando bem projetado e com manutenção adequada, o sistema de microdrenagem praticamente elimina as inconveniências ou as interrupções das atividades urbanas que advém das inundações e das interferências de enxurradas e alagamentos. E do funcionamento adequado do sistema de macrodrenagem depende a prevenção ou minimização dos danos às propriedades, dos danos à saúde e perdas de vida das populações atingidas, seja em consequência direta das águas, seja por doenças de veiculação hídrica.

No município de Ibiporã, o levantamento dos sistemas de microdrenagem e de macrodrenagem envolveu a identificação e o cadastro de 155,91 km de redes de drenagem pluvial, 37,42 km de galerias, rios e córregos, 3.654 bocas de lobo, 1.372 bocas de leão e 1.097 poços de visita.

A Tabela 1 apresenta a extensão das redes de drenagem cadastradas, por diâmetro do tubo, considerando a somatória de todas as microbacias estudadas (apresentadas no Item 5).

Tabela 1 – Extensão total das redes de drenagem cadastradas, por diâmetro.

Diâmetro do Tubo	Extensão (km)
200 mm	0,1001
300 mm	1,9308
400 mm	85,5836
600 mm	47,0073
800 mm	14,1301
1,00 m	4,9567
1,20 m	1,1457
1,50 m	1,0545
Total	155,9088

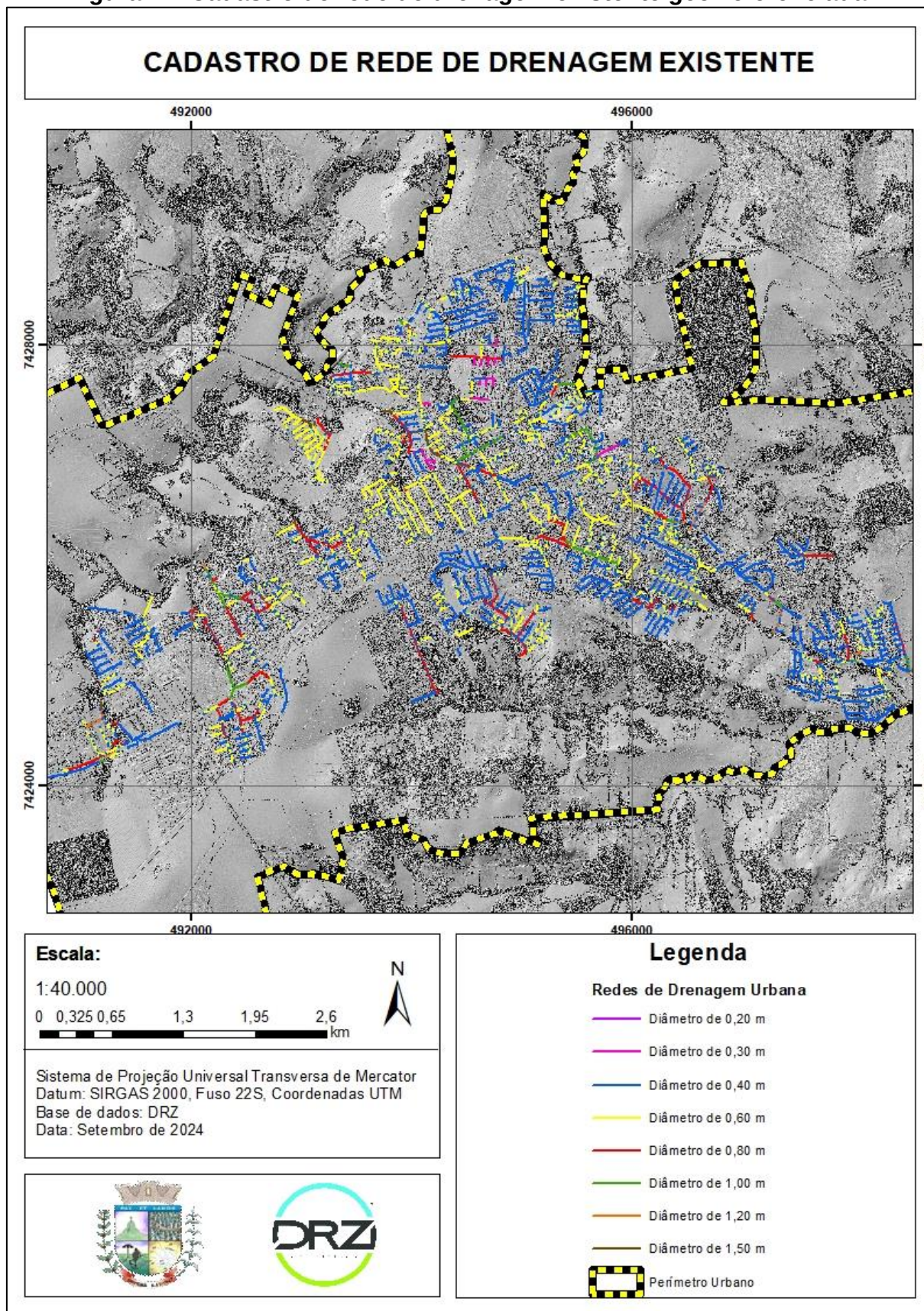
Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



É importante destacar que todos os dispositivos cadastrados estão em formato *shapefile* e *dwg* e serão disponibilizados ao município, para que continue realizando e atualizando o cadastro a partir das informações elencadas neste levantamento. Além disso, o cadastro de drenagem pode ser observado na Figura 1 e será disponibilizado para o município através da plataforma SIGWEB.



Figura 1 – Cadastro de rede de drenagem existente georreferenciada



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



3. LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO CADASTRAL DAS SEÇÕES DE CONTROLE

As seções de controle são as redes de drenagem que chegam nos corpos hídricos receptores de águas pluviais (rios, córregos e lagos) e nesta etapa do levantamento topográfico, todas elas foram cadastradas.

O cadastro das estruturas de drenagem do município de Ibiporã foi realizado, na maioria dos equipamentos de drenagem, com o auxílio do RTK (*Real Time Kinematic*), aparelho que utiliza o Sistema de Posicionamento Global (GPS) baseado na transmissão instantânea de dados e de correções dos sinais de satélites através dos receptores instalados nos vértices de referência aos receptores que percorrem os vértices de interesse. Desta forma, proporcionou o conhecimento em tempo real de coordenadas precisas dos vértices ou pontos levantados.

A descrição das estruturas e/ou equipamentos de drenagem foram transferidas manualmente para um Boletim de Cadastro (BC), com as medidas dos equipamentos (bocas de lobo, caixas de passagem, poços de visita, etc.), os diâmetros das redes, o sentido do fluxo na tubulação e as condições de uso atual (no caso das bocas de lobo e das redes entupidas). Não foi possível realizar o levantamento dos equipamentos que estavam lacrados, enterrados ou sem visualização³. A Figura 2 ilustra a etapa de levantamento de campo para o cadastro do sistema de drenagem.

³ No município de Ibiporã, parte das ruas com sistema de drenagem implantado não possui acesso às redes através de poços de visita, dificultando o apontamento dos locais com tais problemas. Na maioria das vezes, as redes foram levantadas a partir das caixas coletoras (bocas de lobo e de leão), verificando as suas condições (se estava obstruída ou não), bem como de seu diâmetro.

Figura 2 – Levantamento do sistema de drenagem em campo.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Nesta etapa também foram utilizados todos os projetos existentes fornecidos pela Prefeitura Municipal em CAD – Dwg, shapes e levantamento feito através do



conhecimento do território dos funcionários envolvidos com a manutenção e operação do sistema de drenagem urbana de Ibiporã.

4. ESTUDO HIDROLÓGICO

4.1. DADOS DE OCORRÊNCIAS DA DEFESA CIVIL

A Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) foi elaborada a partir da classificação utilizada pelo Banco de Dados Internacional de Desastres do Centro para Pesquisa sobre Epidemiologia de Desastres (CRED) e da Organização Mundial da Saúde (OMS), com o propósito de adequar a classificação brasileira às normas internacionais. A COBRADE considera duas categorias de desastres: natural e tecnológico. Dentre os desastres naturais, estão os hidrológicos, que são as inundações, as enxurradas e os alagamentos.

O município de Ibiporã eventualmente é afetado com problemas de enchentes/inundações, enxurradas e alagamentos, ocasionados principalmente pela ocupação desordenada, muitas vezes em áreas irregulares. Desta maneira, em períodos de chuvas intensas, muitas vezes ocorrem desastres, que são definidos como resultados de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem sobre um cenário vulnerável, causando grave perturbação ao funcionamento de uma comunidade ou sociedade envolvendo extensivas perdas e danos humanos, materiais, econômicos ou ambientais (S2iD, 2012).

A seguir, a Tabela 2 apresenta a quantidade de registros de desastres hidrológicos no município de Ibiporã, cujas informações são disponibilizadas pela Defesa Civil do Paraná.

Tabela 2 - Registros de desastres hidrológicos no município de Ibiporã

Evento	Quantidade
Enxurradas na área urbana	5
Alagamento na área urbana	2
Inundações na área urbana	3
Pessoas desabrigadas ou desalojadas na área urbana	0
Enxurradas, alagamentos e inundações nos últimos 5 anos	3



Afetados por eventos pluviométricos nos últimos 5 anos	54
Domicílio sujeitos a risco de inundação	-

Fonte: Defesa Civil do Paraná, 2024.

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

De modo geral, a canalização dos rios urbanos e as galerias acabam por receber toda a água do escoamento superficial. Esses conceitos já ultrapassados dos projetos de drenagem urbana, que têm como filosofia escoar a água precipitada o mais rapidamente possível para a jusante, aumentam, em várias ordens de magnitude, a vazão máxima, a frequência e o nível de inundação e de alagamentos à jusante (CHOW; MAYS, 1988). Dessa forma, o rápido afastamento das águas propicia a combinação dos fenômenos de enxurradas e de alagamentos, principalmente em áreas urbanas acidentadas, o que torna os danos ainda mais severos (CASTRO, 2003).

Outro grande problema dos sistemas de drenagem está relacionado à própria gestão do saneamento básico. O carreamento de lixo e de sedimentos para as sarjetas, as bocas de lobo e para as galerias acaba obstruindo as entradas e as tubulações de drenagem, colaborando na ocorrência de alagamentos localizados.

Ademais, interligações clandestinas de esgoto contribuem para que as redes de drenagem sejam utilizadas de forma errônea e possibilitam o aparecimento de vetores, o que é prejudicial à saúde pública. Diante destas condições, quando caem volumes pluviométricos capazes de gerar alagamentos em diferentes pontos da cidade, acontecem diversos transtornos e a possibilidade de contaminação aumenta de forma geométrica.

Para suportar as modificações do uso do solo na bacia, são necessárias obras de ampliação do sistema de drenagem (medidas estruturais). De fato, o escoamento das águas superficiais sempre ocorrerá, existindo ou não um sistema adequado de drenagem. Por isso, a qualidade do sistema é que determina a existência de benefícios ou de prejuízos à população.



4.2. ANÁLISE HIDROLÓGICA

4.2.1. PRECIPITAÇÕES INTENSAS PARA IBIPORÃ

A precipitação é entendida em hidrologia como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície. A determinação da intensidade da precipitação é, portanto, importante para a estimativa das vazões de projetos das obras de drenagem e o controle de inundações (SUDERHSA, 2002).

A precipitação de projeto é um evento crítico de chuva construído artificialmente tomando como base em características estatísticas da chuva medida em campo e com base em parâmetros de resposta da bacia hidrográfica (BH). É definida com o objetivo de gerar um hidrograma ou vazão de projeto para uma determinada BH e é normalmente encontrada a partir de relações intensidade-duração-frequência, denominadas de curvas IDF ou equação IDF (SUDERHSA, 2002). A expressão utilizada para relacionar intensidade, duração e frequência das precipitações apresenta a forma geral (TUCCI, 2004), dada pela Equação 1.

$$i = \frac{K \times Tr^a}{(t+b)^c} \quad (1)$$

Onde:

i = intensidade das precipitações, em mm/h ou mm/min;

Tr = tempo de retorno, em anos;

T = duração das precipitações, em min;

K , a , b e c = parâmetros a serem determinados para a localidade em questão.

Na determinação das chuvas intensas, é essencial os dados pluviométricos suficientemente longos e representativos do local do projeto (FESTI, 2009), de durações parciais (sub-diários) das precipitações, sendo as mais usuais de 10, 20, 30, 40, 60, 120, 360, 720, 1440 minutos (GUIMARÃES *et al.*, 2016). De acordo com informações da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e Sistema de Informações Hidrológicas do Instituto Água e Terra (IAT), no município de Ibiporã encontram-se instalados 5 postos pluviométricos conforme apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1– Informações da estação pluviométrica de Ibiporã - PR.**

ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	
Nome da estação / Entidade:	Ibiporã / Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR)
Código	2351011
Coordenadas geográficas:	Lat -23,27 / Long -51,02
Altitude:	484,0 m
Duração da estação:	1971-atualmente
Períodos de dados:	1971-2015 = 44 anos
ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	
Nome da estação / Entidade:	UHE Capivara Jataizinho / Rio Paranapanema Energia S.A
Código	2350000
Coordenadas geográficas:	Lat -23,26 / Long - 50,98
Altitude:	350,0 m
Duração da estação:	1937-1999
Períodos de dados:	1985-1999 = 14 anos
ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	
Nome da estação / Entidade:	Canal de fuga Jataizinho / Instituto Água e Terra do Paraná (IAT)
Código	2350069
Coordenadas geográficas:	Lat -23,27 / Long - 50,98
Altitude:	345,0 m
Duração da estação:	1998-2015
Períodos de dados:	1998-2015 = 17 anos
ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	
Nome da estação / Entidade:	União da Vitória – Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR)
Código	2651060
Coordenadas geográficas:	Lat -23,22 / Long - 51,07
Altitude:	-
Duração da estação:	1997- atualmente
Períodos de dados:	1997-atualmente
ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	
Nome da estação / Entidade:	Chácara Ana Cláudia / IAT
Código	2350067
Coordenadas geográficas:	Lat -23,31 / Long -50,99
Altitude:	350 m
Duração da estação:	1997-atualmente
Períodos de dados:	1997-atualmente

Fonte: ANA, 2024; IAT, 2024.

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



O Grupo de Pesquisa de Recursos Hídricos (GPRH) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) desenvolveu um *software* chamado PLUVIO que possibilita a obtenção da equação de chuvas intensas. Assim, a equação de chuvas intensas para Ibiporã, pode ser verificada a seguir:

$$i = \frac{3132,56}{(t + 30)^{0,939}} \times TR^{0,093}$$

Onde:

- t: duração da chuva, em minutos;
- TR: tempo de recorrência ou período de retorno, em anos;
- i: intensidade da chuva (mm/h), correspondente à duração t e ao período de retorno TR.

A Tabela 3 apresenta os valores da intensidade para tempos de recorrência de 10, 25 e 50 anos e várias durações das chuvas.

Tabela 3 – Intensidade de precipitação para o município de Ibiporã.

Duração t (min.)	Período de Retorno TR (anos)		
	10	25	50
10	121,496863	132,3041561	141,11373
20	98,5295647	107,2938884	114,43814
30	83,0262407	90,41152502	96,431647
60	56,7369103	61,78372695	65,897645
120	35,1196117	38,2435436	40,79002
180	25,6056309	27,88328265	29,739913
360	14,3182431	15,59186812	16,630065
720	7,74848634	8,437723556	8,999556
1080	5,3621767	5,839148789	6,2279531
1440	4,11896803	4,485355206	4,7840161

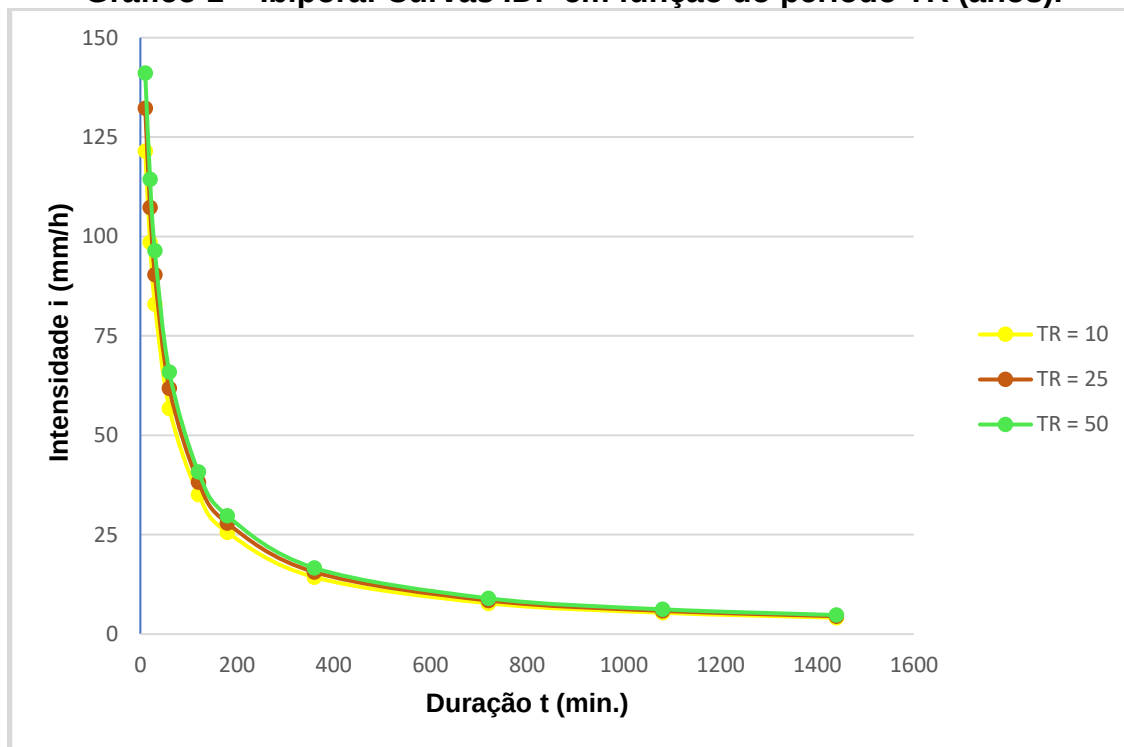
Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

É possível observar que, quanto menor o tempo de duração, maior é intensidade da chuva. Da mesma forma, quanto maior o período de retorno, maior a intensidade da chuva. Ou seja, as chuvas mais intensas ou extremas são aquelas que apresentam grandes lâminas d'água precipitadas em pequenos intervalos de tempo e em maiores tempos de recorrência.

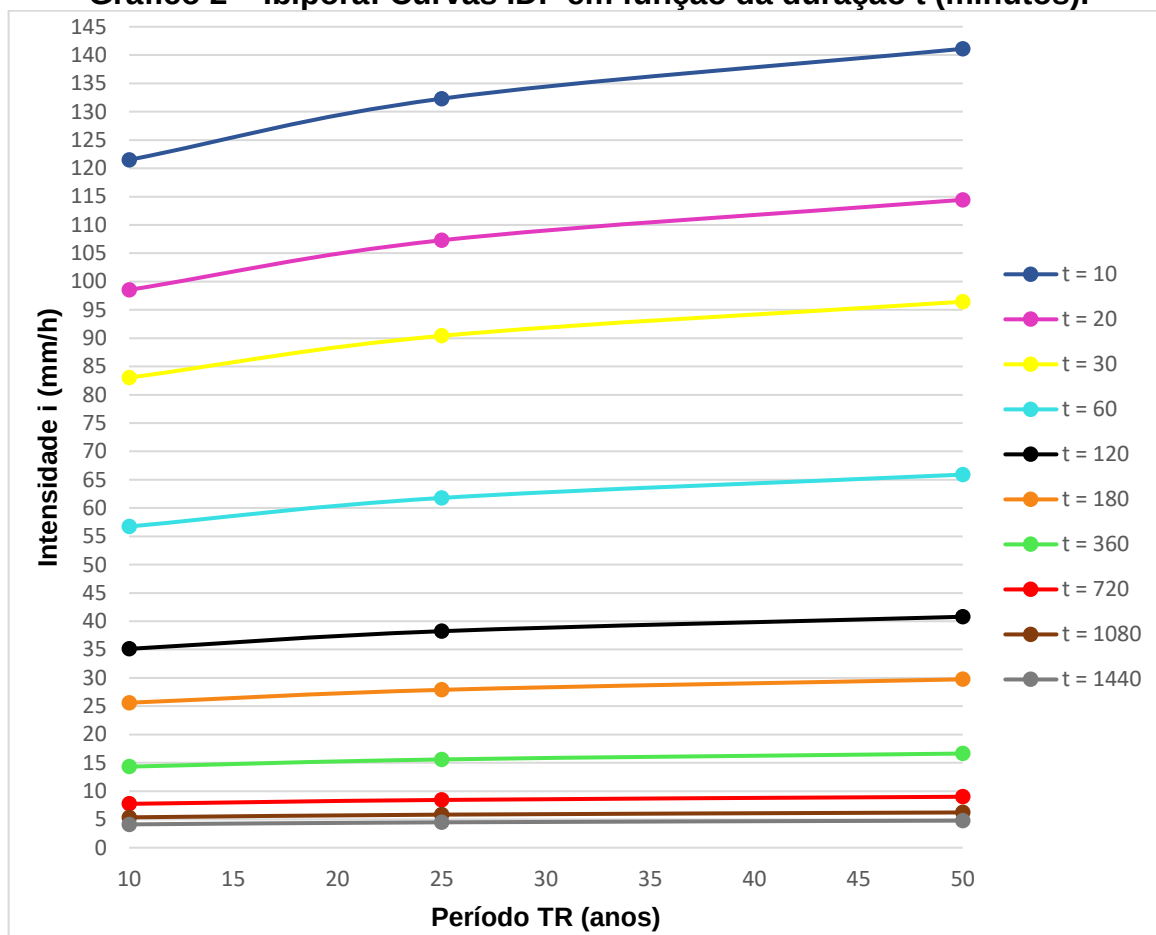


Na sequência, o Gráfico 1 apresenta as curvas IDF (Intensidade – Duração – Frequência) em função do tempo de retorno. E o Gráfico 2, as curvas IDF em função da duração da chuva.

Gráfico 1 – Ibiporã: Curvas IDF em função do período TR (anos).



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

**Gráfico 2 – Ibiporã: Curvas IDF em função da duração t (minutos).**

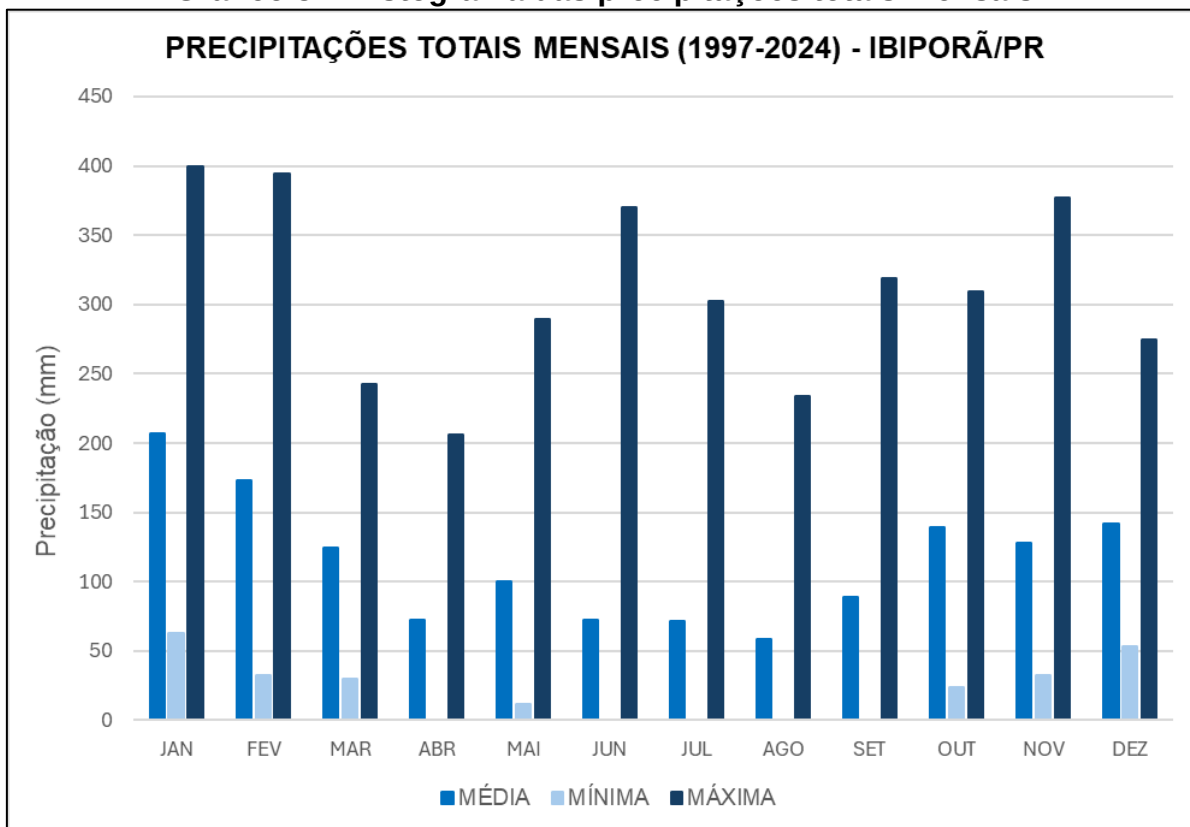
Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

A intensidade da precipitação indica a quantidade (altura, em mm) precipitada no tempo. Já o conceito de tempo de retorno (TR) pode ser expresso como o “número médio de anos em que, para a mesma duração de precipitação, uma determinada intensidade pluviométrica é igualada ou ultrapassada apenas uma vez” (NBR 10844:1989).

4.2.1.1. Histogramas de Precipitação

Para auxiliar a tomada de decisão dos gestores públicos quanto a ocorrência de alagamentos e enchentes, deve-se analisar quais meses do ano ocorre maior precipitação. Para isso, histogramas de precipitação de série histórica servem como uma ótima ferramenta.

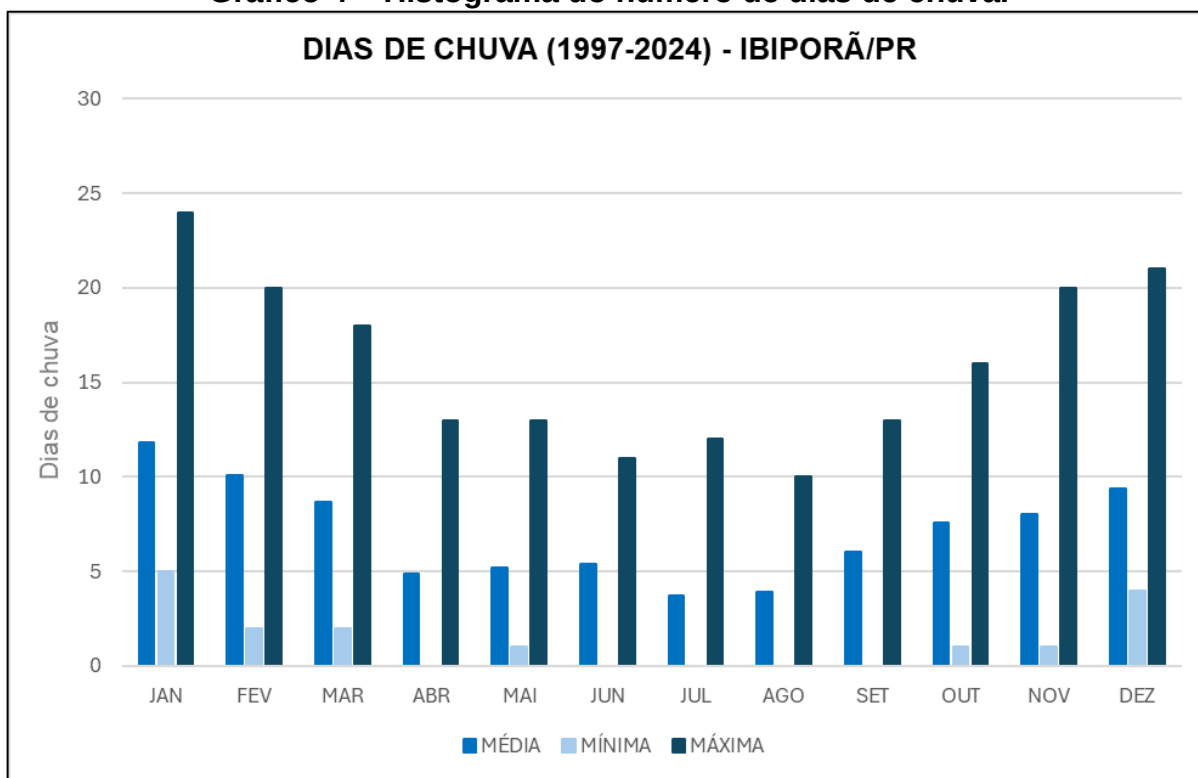
Analisando a série histórica de 1997 - 2024 da estação pluviométrica Chácara Ana Cláudia, monitorada pelo IAT e ANA, o Gráfico 3 ilustra as médias, mínimas e máximas mensais de precipitação.

**Gráfico 3 – Histograma das precipitações totais mensais.**

Fonte: Sistema de Informações Hidrológicas do Paraná, 2024.

Elaboração: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Já o Gráfico 4 apresenta as médias, mínimas e máximas dos dias de chuva por mês. Tais dados são numericamente apresentados na Tabela 4.

**Gráfico 4 – Histograma do número de dias de chuva.**

Fonte: Sistema de Informações Hidrológicas do Paraná, 2024.

Elaboração: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Tabela 4 – Dados mensais de precipitação e dias de chuva.

Dados de precipitação e dias de chuva de Ibiporã													
MÊS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Precipitação (mm)	Méd.	206,5	173,3	124,6	72,1	100,1	72,2	71,7	58,8	88,5	139,5	128,1	142,0
	Mín.	63,0	32,7	30,0	0	11,4	0	0	0	0	23,5	32,9	53,5
	Máx.	400,0	394,1	242,3	206,4	289,7	370,1	302,7	234,1	318,6	309,2	376,9	275,0
Dias de chuva	Méd.	11,8	10,1	8,7	4,9	5,2	5,4	3,7	3,9	6	7,6	8	9,4
	Mín.	5	2	2	0	1	0	0	0	0	1	1	4
	Máx.	24	20	18	13	13	11	12	10	13	16	20	21

Fonte: Sistema de Informações Hidrológicas do Paraná, 2024.

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

É possível observar no Gráfico 3 e na Tabela 4 que os meses de menor precipitação média são os de junho, julho e agosto. Já os meses de maior precipitação média são os de dezembro, janeiro, fevereiro

O Já o Gráfico 4 apresenta as médias, mínimas e máximas dos dias de chuva por mês. Tais dados são numericamente apresentados na Tabela 4.



O Gráfico 3 apresenta comportamento semelhante ao do Gráfico 4, porém não se pode afirmar que os meses de maior e menor precipitação média são os mesmos meses que possuem as maiores e menores quantidades de dias de precipitação.

4.2.2. BACIAS HIDROGRÁFICAS

A bacia hidrográfica de um curso de água em uma dada seção é representada pela área limitada pela linha de cumeada (linha dos pontos mais altos), que a separa das bacias vizinhas e fechada na seção considerada (SEMADS, 2001).

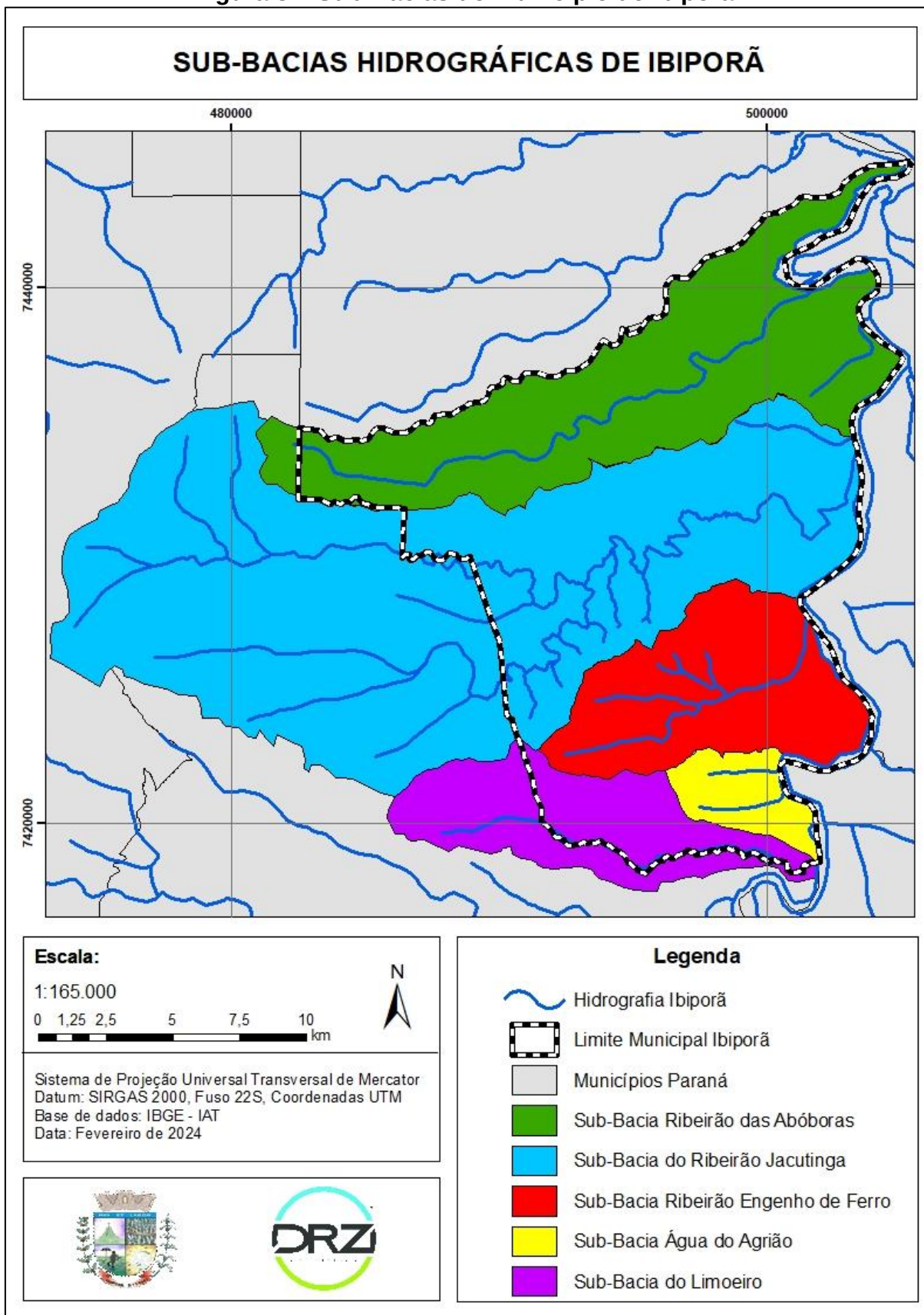
Para se projetar novos sistemas de drenagem urbana ou para analisar e otimizar os sistemas existentes, pode-se lançar mão da modelagem em drenagem urbana. São fatores importantes para a modelagem, para a análise de escoamento, as características morfométricas das bacias (tais como tamanho dos canais, ordens de grandeza, geometria, declividade, topografia do terreno), o nível de permeabilidade do solo e o regime de chuvas, pois esses fatores têm forte influência no escoamento superficial.

4.2.2.1. Análise Morfométrica das Sub-Bacias

Para a determinação dos parâmetros morfométricos da rede de drenagem optou-se pela utilização das sub-bacias do município, sendo escolhidas para os estudos as que interferem diretamente na dinâmica de ocupação do município de Ibiporã. A Figura 3 mostra a delimitação das cinco sub-bacias que influenciam na drenagem pluvial do município.



Figura 3 – Sub-Bacias do município de Ibiporã.



Elaboração: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



4.2.2.2. Análise Linear

→ **Comprimento do canal principal (km) - Lcp**

É a distância que se estende ao longo do canal principal, desde sua nascente até a foz.

→ **Altura do canal principal (m) - Hcp**

Para encontrar a altura do canal principal, subtrai-se a cota altimétrica encontrada na nascente pela cota encontrada na foz.

→ **Gradiente do canal principal (m/Km) - Gcp**

É a relação entre a altura do canal e o comprimento do respectivo canal, indicando a declividade do curso d'água. É obtido pela Equação 2:

$$G_{cp} = \frac{H_{cp}}{L_{cp}} \quad (2)$$

Onde:

- Gcp: gradiente do canal principal (m/Km);
- Hcp: altura do canal principal (m);
- Lcp: comprimento do canal principal (Km).

4.2.2.3. Análise Areal

Na análise areal das sub-bacias hidrográficas, estão englobados vários índices nos quais intervêm medições planimétricas, além de medições lineares. Podem ser incluídos os seguintes índices:

→ **Comprimento da bacia (km) - Lb**

É calculado por meio da medição de uma linha reta traçada ao longo do rio principal, desde sua foz até o ponto divisor da bacia.



→ Coeficiente de compacidade da bacia - Kc

É a relação entre o perímetro da bacia e a raiz quadrada da área da bacia. Este coeficiente determina a distribuição do deflúvio ao longo dos cursos d'água e é em parte responsável pelas características das enchentes, ou seja, quanto mais próximo do índice de referência que designa uma bacia de forma circular, mais sujeita a enchentes será a bacia. É obtido pela Equação (3):

$$Kc = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

Onde:

- Kc: coeficiente de compacidade;
- P: perímetro da bacia (Km);
- A: área da bacia (Km²).
- Índice de referência – 1,0 = forma circular.
- Índice de referência – 1,8 = forma alongada.

Pelos índices de referência, 1,0 indica que a forma da bacia é circular e 1,8 indica que a forma da bacia é alongada. Quanto mais próximo de 1,0 for o valor deste coeficiente, mais acentuada será a tendência para maiores enchentes. Isso porque, em bacias circulares, o escoamento será mais rápido, pois a bacia descarregará seu deflúvio direto com maior rapidez, produzindo picos de enchentes de maiores magnitudes. Já nas bacias alongadas, o escoamento será mais lento e a capacidade de armazenamento maior.

→ Densidade hidrográfica (rios/Km²) - Dh

É a relação entre o número de segmentos de 1ª ordem e a área da bacia. É obtida pela Equação (4):

$$Dh = \frac{N1}{A} \quad (4)$$

Onde:

- Dh: densidade hidrográfica (rios/Km²);



- N1: número de rios de 1ª ordem;
- A: área da bacia (Km²).

Canali (1986) define três categorias de densidade hidrográfica:

- Dh baixa = menos de 5 rios/Km²;
- Dh média = de 5 a 20 rios/Km²;
- Dh alta = mais de 20 rios/Km².

Este parâmetro expressa a grandeza da rede hidrográfica da bacia e possibilita a identificação da capacidade de resposta dela em relação ao escoamento superficial. Com a densidade hidrográfica é possível obter o coeficiente de torrencialidade, que é o parâmetro mais utilizado na previsão de inundações. Um pequeno número de canais para uma grande área, em momentos de torrencialidades relevantes, pode gerar problemas para os talwegues e consequentes inundações.

→ **Densidade de drenagem (Km/Km²) - Dd**

É a relação entre o comprimento dos canais e a área da bacia. É obtida pela Equação (5):

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (5)$$

Onde:

- Dd: densidade de drenagem;
- Lt: comprimento dos canais (Km);
- A: área da bacia (Km²).

Segundo Villela & Mattos (1975), o índice varia de 0,5 km/km², para bacias com pouca capacidade de drenagem, até 3,5 km/km² ou mais, para bacias excepcionalmente bem drenadas.

→ **Coeficiente de torrencialidade - Ct**

Com a determinação deste coeficiente é possível saber se uma bacia hidrográfica possui tendência natural para a ocorrência de inundações ou não. É obtido pela Equação (6):



$$Ct = Dh * Dd$$

(6)

Onde:

- Ct: coeficiente de torrencialidade;
- Dh: densidade hidrográfica (rios/Km²);
- Dd: densidade de drenagem (Km/Km²).

A probabilidade da ocorrência de inundações é tanto mais elevada quanto maior for o valor.

4.2.2.4. Resultados

As cinco sub-bacias presentes em Ibiporã foram analisadas e os parâmetros lineares e areais são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Estudo morfométrico das sub-bacias do município de Ibiporã.

Parâmetro	Sub-Bacia				
	Abóboras	Jacutinga	Engenho de Ferro	Água do Agrião	Limoeiro
Área da bacia - A (Km ²)	105,46	249,78	55,40	13,50	45,58
Perímetro da bacia - P (Km)	80,00	89,31	34,51	17,60	38,51
Comprimento da bacia - Lb (Km)	22,29	30,98	11,09	3,90	16,97
Compr. do canal principal - Lcp (Km)	25,51	47,91	12,41	3,38	15,74
Cota da foz - Cf (m)	345	332	340	360	368
Cota da nascente - Cn (m)	568	610	502,50	427,50	530
Cota do topo - Ct (m)	629	680	560	550	575
Altura do canal principal - Hcp (m)	223	278	162,50	67,50	162
Grad. canal principal - Gcp (m/Km)	8,74	5,80	13,09	19,97	10,29
Coef. compacidade (fator forma) - Kc	2,18	1,58	1,30	1,34	1,60
Densidade hidro - Dh (rios/Km ²)	0,57	0,48	0,87	1,33	1,05
Densi. de drenagem - Dd (Km/Km ²)	0,93	1,03	1,15	1,46	1,50



Parâmetro	Sub-Bacia				
	Abóboras	Jacutinga	Engenho de Ferro	Água do Agrião	Limoeiro
Coeficiente de torrencialidade - Ct	0,53	0,49	1,00	1,94	1,57
Declividade - S (m/m)	0,01	0,01	0,02	0,05	0,01
Declividade - S (%)	1,27	1,12	1,98	4,87	1,22

Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

A análise dos parâmetros mostra que as sub-bacias apresentam grandes variações entre as características morfométricas. Com relação às áreas, a Sub-Bacia do Ribeirão Jacutinga e a Sub-Bacia Água do Agrião são, respectivamente, a maior e a menor do município de Ibiporã, com 249,78 Km² e 13,50 Km².

A densidade de drenagem apresentou valores entre 0,93 e 1,50 Km/Km². Este parâmetro expressa se as sub-bacias apresentam um maior potencial de escoamento das águas da chuva. Somado a este parâmetro, com o gradiente do canal principal é possível identificar quais apresentam maior dificuldade natural de escoamento.

Com relação a análise do parâmetro do coeficiente de compacidade (Kc), quanto mais próximo de 1,0 for o valor deste coeficiente, que se relaciona com as bacias circulares, mais acentuada será a tendência de enchentes, e quanto mais próximo de 1,8, o escoamento será mais lento e a capacidade de armazenamento maior. Desta maneira, é possível perceber que as sub-bacias Água do Agrião e do Ribeirão Engenho de Ferro possuem formatos mais circulares, portanto com maiores chances de ocorrerem enchentes do que as sub-bacias restantes com formatos mais alongados, pois os valores de seus Kc estão muito mais próximos de 1,0 do que de 1,8.

4.2.3. DECLIVIDADE DO TALVEGUE

O município de Ibiporã encontra-se no terceiro Planalto Paranaense ou Planalto de Guarapuava, limitando à leste pela serra da Boa Esperança. Sua geomorfologia caracteriza-se pela uniformidade e presença de derrames vulcânicos de lavas basálticas e areníticas, extensos e espessos de até 500 metros, sendo constituído por rochas básicas da era Mesozóica (PIEROTE, 2008). Cerca de 70% do território de



Ibiporã apresenta áreas de pequenas e médias ondulações, com declividades bastante expressivas, variando entre 3 e 20%, aumentando próximo às nascentes dos ribeirões com variação entre 20 e 45%. Somente nas áreas próximas aos veios d'água, em quase todos os ribeirões e no espigão sul, próximo à divisa com os municípios de Londrina e Assaí, são encontradas declividades acima de 45%. Nos topos dos interflúvios, geralmente, as cotas de altitude estão no intervalo de 480-590 metros e nos fundos de vale, entre 320 e 420 metros (IBIPORÃ, 2006).

Os córregos principais das sub-bacias que fazem parte desse plano têm comprimento do talvegue que variam de 3.375,90 m a 47.911,97 m, conforme indica a Tabela 6. As declividades dos talvegues variam de 5,80 a 19,97 metros por quilômetro.

Tabela 6 – Comprimento e declividade dos talvegues das sub-bacias de Ibiporã.

Sub-Bacia	Comprimento do Talvegue (m)	Declividade do Talvegue (m/Km)
Abóboras	25.512,12	8,74
Jacutinga	47.911,97	5,80
Engenho de Ferro	12.414,54	13,09
Água do Agrião	3.375,90	19,97
Limoeiro	15.739,95	10,29

Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

4.2.4. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

É o tempo que a partícula de chuva que cai no ponto mais distante da bacia leva para chegar até a seção de interesse. O desnível e a distância entre esses dois pontos são expressos por (Δh) e (L). Para determinar o tempo de concentração (t_c) há vários métodos. Os métodos utilizados foram o de Kirpich (Equação 7) e Kirpich Modificado (Equação 8):

Kirpich:

$$T_c = 57 \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385} \leq \text{bacias de } 10 \text{ Km}^2 \quad (7)$$

Kirpich Modificado:

$$T_c = 1,5 * 57 \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385} \geq \text{bacias de } 10 \text{ Km}^2 \quad (8)$$



Onde:

- Tc: tempo de concentração (min);
- L: comprimento do talvegue (Km);
- Δh : desnível do talvegue (m).

A Tabela 7 apresenta os tempos de concentração para as sub-bacias do município de Ibiporã.

Tabela 7 – Tempos de concentração das sub-bacias do município de Ibiporã.

Sub-Bacia	Cota Montante (m)	Cota Jusante (m)	Δh (m)	L (Km)	Tc (min.)	Tc (horas)
Abóboras	568	345	223	25,51	449,39	7,49
Jacutinga	610	332	278	47,91	854,87	14,25
Engenho de Ferro	502,50	340	162,50	12,41	220,85	3,68
Água do Agrião	427,50	360	67,50	3,38	68,96	1,15
Limoeiro	530	368	162	15,74	290,97	4,85

Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

O tempo de concentração da bacia hidrográfica é utilizado para estimar as vazões máximas nos projetos hidrológicos. O conhecimento do comportamento da bacia, com relação ao tempo de concentração, auxilia na prevenção e minimização das consequências de desastres naturais e na poluição pontual nos recursos hídricos.

O tempo de concentração (Tc) se relaciona com o coeficiente de compacidade (Kc) da bacia, desta maneira, quanto menor o Kc, mais circular é a bacia e menor é o Tc. Um menor tempo de concentração representa uma intensidade de chuva maior e, por consequência, uma maior vazão de cheia, ou seja, quanto mais circular a bacia, mais acentuada será a tendência para enchentes, neste caso, nas sub-bacias Água do Agrião e do Ribeirão Engenho de Ferro, porém a Sub-Bacia Água do Agrião que está localizada inteiramente na área rural, logo, a vazão de cheia não acarreta grandes problemas.

A Sub-Bacia do Ribeirão Engenho de Ferro, que abrange uma porção de seu território na área urbana, exercerá significativa influência hídrica dentro do perímetro urbano. Por outro lado, a Sub-Bacia do Ribeirão Jacutinga, com formato mais alongado, engloba o restante da região urbana.



4.2.5. INTENSIDADE DA CHUVA DE PROJETO

A existência de séries longas e confiáveis de dados de postos pluviométricos permite a geração de curvas (e tabelas) representando as relações de intensidade, duração e frequência (IDF) de precipitações para várias localidades.

Como apresentado no Item 4.2.1 (Precipitações Intensas), para o município de Ibiporã foi adotado a Equação 1 de chuvas intensas. As equações que relacionam intensidade, duração e frequência das precipitações para cada localidade, incorporam a expressão proposta por *Ven-Te-Chow* para as análises hidrológicas, admitindo-se que as precipitações intensas atendam à distribuição estatística de tipo I de *Fischer-Tipett*, conhecida, também, como a distribuição de *Gumbel*. Desse modo, nesse tipo de função, as características matemáticas da distribuição adotada são preservadas na estrutura da equação a ser definida (DAEE/FCTH, 2018).

4.2.6. PERÍODO DE RETORNO

É a frequência com que a precipitação de projeto venha a ser atingida ou ultrapassada pelo menos uma vez num ano qualquer. Representa o risco a ser assumido no dimensionamento de uma obra hidráulica. Essa frequência é igual ao inverso do valor do período de retorno ou tempo de recorrência (TR). O Figura 4 mostra os valores recomendados pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH), instituição que realiza e desenvolve estudos e pesquisas tecnológicas aplicadas, atendendo às necessidades dos setores públicos e privado como a Universidade de São Paulo (USP), o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) do Estado de São Paulo e com outras instituições em programas de desenvolvimento tecnológico nas áreas de sua atuação, Hidráulica Fundamental, Hidráulica Aplicada, Hidrologia, Recursos Hídricos e Meio Ambiente.

**Figura 4 – Valores recomendados para períodos de retorno.**

Características do sistema	Tr (anos)
Microdrenagem	2 a 10
Macrodrenagem	25 a 50
Grandes corredores de tráfego e áreas vitais para a cidade	100
Áreas onde se localizam instalações e edificações de uso estratégico, como hospitais, bombeiros, polícia, centros de controle de emergências, etc.	500
Quando há risco de perdas de vidas humanas	100 (mínimo)

Fonte: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH), 2012.

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Para o Plano Municipal de Drenagem Urbana de Ibiporã, foram adotados os períodos de recorrência de 10, 25 e 50 anos para a análise das vazões. No dimensionamento das estruturas hidráulicas, serão empregados períodos de retorno de 10 anos para microdrenagem e de 25 anos para macrodrenagem. O período de retorno de 50 anos será reservado exclusivamente para o estudo hidráulico dos corpos hídricos urbanos, como ribeirões e córregos.

O tempo de retorno de 25 anos é frequentemente usado em projetos de macrodrenagem devido a uma combinação de fatores. Esse período é escolhido com base em considerações estatísticas, históricas e de engenharia para equilibrar a eficiência do projeto e a viabilidade econômica. Aqui estão alguns motivos principais:

1. **Risco Aceitável:** Um período de retorno de 25 anos é considerado um equilíbrio entre o risco aceitável e a frequência de ocorrência de eventos extremos, como chuvas intensas. Projetar uma infraestrutura para resistir a eventos mais raros, como os que acontecem a cada 100 anos, pode ser excessivamente caro e não justificável em termos de custo-benefício.
2. **Dados Disponíveis:** Geralmente, há mais dados históricos e estatísticos disponíveis para eventos de chuvas intensas e inundações com períodos de retorno em torno de 25 anos. Isso permite uma análise mais precisa e confiável ao projetar sistemas de macrodrenagem.
3. **Viabilidade Econômica:** Projetar infraestruturas para eventos extremamente raros pode ser economicamente inviável. O dimensionamento para um período



de retorno maior pode resultar em custos excessivos de construção e manutenção.

4. **Segurança e Funcionalidade:** Um projeto baseado em um tempo de retorno de 25 anos geralmente oferece um nível adequado de segurança e funcionalidade para a maioria das situações de chuva intensa, minimizando danos e problemas de inundação.

Um dos princípios do cálculo hidrológico é a adoção de um coeficiente de escoamento superficial (C), ou *runoff*, estimado com base em características da bacia, e que representa o seu grau de impermeabilização ou urbanização. Quanto maior a possibilidade de a água precipitada infiltrar no solo, ou de ficar retida pela vegetação, menor será a parcela que se transformará em Escoamento Superficial Direto, resultando em um valor mais baixo para o coeficiente C. Ou seja, quanto mais permeável o solo, maior será a quantidade de água que ele pode absorver, diminuindo assim a ocorrência de excesso de precipitação.

Existem vários métodos para o cálculo ou adoção do coeficiente de escoamento superficial. O método utilizado no Plano será o da Curva Número (CN). Esse método foi desenvolvido no Soil Conservation Service (SCS) para o cálculo das vazões, e por ser de fácil aplicação, é muito utilizado para se obter os hidrogramas de projeto de obras hidráulicas. O Quadro 2 e o Quadro 3 apresentam alguns valores de CN, para diferentes tipos de usos do solo e características dos solos.

Quadro 2 – Valores de CN para diferentes tipos de uso do solo.

Uso do Solo	Superfície do Solo	Grupo do Solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terraceado em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80



Uso do Solo	Superfície do Solo	Grupo do Solo			
		A	B	C	D
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curva de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras / Estradas de terra	Normais	56	75	86	91
	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Fonte: Tucci et al., 1993.

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

**Quadro 3 – Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas.**

Valores de CN			Grupos de Solos			
			A	B	C	D
Utilização ou cobertura do solo	Zonas cultivadas: sem conservação do solo		72	81	88	91
	Zonas cultivadas: com conservação do solo		62	71	78	81
	Pastagens ou terrenos em más condições		68	79	86	89
	Baldios em boas condições		39	61	74	80
	Prado em boas condições		30	58	71	78
	Bosques ou zonas com cobertura ruim		45	66	77	83
	Floresta: cobertura boa		25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições	Com relva em mais de 75% da área		39	61	74	80
	Com relva de 50% a 75% da área		49	69	79	84
	Zonas comerciais e de escritórios		89	92	94	95
	Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais	Lotes de (m ²)	% média impermeável	-	-	-	-
	<500	65	77	85	90	92
	1.000	38	61	75	83	87
	1.300	30	57	72	81	86
	2.000	25	54	70	80	85
	4.000	20	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.	-		98	98	98	98
Arruamentos e estradas	Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais		98	98	98	98
	Paralelepípedos		76	85	89	91
	Terra		72	82	87	89

Fonte: Tucci et al., 1993.

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

4.2.6.1. Condições Atuais de Uso do Solo

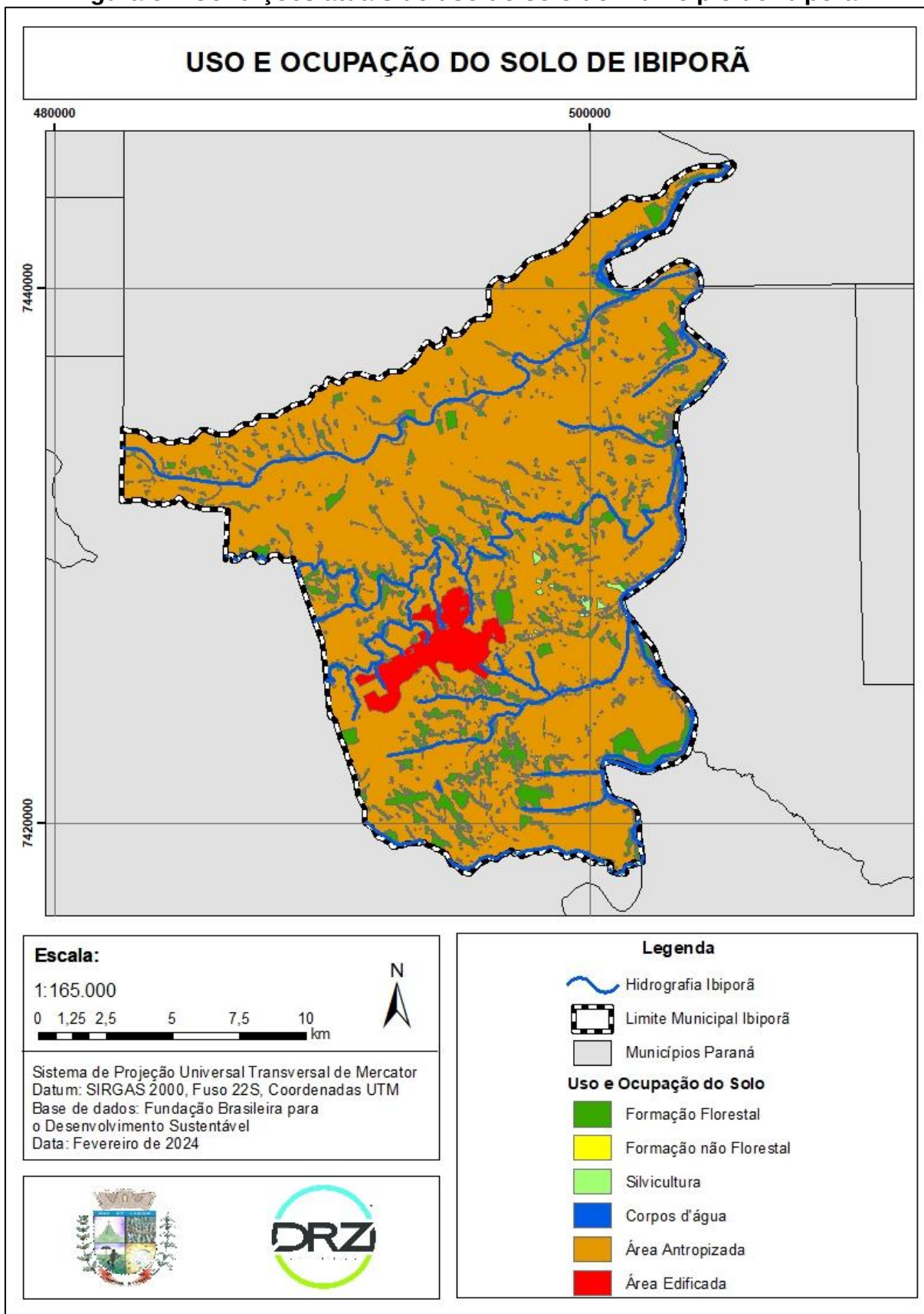
Para a obtenção dos índices CN a serem utilizados nos cálculos das vazões de projeto, foi realizada uma análise das áreas dos diferentes tipos de usos do solo de cada uma das bacias estudadas. Essas áreas foram calculadas e então determinadas suas porções percentuais em relação às áreas das bacias. Para homogeneizar os diferentes usos do solo em cada bacia, foram escolhidos os que mais representam as atuais condições de urbanização das mesmas. São estes os usos escolhidos:



Formação Florestal, Formação não Florestal, Silvicultura, Área Antropizada e Área Edificada. A Figura 5 mostra as condições atuais de uso do solo de Ibiporã.



Figura 5 – Condições atuais de uso do solo do município de Ibiporã.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



Partindo-se desses usos do solo, atribuiu-se um CN para cada tipo. Com a área calculada para cada tipo determinou-se o CN para a bacia em questão através da média ponderada das áreas. A Tabela 8 apresenta os valores calculados do CN das sub-bacias e microbacias urbanas, respectivamente, para as condições atuais de uso do solo.

Tabela 8 – Valores de CN das bacias do município de Ibiporã.

Bacia	Classes de Uso do Solo	Área (Km ²)	Área Total (Km ²)	Classificação Hidrológica dos Solos (Grupo Hidrológico)	CN	Coeficiente da Bacia
Ribeirão das Abóbora	Formação Florestal	2,54	104,28	Latosolo Vermelho (A)	26	72,4099
	Silvicultura	0,05			46	
	Área Antropizada	33,23			67	
	Formação Florestal	4,13		Nitossolo Vermelho (B)	52	
	Silvicultura	0,08			68	
	Área Antropizada	54,08			77	
	Formação Florestal	0,72		Neossolo Litólico (D)	69	
	Silvicultura	0,01			84	
	Área Antropizada	9,44			87	
Ribeirão Jacutinga	Formação Florestal	4,10	249,13	Latosolo Vermelho (A)	26	74,0382
	Silvicultura	0,12			46	
	Área Antropizada	54,71			67	
	Área Edificada	60,55			77	
	Formação Florestal	7,26		Nitossolo Vermelho (B)	52	
	Formação Não Florestal	0,01			60	
	Silvicultura	0,22			68	
	Área Antropizada	96,92			77	
	Área Edificada	20,19			85	
	Formação Florestal	0,35		Neossolo Litólico (D)	69	
	Silvicultura	0,01			84	
	Área Antropizada	4,69			87	
	Formação Florestal	1,06	54,80	Latosolo Vermelho (A)	26	76,5380
	Silvicultura	0,06			46	
	Área Antropizada	6,23			67	
	Área Edificada	1,33			77	
	Formação Florestal	3,31		Nitossolo Vermelho (B)	52	



	Silvicultura	0,20			68	
	Área Antropizada	19,59			77	
	Formação Florestal	3,17			69	
	Silvicultura	0,18			84	
	Área Antropizada	18,70			87	
	Área Edificada	0,97			92	
Água do Agrião	Área Antropizada	0,81	13,50	Latossolo Vermelho (A)	67	76,3970
	Formação Florestal	0,84		Nitossolo Vermelho (B)	52	
	Área Antropizada	6,67		Neossolo Litólico (D)	77	
	Formação Florestal	1,71			69	
	Silvicultura	0,02			84	
	Área Antropizada	3,45			87	
Limoeiro	Área Antropizada	6,12	45,46	Latossolo Vermelho (A)	67	75,4105
	Área Edificada	6,92			77	
	Formação Florestal	3,28		Nitossolo Vermelho (B)	52	
	Área Antropizada	18,89			77	
	Formação Florestal	1,66		Neossolo Litólico (D)	69	
	Silvicultura	0,56			84	
	Área Antropizada	8,03			87	
MB-01	Área Antropizada	0,01	5,75	Latossolo Vermelho (A)	56	81,7826
	Área Edificada	0,87			77	
	Formação Florestal	0,12		Nitossolo Vermelho (B)	52	
	Área Antropizada	2,06			75	
	Formação Florestal	0,24		Neossolo Litólico (D)	69	
	Área Antropizada	1,55			92	
	Área Edificada	0,90			92	
MB-02	Formação Florestal	0,03	7,57	Latossolo Vermelho (A)	26	79,1559
	Área Antropizada	1,48			56	
	Área Edificada	0,45			77	
	Formação Florestal	0,10		Nitossolo Vermelho (B)	52	
	Área Antropizada	0,24			75	
	Formação Florestal	1,18		Neossolo Litólico (D)	69	
	Área Antropizada	4,03			92	
	Área Edificada	0,06			92	
MB-03	Formação Florestal	0,30	3,14	Latossolo Vermelho (A)	26	61,3567
	Área Antropizada	1,38			56	



	Área Edificada	0,19		Nitossolo Vermelho (B)	81	
	Formação Florestal	0,15			52	
	Área Antropizada	1,09			75	
	Área Edificada	0,03			88	
MB-11	Formação Florestal	0,05	2,48	Latossolo Vermelho (A)	26	75,1129
	Área Edificada	0,96			77	
	Formação Florestal	0,13		Nitossolo Vermelho (B)	52	
	Área Antropizada	0,96			75	
	Área Edificada	0,38			85	
MB-12	Área Antropizada	0,19	2,72	Latossolo Vermelho (A)	56	74,8198
	Área Edificada	0,64			77	
	Formação Florestal	0,22		Nitossolo Vermelho (B)	52	
	Área Antropizada	0,98			75	
	Área Edificada	0,69			85	

Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Os solos das sub-bacias e microbacias foram categorizados em três grupos hidrológicos principais: A, B e D, de acordo com suas características predominantes. O Grupo A se refere a solos arenosos profundos com baixo teor de argila, sendo representado pelo Latossolo Vermelho. O Grupo B compreende solos arenosos rasos com baixo teor de argila, sendo representado pelo Nitossolo Vermelho. Já o Grupo D é caracterizado por solos argilosos, sendo representado pelo Neossolo Litólico, conforme Figura 6 abaixo.

**Figura 6 – Classificação hidrológica dos solos****Grupo Hidrológico A**

- ✓ Solos muito profundos (prof. > 200 cm) ou profundos (100 a 200 cm);
- ✓ Solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância à erosão;
- ✓ Solos porosos com baixo gradiente textural (< 1,20);
- ✓ Solos de textura média;
- ✓ Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo o perfil;
- ✓ Solos bem drenados ou excessivamente drenados;
- ✓ Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1;
- ✓ A textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: média/média, argilosa/argilosa e muito argilosa/muito argilosa.

Enquadra-se neste grupo o:

LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade; LATOSSOLO AMARELO e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.

Grupo Hidrológico B

- ✓ Solos profundos (100 a 200 cm);
- ✓ Solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância à erosão;
- ✓ Solos porosos com gradiente textural variando entre 1,20 e 1,50;
- ✓ Solos de textura arenosa ao longo do perfil ou de textura média com horizonte superficial arenoso;
- ✓ Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione boa macroporosidade em todo o perfil;
- ✓ Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1;
- ✓ A textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/arenosa, arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa e argilosa/muito argilosa.

Enquadra-se neste grupo o:

LATOSSOLO AMARELO e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; LATOSSOLO BRUNO; NITOSSOLO VERMELHO; NEOSSOLO QUARTZARÊNICO; ARGISSOLO VERMELHO ou VERMELHO AMARELO de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.

**Grupo Hidrológico C**

- ✓ Solos profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100 cm);
- ✓ Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão;
- ✓ São solos com gradiente textural maior que 1,50 e comumente apresentam mudança textural abrupta;
- ✓ Solos associados a argila de atividade baixa (Tb);
- ✓ A textura nos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/média e média/argilosa apresentando mudança textural abrupta; arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa.

Enquadra-se neste grupo o:

ARCISSOLO pouco profundo, mas não apresentando mudança textural abrupta ou ARCISSOLO VERMELHO, ARCISSOLO VERMELHO AMARELO e ARCISSOLO AMARELO, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; CAMBISSOLO de textura média e CAMBISSOLO HÁPLICO ou HÚMICO, mas com características físicas semelhantes aos LATOSSOLOS (latossólico); ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO; NEOSSOLO FLÚVICO.

Grupo Hidrológico D

- ✓ Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância a erosão;
- ✓ Solos rasos (prof. < 50 cm);
- ✓ Solos pouco profundos associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade (Ta), minerais de argila 2:1;
- ✓ Solos argilosos associados à argila de atividade alta (Ta);
- ✓ Solos orgânicos.

Enquadra-se neste grupo o:

NEOSSOLO LITÓLICO; ORGANOSSOLO; CLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLINTOSSOLO; SOLOS DE MANCUE; AFLORAMENTOS DE ROCHA; Demais CAMBISSOLOS que não se enquadram no Grupo C; ARCISSOLO VERMELHO AMARELO e ARCISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

Fonte: Sartori, Lombardi Neto e Genovez, 2005.
Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

4.3. ESTUDO HIDROLÓGICO DAS BACIAS DO MUNICÍPIO

4.3.1. MÉTODO DOS BLOCOS ALTERNADOS

Após a definição da duração total da chuva a ser obtida e o tempo de retorno, são calculados com base das curvas IDF, as intensidades médias para os diversos tempos de duração até a duração final (BEMFICA *et al.*, 2000).



Como a intensidade de chuva é medida através da unidade mm/min, multiplica-se por um intervalo de duração da chuva, obtendo a altura de chuva acumulada em mm. Mas é necessário obter o incremento de altura, para não ficar um valor acumulativo, então, subtrai o valor da altura de chuva acumulada do período da chuva em questão pela altura da chuva do período anterior, com exceção do primeiro intervalo de duração da chuva.

Estes incrementos de chuva são rearranjados de modo que o maior valor fique entre 1/3 e 1/2 da duração da chuva, e os demais sejam dispostos em ordem decrescente e de forma alternada nas laterais do maior valor. Deste modo, obtém-se o hietograma total.

4.3.2. RELAÇÃO INFILTRAÇÃO DEFLÚVIO

Após o reordenamento dos períodos de precipitação através do método dos blocos alternados, é calculada a precipitação acumulada, através da soma do valor de chuva de um intervalo de precipitação do hietograma total com o valor do intervalo de precipitação anterior, com exceção do primeiro intervalo.

A partir do momento que a precipitação acumulada é encontrada, é possível determinar a precipitação excedente, através do coeficiente de deflúvio.

Este coeficiente é definido pela relação entre a precipitação efetiva e a chuva vertida, dependendo da permeabilidade do solo, da sua cobertura vegetal e da umidade antecedente do solo, no início da chuva considerada. A expressão de Mockus apresenta essa relação através da Equação 9 (DNIT, 2005):

$$d = \frac{(P - 0,2 * S)^2}{P + 0,8 * S} \quad (9)$$

Onde:

- d: deflúvio (mm);
- P: precipitação (mm);
- S: capacidade de infiltração máxima no solo (mm).



O índice de capacidade de infiltração máxima no solo (S) relaciona-se ao índice CN pela seguinte relação (Equação 10):

$$S = 254 * \left(\left(\frac{100}{CN} \right) - 1 \right) \quad (10)$$

Onde:

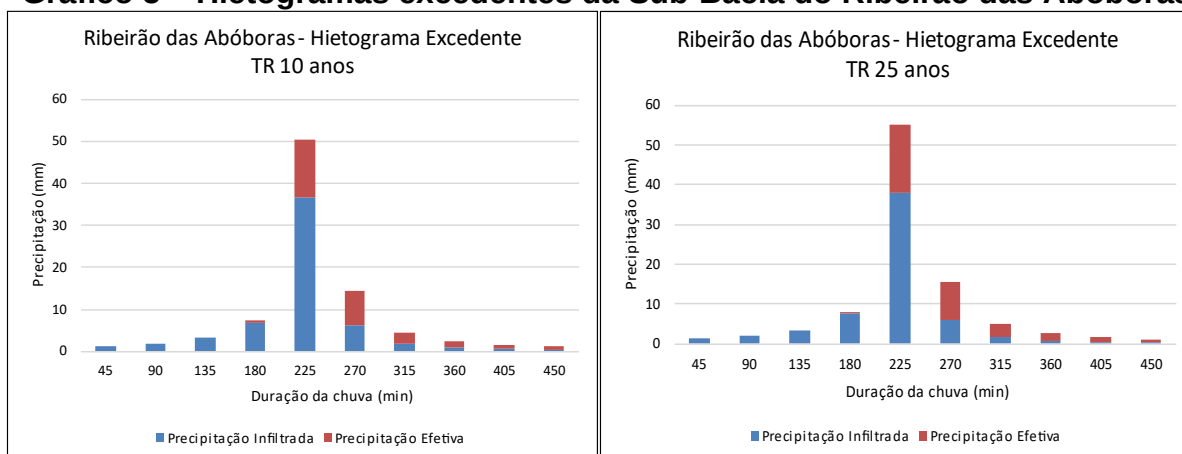
- S: capacidade de infiltração máxima no solo (mm);
- CN: índice curva número.

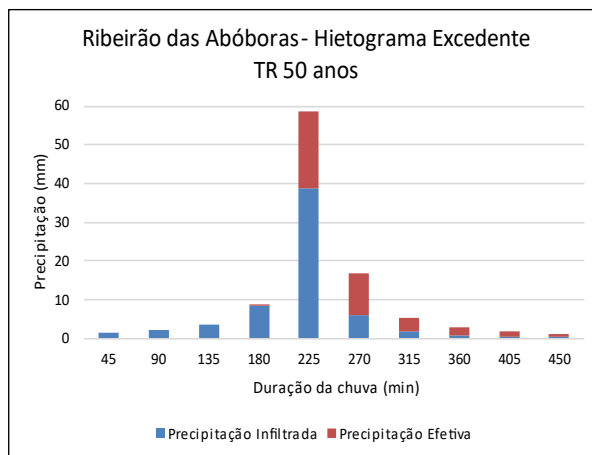
Obs.: Para todos os valores de precipitação excedente por intervalo de precipitação menor do que “0,2 x S”, considera-se 0.

Por fim, é obtido o hietograma excedente, que é o valor de precipitação excedente por intervalo de precipitação menos o valor do intervalo anterior. Esta representação gráfica ilustra a precipitação infiltrada e efetiva, ou seja, determina a quantidade de chuva que será infiltrada e escoada.

No Gráfico 5, no Gráfico 6, no Gráfico 7, no Gráfico 8 e no Gráfico 9 estão expostos os hietogramas excedentes das sub-bacias hidrográficas: Ribeirão das Abóboras, Ribeirão Jacutinga, Ribeirão Engenho de Ferro, Água do Agrião e Limoeiro, com as precipitações de períodos de retorno de 10, 25 e 50 anos.

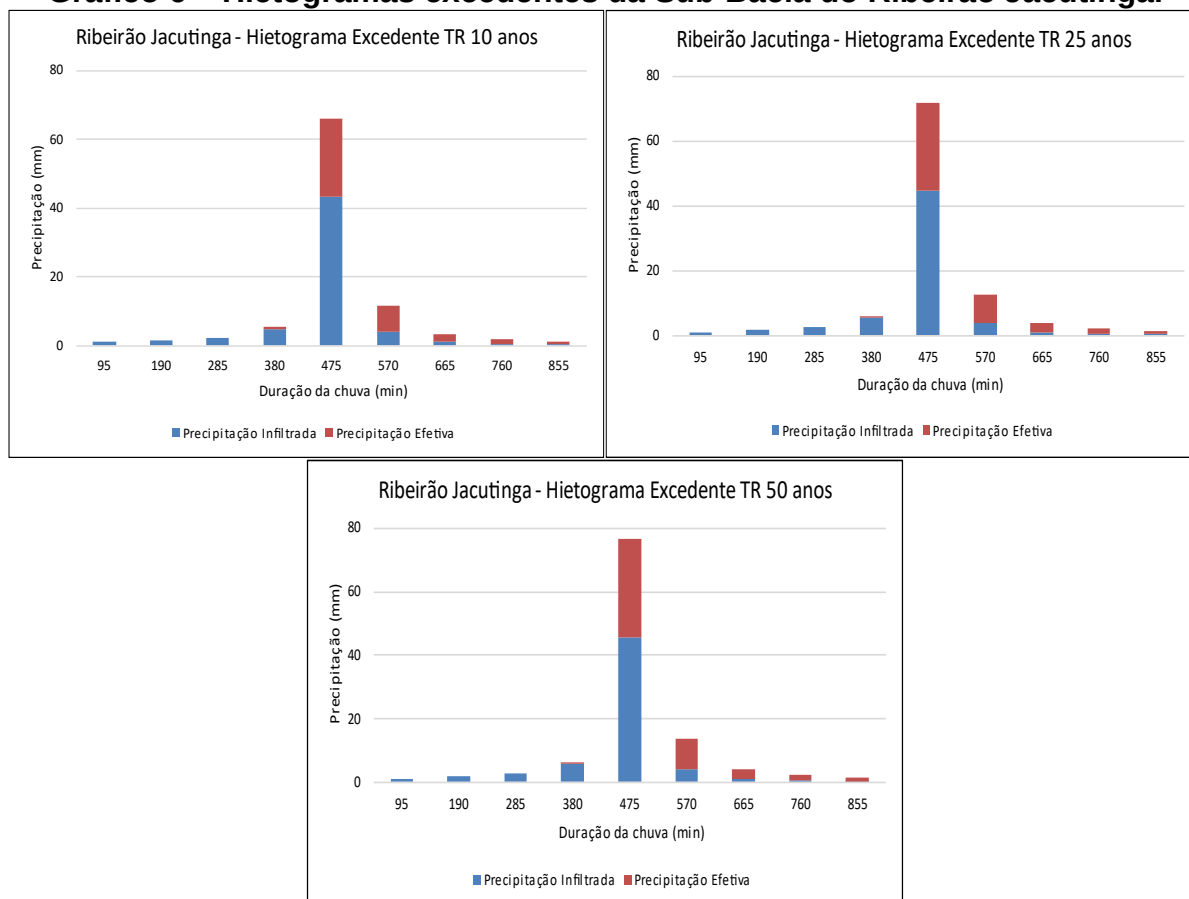
Gráfico 5 – Hietogramas excedentes da Sub-Bacia do Ribeirão das Abóboras.





Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

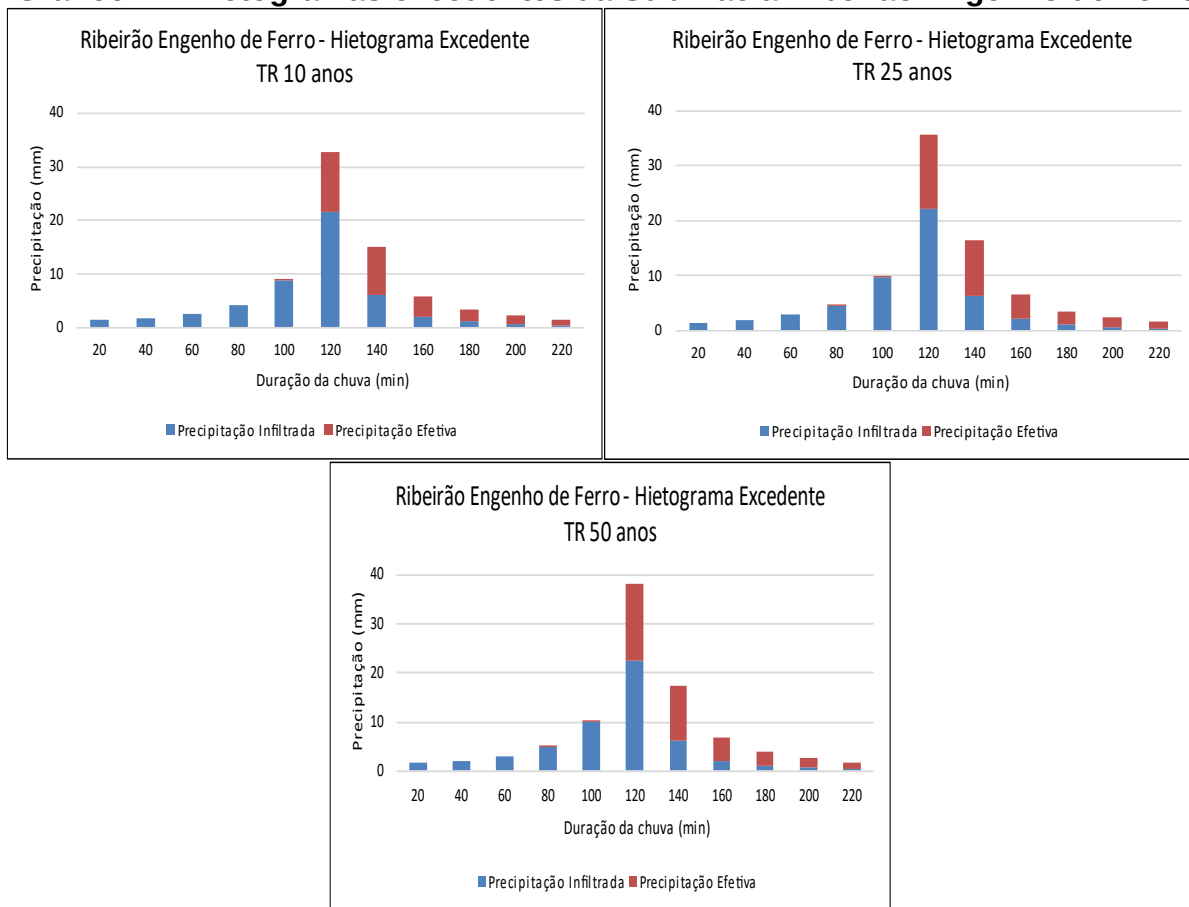
Gráfico 6 – Hietogramas excedentes da Sub-Bacia do Ribeirão Jacutinga.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

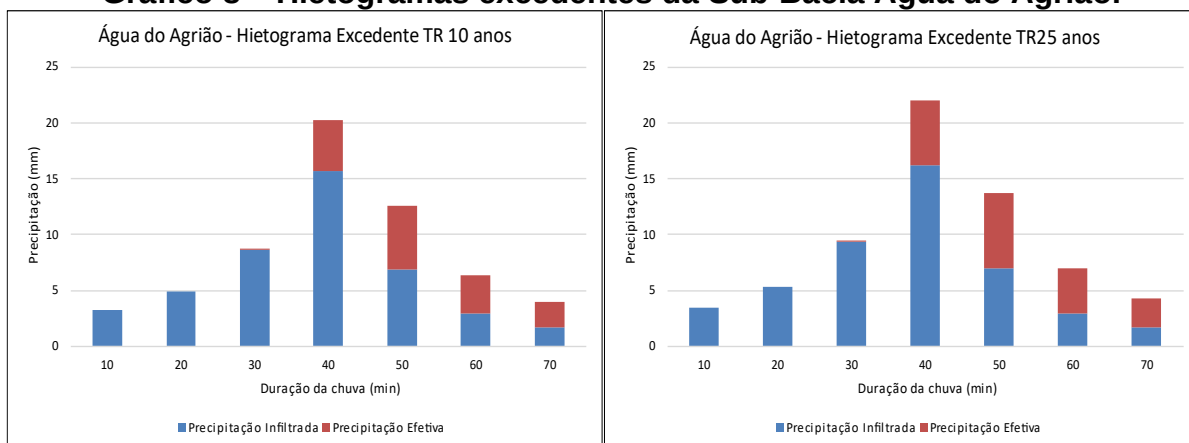


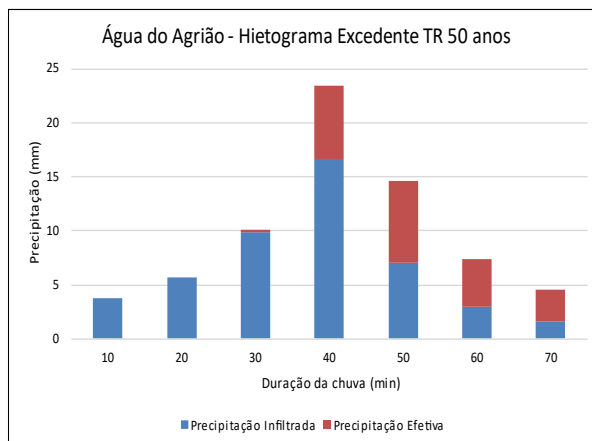
Gráfico 7 – Hietogramas excedentes da Sub-Bacia Ribeirão Engenho de Ferro.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

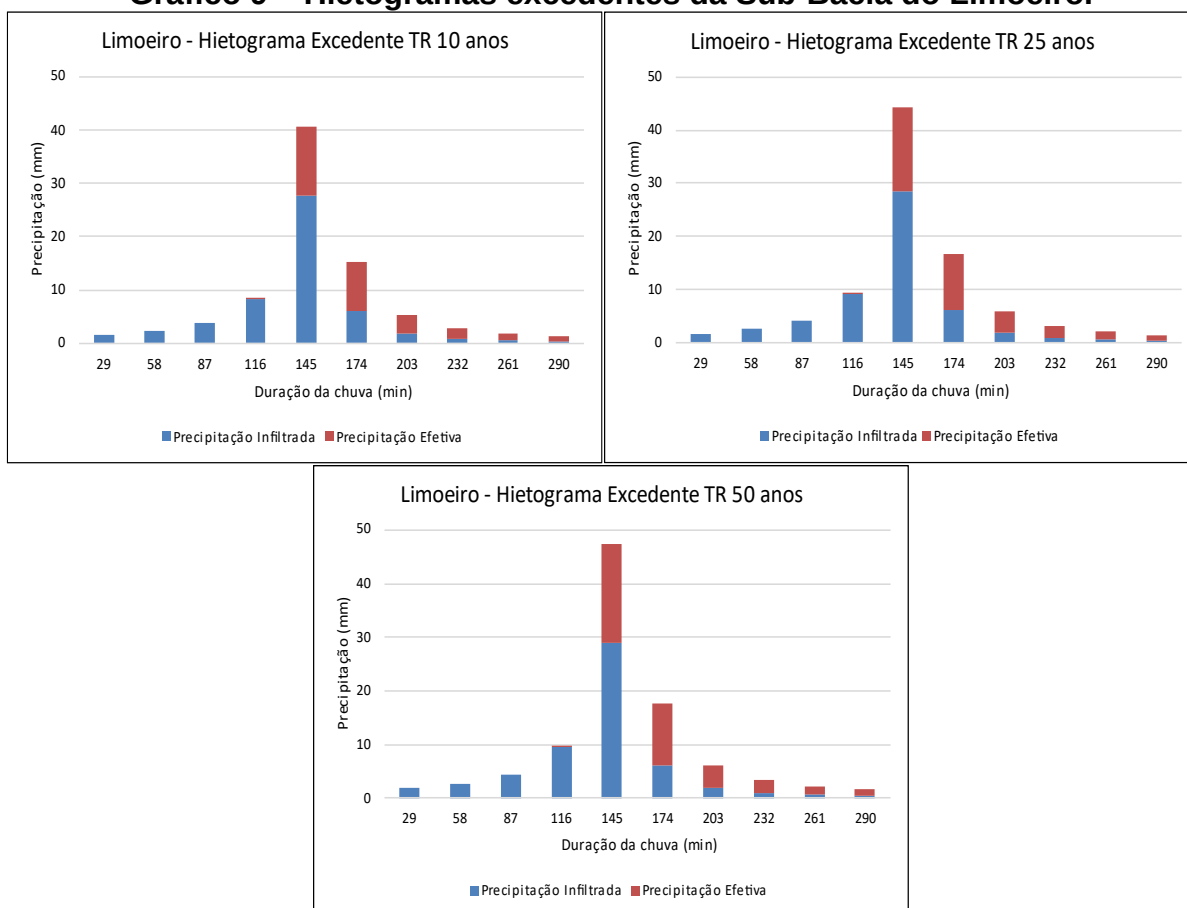
Gráfico 8 – Hietogramas excedentes da Sub-Bacia Água do Agrião.





Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Gráfico 9 – Hietogramas excedentes da Sub-Bacia do Limoeiro.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

A partir da análise dos gráficos, é possível verificar a diferença de início de precipitação efetiva em cada bacia, isso ocorre devido a duração da chuva que é igual ao tempo de concentração. Nas sub-bacias onde o tempo de duração da chuva é menor, a precipitação efetiva se inicia em um tempo menor quando comparada àquelas com tempo de duração maior. Por exemplo, a precipitação efetiva na Sub-



Bacia do Ribeirão Jacutinga irá começar aos 380 minutos, considerando que a duração da chuva é de 854,87 minutos.

Também é verificado nos gráficos, a altura (em mm) da precipitação efetiva. Em bacias mais urbanizadas, onde o escoamento superficial é maior, o volume de precipitação que infiltra no solo é muito menor, gerando uma grande quantidade de precipitação efetiva, como é o caso da Sub-Bacia do Ribeirão Jacutinga.

4.3.3. DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES MÁXIMAS URBANAS E RURAIS

4.3.3.1. Método SCS

Para o cálculo da vazão das drenagens rurais e urbanas aplicou-se os hidrogramas de escoamento, que utiliza o Método do Hidrograma Unitário do *Soil Conservation Service* (Método SCS), para as bacias de área superiores a 2 Km² (SANTOS, 2010). O método baseia-se no conceito de hidrograma unitário, que pode ser definido como o hidrograma resultante de um escoamento superficial de 1 mm de uma chuva com uma determinada duração. Tal método utiliza dados observados em diversas bacias que possuíam registros de vazão e de chuva para ser utilizado em bacias com falta de dados. Trata-se de um método sintético com as características principais do hidrograma, como a vazão e a duração de escoamento, descritas por parâmetros que dispensam medições in loco de vazões.

O hidrograma é o gráfico das vazões ao longo do tempo na forma de um triângulo. Como consequência, a área desta curva é o volume de escoamento superficial direto (Vesd) causado por uma chuva excedente (he) sobre toda a área de drenagem (A).

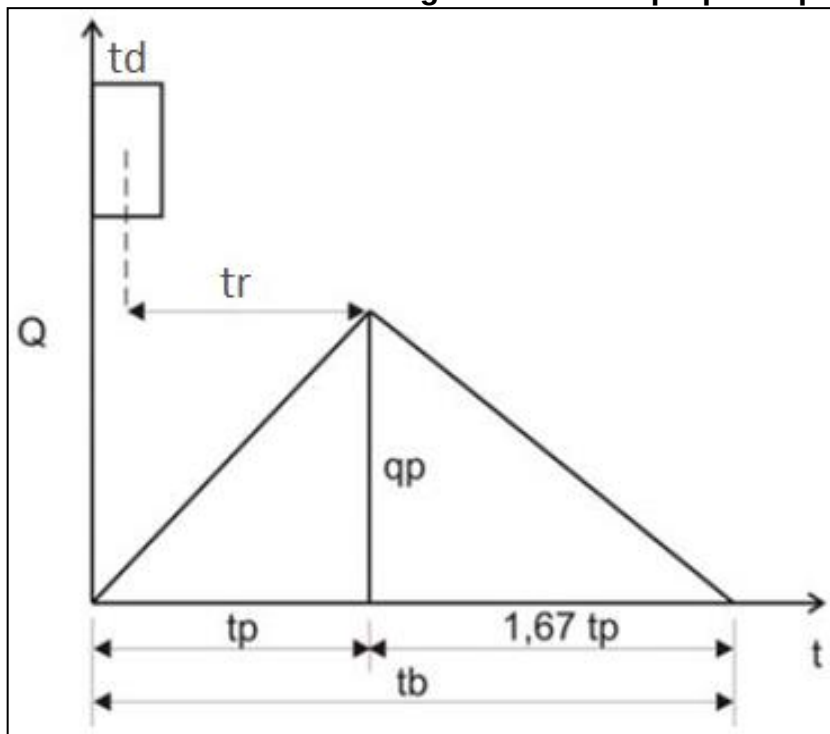
Um hidrograma é caracterizado pelo seu volume (Vesd) e pela sua forma, que em conjunto, determinam o valor da vazão de pico (Qp). Basicamente, o método se resume em calcular o tempo de pico “tp” e a vazão de pico “qp”.

A forma do hidrograma é usualmente determinada em função de alguns parâmetros de tempo, como se indica na Figura 7. Esta figura apresenta um hidrograma em forma triangular, em que sua área é igual ao volume precipitado. Para a conversão do hidrograma triangular unitário em um hidrograma unitário curvilíneo, é necessário ter por base as informações contidas na Figura 7, com valores de relação entre tempo



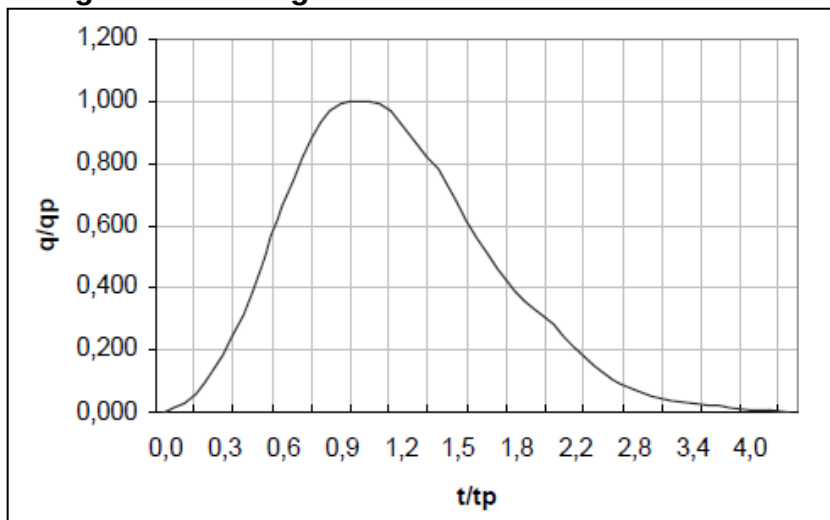
com tempo de pico, e vazão com vazão de pico. Assim, é possível retratar mais adequadamente as observações na natureza, conforme a Figura 8.

Figura 7 – Característica do hidrograma unitário proposto pelo SCS



Fonte: Tucci et al., 1993.

Figura 8 – Hidrograma unitário curvilíneo do SCS.



Fonte: Tucci et al., 1993.

O tempo de retardamento (tr) é o tempo que vai do centro de massa do hietograma de chuva excedente até o pico do hidrograma, expresso pela Equação 11:

$$tr = \frac{tc}{5} \quad (11)$$



Onde:

- tr: tempo de retardamento (hora);
- tc: tempo de concentração (hora).

Já o tempo de pico (t_p), correspondente à chuva unitária, é expressa pela Equação 12:

$$t_p = (tr * 0,5) + (tc * 0,6) \quad (12)$$

Onde:

- t_p : tempo de pico (hora);
- tr: tempo de retardamento (hora);
- tc: tempo de concentração (hora).

O tempo de base (t_b) corresponde a duração total do escoamento superficial direto. É calculado pela seguinte fórmula (Equação 13):

$$t_b = t_p + (t_p * 1,67) \quad (13)$$

Onde:

- t_b : tempo de base (hora);
- t_p : tempo de pico (hora);
- tc: tempo de concentração (hora).

A partir deste ponto, utiliza-se o tempo de base (t_b) e a área total da bacia para obter a vazão de pico (Q_p), expressa abaixo pela Equação 14:

$$Q_p = \frac{0,208 * P * A}{t_b} \quad (14)$$

Onde:

- Q_p : vazão de pico (m^3/s);
- t_b : tempo de base (hora);
- P: altura da chuva (1 mm);
- A: área (Km^2).

A seguir, multiplica-se a vazão de pico (Q_p) com o tempo de chuva e divide-se pelo tempo de pico (t_p), com intervalo de chuva de 0,1 hrs até o tempo de concentração (t_c) de cada bacia hidrográfica. É necessário realizar este procedimento 5 vezes, onde



a partir da segunda vez, inicia-se o cálculo da vazão com um decréscimo de 1/5 do tempo de concentração. Expresso pela seguinte fórmula (Equação 15):

$$Q_x = \frac{Q_p \cdot t_p}{t_d} \quad (15)$$

Onde:

- Q_x : vazão componente (necessário 5 vazões) para o hidrograma unitário (m^3/s);
- Q_p : vazão de pico (m^3/s);
- t_p : tempo de pico (hora);
- t_d : tempo da chuva (hora).

Como exemplo, se o tempo de concentração (t_c) é de 5 horas, o primeiro procedimento de vazão começa no tempo de chuva 0, o segundo no tempo de chuva de 1 hora, o terceiro em 2 horas e assim sucessivamente.

Com o cálculo das cinco vazões de pico (Q_p) durante todo o tempo de concentração (t_c), é realizado a soma destes, e posteriormente realizado a média. Assim, é obtido o hidrograma unitário da chuva em relação ao tempo de concentração (t_c).

Por fim, a vazão de projeto (Q_{proj}) em relação ao tempo de retorno (TR) é encontrada pela seguinte expressão (Equação 16):

$$Q(proj) = t_d * HU_t * P_e (TR_x) \quad (16)$$

Onde:

- Q_{proj} : vazão de projeto (m^3/s);
- t_d : tempo de chuva (hora);
- HU_t : hidrograma unitário da chuva em relação ao tempo de concentração (m^3/s);
- $P_e (TR_x)$: precipitação efetiva em relação ao tempo de retorno da chuva (mm).

Na Tabela 9 é possível verificar os valores das variáveis (t_c , t_r , t_p , t_b , Q_p) das Sub-Bacias da Água do Agrião e dos Ribeirões das Abóboras, Jacutinga, Engenho de Ferro e do Limoeiro e das microbacias MB-01, MB-02, MB-03, MB-11 e MB-12. Já Tabela 10 expressa as vazões máximas de acordo com o tempo de retorno (TR).

**Tabela 9 – Valores das relações t_c , t_r , t_p , t_b e Q_p pelo Método SCS.**

Bacia	t_c (h)	t_r (h)	t_p (h)	t_b (h)	Q_p (m ³ /s)
Ribeirão das Abóboras	8,82	1,76	6,17	16,48	1,316
Ribeirão Jacutinga	12,55	2,51	8,79	23,46	2,209
Ribeirão Engenho de Ferro	3,98	0,797	2,78	7,445	1,531
Água do Agrião	0,910	0,182	0,600	1,602	1,753
Limoeiro	5,54	1,11	3,88	10,35	0,913
MB-01	0,910	0,182	0,600	1,602	0,747
MB-02	1,010	0,202	0,700	1,869	0,844
MB-03	0,540	0,108	0,400	1,068	0,612
MB-11	0,910	0,182	0,600	1,602	0,322
MB-12	0,600	0,120	0,400	1,068	0,536

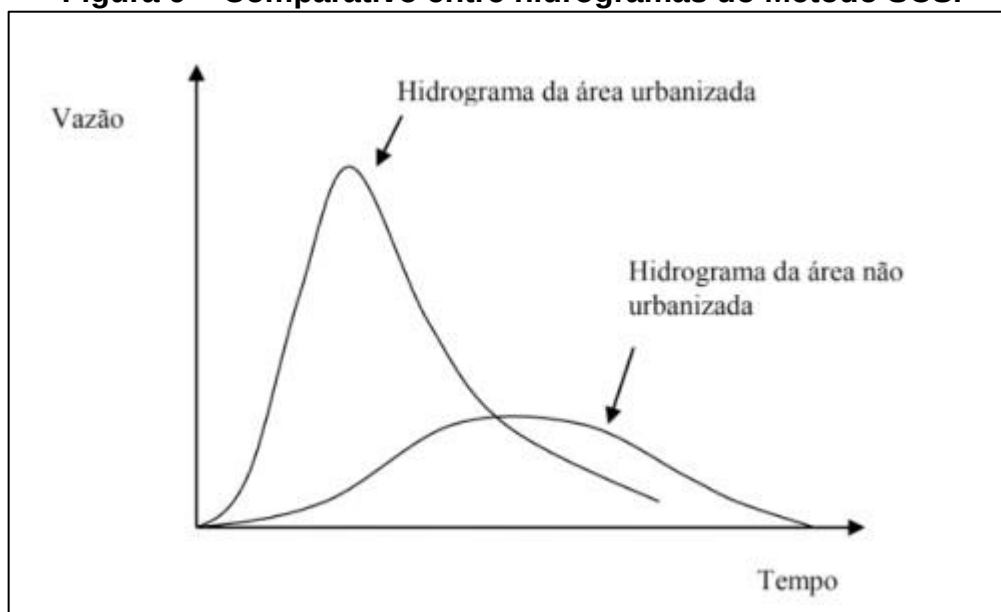
Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Tabela 10 – Vazões máximas pelo Método SCS.

Bacia	Q(proj) máx TR 10 anos	Q(proj) máx TR 25 anos	Q(proj) máx TR 50 anos
Ribeirão das Abóboras	29,00	34,30	38,78
Ribeirão Jacutinga	55,53	65,18	73,29
Ribeirão Engenho de Ferro	32,93	38,68	43,53
Água do Agrião	15,87	19,27	22,19
Limoeiro	20,22	23,77	26,77
MB-01	9,82	11,57	13,06
MB-02	10,61	12,65	14,37
MB-03	0,25	0,47	0,70
MB-11	2,65	3,24	3,75
MB-12	2,82	3,56	4,21

Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Como as sub-bacias de Ibiporã possuem características predominantemente não urbanizadas seus hidrogramas apresentam um formato mais suave, sem grandes picos de vazão, comparado com os hidrogramas de áreas urbanizadas que é o caso das microbacias, a Figura 9 abaixo simplifica esta comparação.

Figura 9 – Comparativo entre hidrogramas do Método SCS.

Fonte: Tucci, Porto e Barros (1995).

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Essa característica ocorre devido as particularidades de cada ambiente. Abaixo estão descritas as variáveis que mais influenciam no formato do hidrograma.

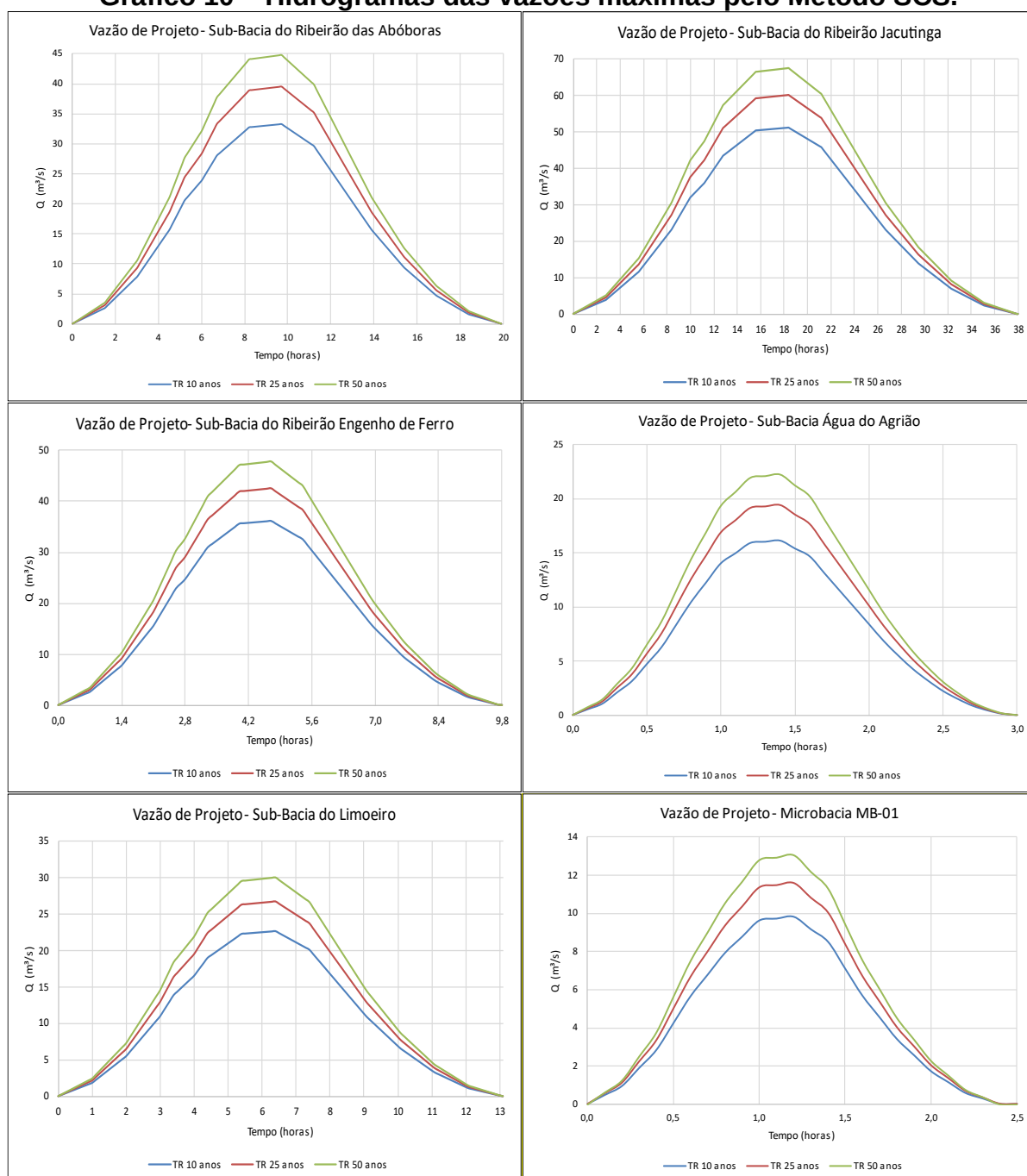
- a. **Uso do Solo:** Nas bacias urbanas, o solo frequentemente é altamente impermeabilizado devido ao concreto, asfalto e construções. Isso resulta em um aumento significativo na velocidade de escoamento da água, pois há menos infiltração. Já nas bacias não urbanizadas, o solo tende a ser mais permeável, permitindo uma maior absorção e filtragem da água pela terra;
- b. **Taxa de Escoamento:** Em áreas urbanas, o escoamento é mais rápido devido à impermeabilização e à presença de sistemas de drenagem que direcionam a água para rios e córregos de maneira mais eficiente. Em áreas não urbanas, a água tem mais chance de infiltrar no solo, o que retarda o escoamento e pode resultar em uma liberação mais gradual de água para os cursos d'água;
- c. **Poluentes:** Bacias urbanas tendem a carregar uma quantidade maior de poluentes, como óleos, metais pesados e resíduos químicos, devido às atividades humanas e à falta de filtragem natural. Nas bacias não urbanas, a água frequentemente carrega menos poluentes, mas pode conter sedimentos e nutrientes provenientes da atividade agrícola;

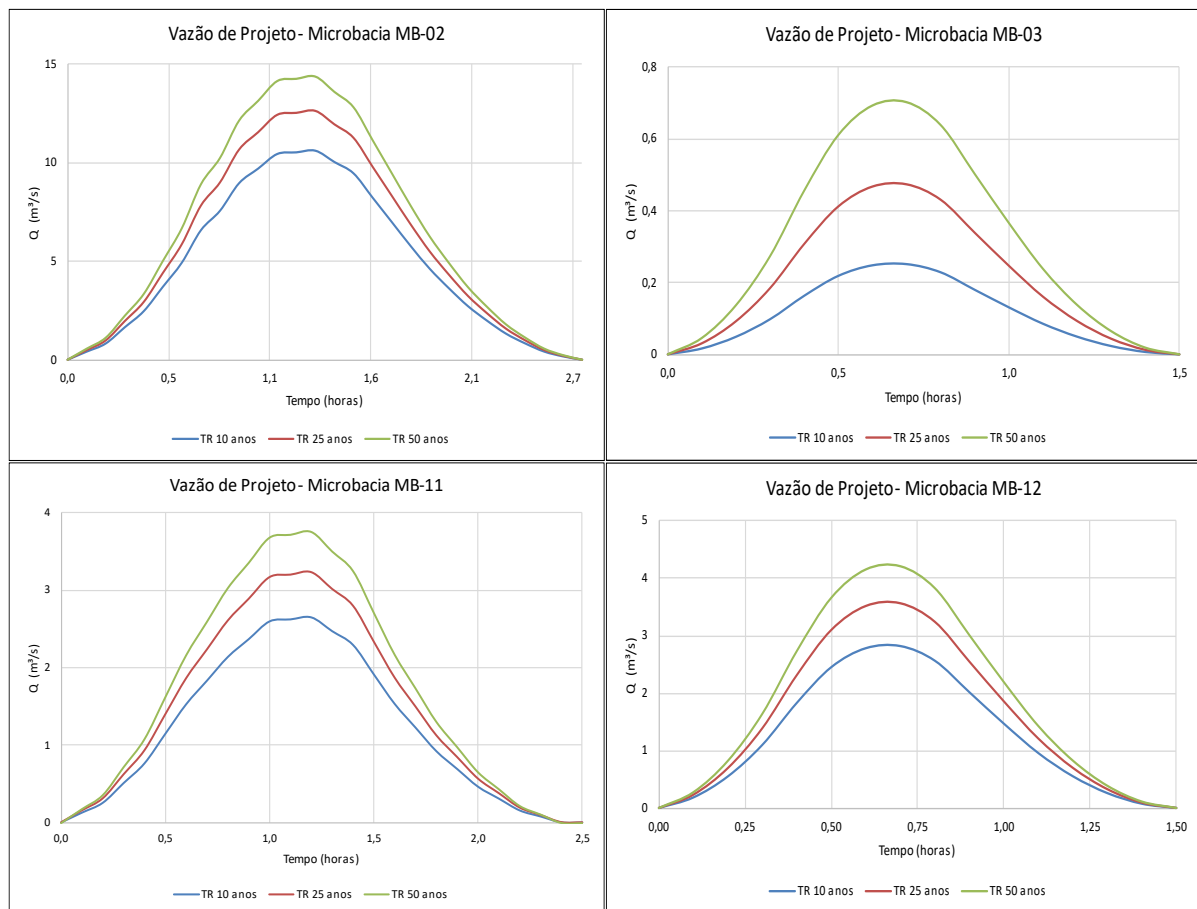


- d. **Flutuações sazonais:** Dependendo da temporada e das atividades humanas, as bacias urbanas podem experimentar flutuações mais extremas no escoamento de água, especialmente durante chuvas intensas ou eventos climáticos. Em áreas não urbanizadas, essas flutuações podem ser mais moderadas, dependendo da topografia, da vegetação e das práticas agrícolas.

Portanto o Gráfico 10, a seguir, apresenta os hidrogramas das vazões máximas destas bacias presentes em Ibiporã com os tempos de retorno de 10, 25 e 50 anos.

Gráfico 10 – Hidrogramas das vazões máximas pelo Método SCS.





Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

4.3.3.2. Método Racional

O Método Racional é utilizado para o dimensionamento das redes de drenagem urbana dada sua simplicidade, uma vez que engloba todos os processos em apenas um coeficiente “Coeficiente de Escoamento (C)”. No entanto, não devem ser aplicados em bacias com áreas superiores a 2 Km², com isso, apenas algumas microbacias do perímetro urbano utilizarão este método. O método considera a duração da precipitação intensa de projeto igual ao tempo de concentração (t_c) da bacia. Ao considerar esta igualdade admite-se que a bacia é suficientemente pequena para que esta situação ocorra, pois, a duração é inversamente proporcional à intensidade. Em bacias pequenas, as condições mais críticas ocorrem devido às precipitações convectivas que possuem pequena duração e grande intensidade. A expressão deste método é dada pela seguinte Equação 17:

$$Q = 0,278 * C * i * A \quad (17)$$

Onde:



- Q: vazão (m^3/s);
- C: coeficiente de deflúvio (adimensional);
- i: intensidade de chuva (mm/h);
- A: área drenada (Km^2).

O coeficiente de deflúvio considerado foi de 0,38 (ASCE/WEF, 1962) para perímetros urbanos com muitas superfícies livres e com área edificada predominantemente residencial com ruas macadamizadas ou pavimentadas, mas com muitas áreas verdes. Este valor será adotado tanto para o uso do solo atual como para o futuro, levando em consideração que a Prefeitura Municipal preze pela preservação ambiental com proposta de manter corredores biológicos ao longo de sua área urbanizada (Revisão do PDM de Ibiporã, 2023).

A seguir, procedemos ao cálculo do tempo de escoamento ao longo das microbacias MB-04, MB-05, MB-06, MB-07, MB-08, MB-09, MB-10 e MB-13, que no caso do Método Racional, vai coincidir com a duração da chuva. Com essa informação em mãos, podemos determinar a intensidade da chuva para os TR a serem analisados, que, neste plano, vão ser de 10, 25 e 50 anos. É essencial incorporar essa informação na Equação 17 acima, juntamente com o coeficiente de deflúvio e a área de cada microbacia para se obter a vazão máxima e, consequentemente, o hidrograma por microbacia.

Na Tabela 11 são apresentadas as vazões máximas de projeto em relação ao tempo de escoamento para as microbacias que abrangem o perímetro urbano.

Tabela 11 – Vazões máximas pelo Método Racional.

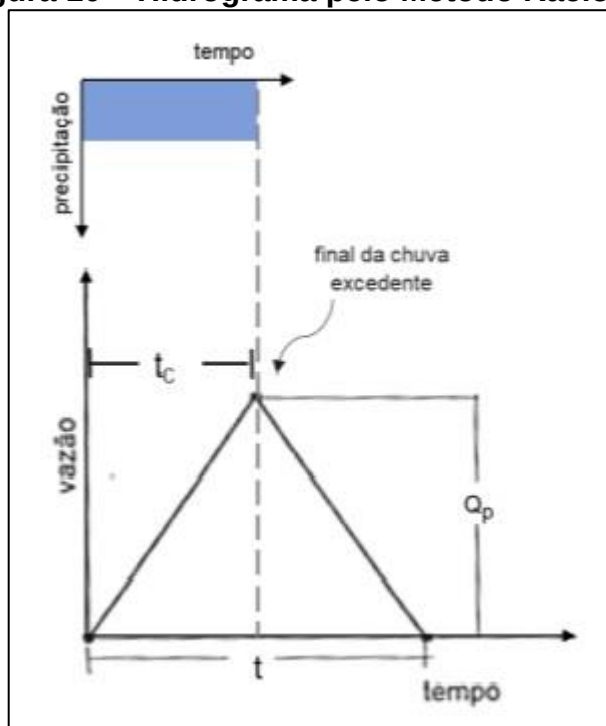
Microbacia	Q(proj) máx TR 10 anos	Q(proj) máx TR 25 anos	Q(proj) máx TR 50 anos
MB-04	23,86	25,99	27,72
MB-05	7,93	8,63	9,21
MB-06	15,51	16,89	18,02
MB-07	21,05	22,92	24,45
MB-08	15,21	16,56	17,67
MB-09	16,97	18,47	19,70
MB-10	21,05	22,92	24,45
MB-13	21,16	23,04	24,58

Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



A forma do hidrograma unitário usado para o Método Racional é triangular. Em geral o hidrograma é em forma de triângulo isósceles, com a base igual o dobro do tempo de concentração (CANHOLI, 2015). Somente no Método Racional, admite-se que a chuva excedente unitária tenha duração igual ao tempo de concentração (t_c) e que a vazão (Q_p ou Q_s) ocorra no momento em que a chuva acaba (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995), como pode ser observado no hidrograma apresentado na Figura 10 abaixo.

Figura 10 – Hidrograma pelo Método Racional.

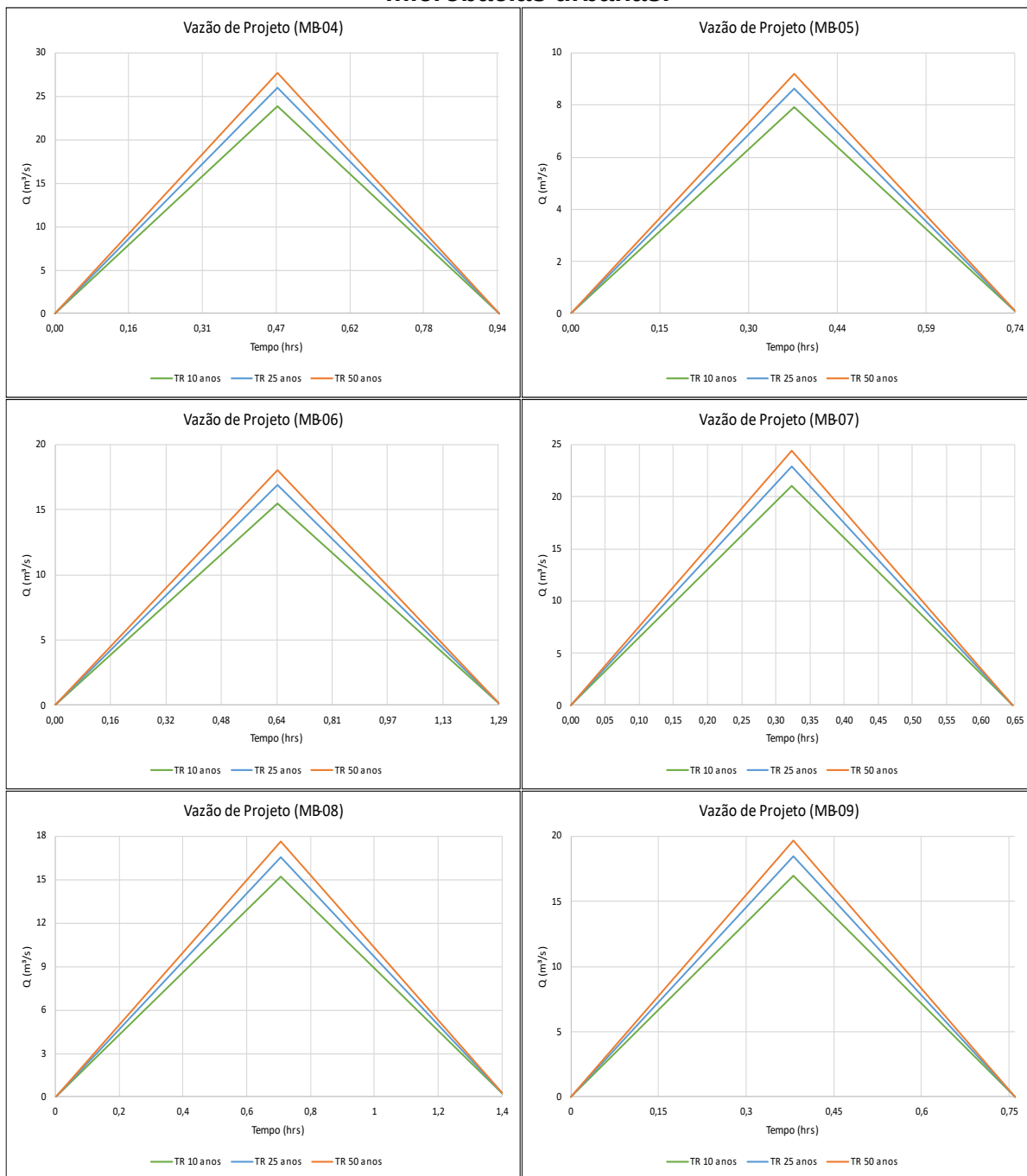


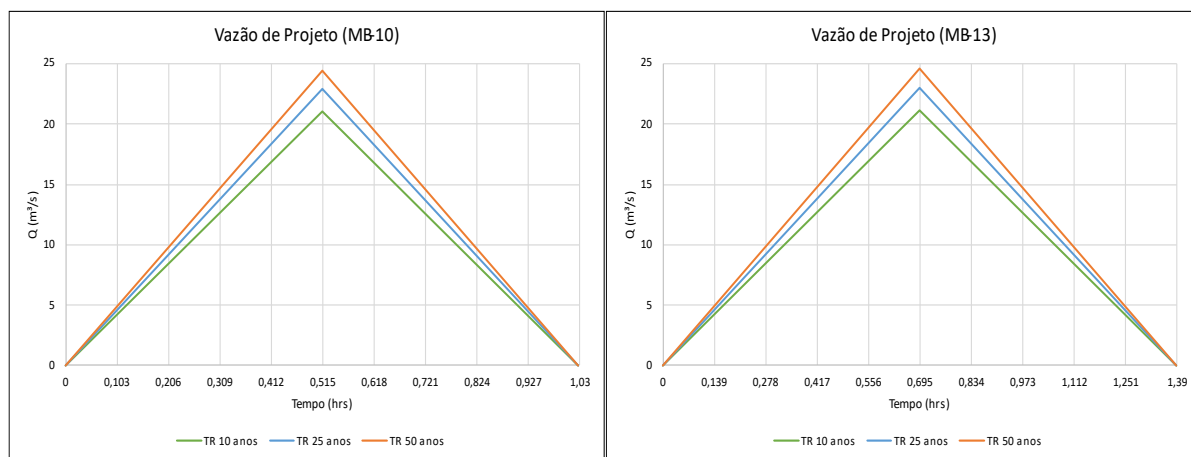
Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

O Gráfico 11, a seguir, apresenta os hidrogramas obtidos das vazões máximas pelo Método Racional com os tempos de retorno de 10, 25 e 50 anos para as microbacias urbanas.



Gráfico 11 – Hidrogramas das vazões máximas pelo Método Racional para microbacias urbanas.





Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

4.3.4. CONCLUSÃO DO ESTUDO HIDROLÓGICO

Considerando que Ibiporã é um município que, devido à proximidade com Londrina e por estar inserido em sua Região Metropolitana, sofreu com um rápido processo de crescimento populacional e de urbanização, muitas vezes desordenado, de maneira que hoje são recorrentes os problemas ligados a este processo.

Os principais déficits encontrados com relação ao sistema de drenagem pluvial são:

- **lançamento inadequado de resíduos** nos cursos d'água e nas suas proximidades, o que causa o entupimento das estruturas de drenagem;
- **assoreamento dos cursos d'água**, principalmente em locais onde não há pavimentação, diminuindo a capacidade de escoamento do mesmo;
- **sistema de drenagem subdimensionado**, ou seja, as estruturas que existem na cidade não são suficientes para escoar toda a água;
- **estruturas de drenagem em situações precárias** (bocas de lobo, galerias, sarjetas e dissipadores de energia), sendo que a falta de limpeza e manutenção das estruturas reduzem significativamente a eficiência na captura e escoamento das águas precipitadas.

Logo, os problemas de alagamentos, de enchentes e de inundações são recorrentes no município, especialmente nas áreas mais urbanizadas e/ou de ocupações irregulares.

É possível concluir que os fatores que mais contribuem para a ocorrência de inundações são a falta de planejamento urbano, a ocupação desordenada e a falta de controle do poder público. Deste modo, o desenvolvimento do Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de Ibiporã se mostra de extrema importância.

5. LEVANTAMENTO DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO E FATORES DE RISCOS DE ALAGAMENTO

Considerando os fenômenos que podem ocorrer a partir das chuvas (Figura 11), é importante saber diferenciar os termos enchente, inundação, alagamento e enxurrada, e quais processos de formação estão associados a eles.

Figura 11 – Esquema representativo de enchente, inundação e alagamento.



Fonte: Defesa Civil de São Bernardo do Campo/SP, 2011.

Apesar de todos serem oriundos das chuvas e/ou do crescimento desordenado das cidades, cada um possui sua particularidade, como segue (UFSC, 2013; BERNES, 2018):

→ **Enchente (ou cheia):** é o aumento do nível da água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem transbordamento.

→ **Inundação:** é o transbordamento de um curso de água (canal de drenagem), ocasionando a submersão das áreas marginais, em zonas que normalmente não se encontram submersas. Geralmente, o transbordamento inunda a região quando o sistema de drenagem não é capaz de conter a vazão de chuva. O mesmo ocorre de modo gradual, por chuvas prolongadas em áreas de planície.



→ **Alagamento:** é o acúmulo momentâneo de águas em determinados locais, nas ruas, nas calçadas e nos perímetros urbanos, por deficiência no sistema de drenagem, cobrindo pequena parte da planície. Caracteriza-se pela extrapolação da capacidade de escoamento do sistema, em decorrência de precipitações intensas e da topografia suave.

→ **Enxurrada:** é definida como escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado. Caracteriza-se pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, a **enchente** é um fenômeno natural, ao passo que a **inundação** é o resultado da ocupação de áreas que pertencem ao rio e do desrespeito aos ciclos naturais dos ambientes aquáticos, mesmo que a inundação se dê de forma menos frequente. Já os alagamentos ocorrem, geralmente, em áreas planas ou com depressões e fundos de vales, com o escoamento superficial comprometido pela topografia e falta ou insuficiência de um sistema pluvial no ambiente urbano (GRILO, 1992).

Diversas ações antrópicas são condicionantes para o agravamento e aumento da frequência dos fenômenos citados, entre elas estão: degradação da vegetação original, retificação de cursos de água, impermeabilização do solo e lançamentos de entulhos nas margens de canais de drenagem. Deste modo, torna-se fundamental a efetivação de ações mitigatórias (estruturais e não estruturais) para a prevenção de desastres relacionados às fortes chuvas. Tais medidas buscam aumentar a área de infiltração e assim, contribuir para a redução da ocorrência e intensidade dos eventos extremos.

Os alagamentos e as inundações além de transtornos, podem causar perdas humanas e danos materiais (perdas de móveis e imóveis), especialmente nas cidades em que a ocupação ocorreu de forma desordenada. Além disso, podem ocasionar doenças de veiculação hídrica, como a leptospirose, tratando-se também de uma questão de saúde pública.



Como apresentado na Etapa 2 (Diagnóstico da situação da drenagem urbana), item 5.1.4, deste Plano, o município de Ibiporã possui áreas críticas que vão desde eventos de inundações, alagamentos, deslizamentos e subsidência, as quais estão presentes em áreas urbanas consolidadas, principalmente nas microbacias MB01, MB02, MB09 e MB11.

5.1. METODOLOGIA UTILIZADA PARA O LEVANTAMENTO DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO E FATORES DE RISCOS DE ALAGAMENTO

Para o levantamento das manchas de inundação e fatores de risco foi utilizada a modelagem hidráulica através do *software* PCSWMM.

A modelagem hidráulica é uma ferramenta útil na análise dos fenômenos que aparecem em redes de drenagem urbana operando em condições críticas, especialmente quando há a ocorrência de eventos de precipitação maiores que os projetados, que podem ocasionar na rede inversões de fluxo, efeitos de jusante, trechos com escoamento sob pressão, além dos eventos de alagamentos e inundações.

Tendo em vista o cenário atual do sistema de drenagem de águas pluviais do município de Ibiporã, é interessante que o desempenho dele seja avaliado por meio de uma análise hidrológica e hidráulica. Com a avaliação do desempenho hidráulico, é possível obter informações acerca da capacidade dos condutos e dos locais onde ocorrem as sobrecargas e os transbordamentos (BOLDRIN, 2014). Deste modo, a modelagem hidráulica das águas de drenagem pluvial se torna de extrema importância para a tomada de decisão, verificação da eficiência da rede, diagnóstico de possíveis trechos com sobrecargas, bem como a possível resposta e melhorias a serem alcançadas (TSUJI, 2018), especialmente quando aliada a *softwares* de alto desempenho.

O PCSWMM é um modelo dinâmico chuva-vazão que simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial, especialmente em áreas urbanas. O componente relativo ao escoamento superficial do PCSWMM opera com um conjunto de sub-bacias hidrográficas que recebem precipitações e geram escoamentos. Já o módulo de transporte hidráulico simula o percurso destas águas através de um



sistema composto por tubulações, canais, dispositivos de armazenamento e tratamento, bombas e outros elementos. O *software* acompanha a evolução da quantidade e da qualidade do escoamento dentro de cada sub-bacia, assim como a vazão e a altura de escoamento em cada tubulação e canal, durante um período de simulação composto por múltiplos intervalos de tempo (MANUAL SWMM, 2010).

As etapas da modelagem hidráulica realizada para o município de Ibiporã são descritas, passo a passo, a seguir:

1. Levantamento de informações locais: nessa etapa o município foi consultado para verificação e aquisição de todos os estudos, levantamentos e cadastros existentes que, direta ou indiretamente, se relacionam com a rede de drenagem. Foram disponibilizados pelo município: Plano Municipal de Saneamento Básico (Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário), curvas de níveis e mapa do sistema viário.

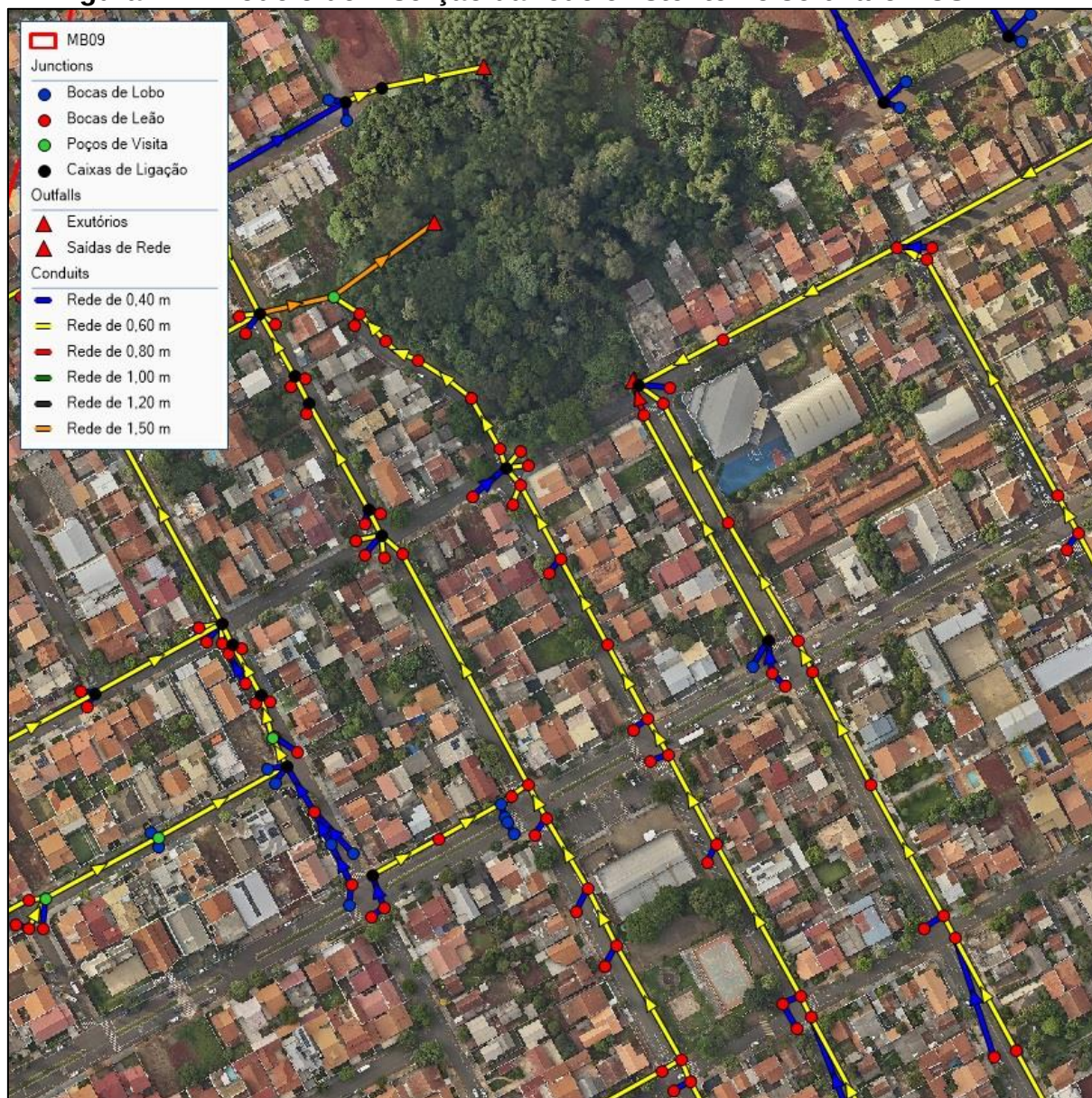
2. Cadastro do sistema de drenagem: como o município já possui um levantamento topográfico - curva de nível, não foi necessário fazê-lo, sendo realizado somente o cadastro do sistema de drenagem existente. O cadastro incluiu o levantamento das redes de águas pluviais, incluindo os diâmetros das mesmas, das bocas de lobo e dos demais dispositivos de micro e macrodrenagem existente, conforme descrito no Item 2 (Levantamento dos Sistemas de Microdrenagem e de Macrodrenagem).

3. Estudo de modelagem hidrológica: para essa modelagem, primeiramente foi necessário realizar o Estudo Hidrológico (Item 4) para a definição das chuvas de projeto. No referido item, foram definidas as chuvas para diferentes tempos de retorno, porém, para o estudo da modelagem foi utilizado o tempo de retorno de 10 anos para microdrenagem, sendo esta, amplamente recomendada. Já para a macrodrenagem o tempo de retorno escolhido foi a de 25 e 50 anos que é considerado um equilíbrio entre o risco aceitável e a frequência de ocorrência de eventos extremos, como chuvas intensas, alinhando a viabilidade econômica com a segurança e funcionalidade minimizando danos e problemas de inundação sem que haja gastos excessivos e desnecessários com TR's maiores.



4. Inserção das redes existentes: nesta etapa todos os cadastros realizados em campo foram transformados em *shapes* no ArcGIS, onde foram inseridas todas as informações levantadas, tais como: cota de topo, cota de fundo, diâmetro da tubulação e nível d'água. Após a criação dos *shapes*, eles foram importados para o *software* PCSWMM, conforme exemplifica a Figura 12.

Figura 12 – Modelo de inserção da rede existente no *software* PCSWMM.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

5. Criação da malha de drenagem superficial: nesta etapa, foi criada a malha de drenagem superficial utilizando um Modelo Digital de Terreno (MDT) desenvolvido para cada microbacia estudada. O objetivo da drenagem superficial é captar ou interceptar as águas pluviais que escoam sobre a superfície após uma precipitação.



Essa drenagem é composta pelos seguintes dispositivos: sarjetas, meios-fios, caixas coletoras (bocas de lobo e de leão), valetas e pavimentações. Neste estudo, todas as edificações urbanas foram consideradas como “obstáculos” para o escoamento superficial, resultando na “deformação” desta malha, conforme ilustrado nas Figura 13 e Figura 14.

Figura 13 – Polígonos das Edificações Urbanas.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Figura 14 – Malha de Drenagem Superficial com as Deformações Geradas pelas Edificações.

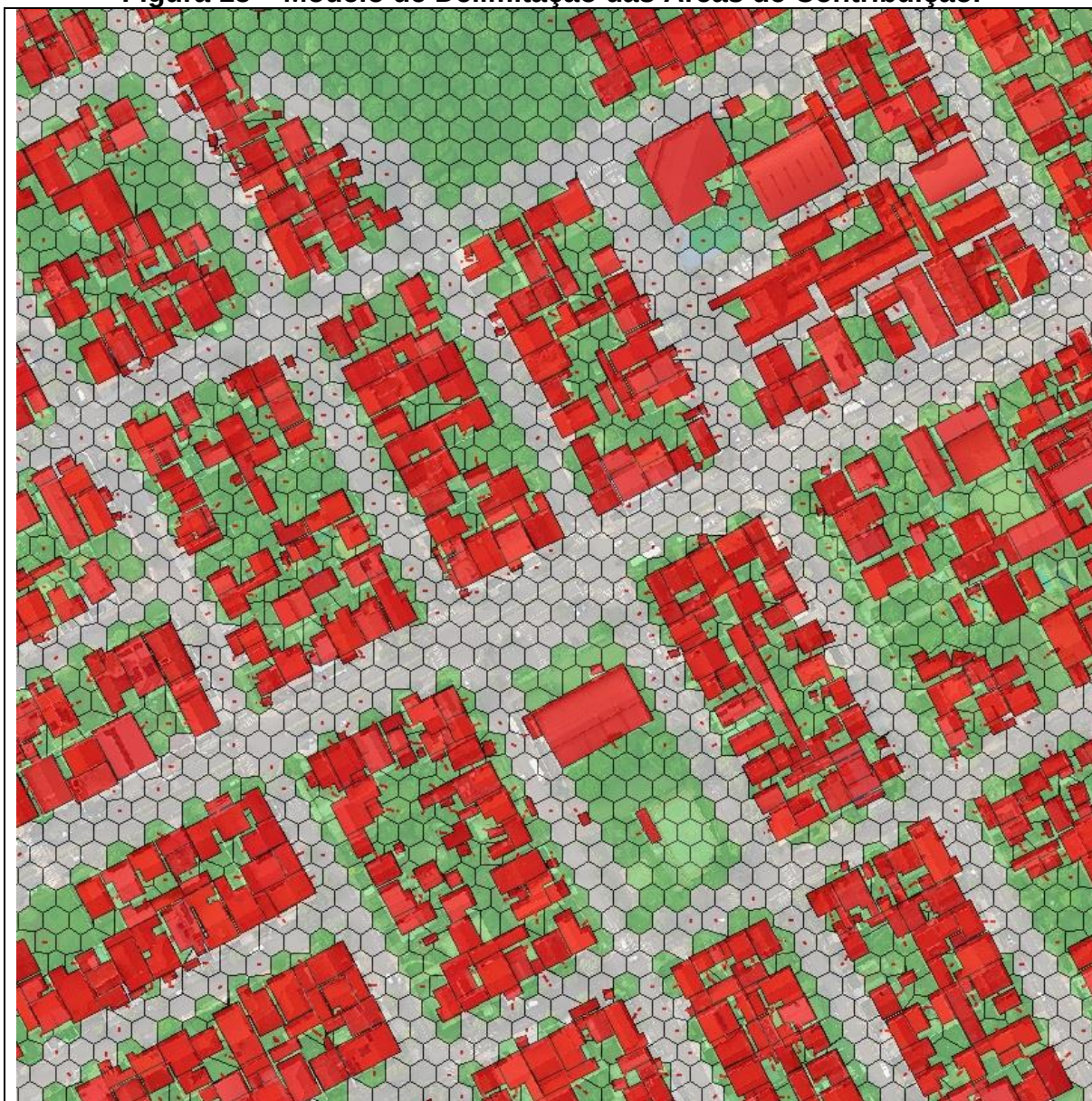


Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

6. Delimitação das áreas de contribuição: após a conclusão do desenho do sistema de drenagem, foi iniciada a delimitação das áreas de contribuição para cada ponto da malha de drenagem superficial, considerando cuidadosamente a topografia e a localização de cada ponto. A delimitação dessas áreas foi realizada utilizando as ferramentas do software de modelagem hidrodinâmica PCSWMM, conforme ilustrado na Figura 15.



Figura 15 – Modelo de Delimitação das Áreas de Contribuição.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

7. Definição de parâmetros: antes da simulação hidráulica foi necessária a definição e inserção de alguns parâmetros. Nessa etapa foram definidos os coeficientes de rugosidade das tubulações, galerias, ruas e canais, os coeficientes de permeabilidade das áreas permeáveis e impermeáveis e a declividade das áreas de contribuição. Também foram inseridos dados levantados no estudo hidrológico, como o CN da sub-bacia, porcentagem de área impermeável e a chuva com o tempo de retorno de 10 anos para microdrenagem, 25 e 50 anos para macrodrenagem.

8. Simulação do sistema de drenagem: inseridos todos os dados, foi realizada a simulação do sistema de drenagem para o cenário escolhido. Os resultados dessa



simulação mostraram a vazão que se tornará escoamento superficial, bem como a capacidade hidráulica da rede existente, como por exemplo, a capacidade de captação de águas pluviais pelas bocas de lobo e a capacidade dos tubos e galerias de transportarem as mesmas até o exutório. Também foi possível analisar a altura de lâmina d'água em todas as ruas, com a verificação dos trechos que sofrem com alagamentos.

As modelagens hidrodinâmicas tiveram algumas premissas, sendo elas:

→ A primeira: a capacidade de captação das caixas coletoras foi reduzida para refletir mais fielmente a falta de manutenção periódica e a presença constante de resíduos, características observadas no município. Com isso, foi realizada uma simulação do funcionamento real da rede de drenagem urbana, visando obter uma compreensão mais precisa das condições e dos problemas enfrentados.

→ A segunda: não foi possível verificar o diâmetro de todas as tubulações devido à dificuldade de acesso em alguns trechos por não possuir Poços de Visita (PV), portanto, nesses locais foi adotado um diâmetro de 400 mm, evitando subdimensionar o sistema. Também não foi possível definir a profundidade das tubulações nesses locais, de modo que foi adotada a profundidade mínima do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) para cada diâmetro.

5.2. FATORES DE RISCOS DE ALAGAMENTO

Uma avaliação de riscos deve incorporar a interação entre a natureza do alagamento e as características da população ou área em risco (GREEN, PARKER & TUNSTALL, 2000). Entender somente a população em risco, sem considerar as características de alagamento, implica em aceitar que a comunidade está exposta ao mesmo nível de vulnerabilidade, independente da magnitude e tipo de risco. Por outro lado, se a análise do alagamento é focada apenas no estudo hidrológico, se torna reduzida a uma avaliação de riscos convencional.

O risco leva em consideração a probabilidade associada a eventos de alagamento e suas principais características (velocidade, altura, duração). A vulnerabilidade refere-se principalmente as características intrínsecas da área relacionadas ao potencial de



danos e a capacidade local de recuperação. Desastre é o resultado de riscos e vulnerabilidade e é associada ao nível de risco da área exposta.

Para o modelo desenvolvido, a Tabela 12 calcula a função altura-velocidade (altura do alagamento multiplicada pela velocidade das águas de alagamento) para cada variável e identifica novos limites potenciais baseados no produto altura-velocidade.

Tabela 12 – Produto da altura pela velocidade.

Altura x Velocidade		Altura (m)									
		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50
Velocidade (m/s)	0.25	0.063	0.125	0.188	0.250	0.313	0.375	0.438	0.500	0.563	0.625
	0.50	0.125	0.250	0.375	0.500	0.625	0.750	0.875	1.000	1.125	1.250
	1.00	0.250	0.500	0.750	1.000	1.250	1.500	1.750	2.000	2.250	2.500
	1.50	0.375	0.750	1.125	1.500	1.875	2.250	2.625	3.000	3.375	3.750
	2.00	0.500	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	3.500	4.000	4.500	5.000
	2.50	0.625	1.250	1.875	2.500	3.125	3.750	4.375	5.000	5.625	6.250
	3.00	0.750	1.500	2.250	3.000	3.750	4.500	5.250	6.000	6.750	7.500
	3.50	0.875	1.750	2.625	3.500	4.375	5.250	6.125	7.000	7.875	8.750
	4.00	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	9.000	10.000
	4.50	1.125	2.250	3.375	4.500	5.625	6.750	7.875	9.000	10.125	11.250
	5.00	1.250	2.500	3.750	5.000	6.250	7.500	8.750	10.000	11.250	12.500

Legenda: ■■■■: risco baixo / ■■■■: risco médio / ■■■■: risco alto / ■■■■: risco extremo.

Fonte: Priest et al., 2007.

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

5.3. LIMITES PARA OS RISCOS DE ALAGAMENTO

É conhecida que a habilidade de um indivíduo de permanecer estável em enxurradas não é somente uma função de altura e velocidade das águas, mas também pode ser ligada a outras variáveis como condição física e idade, ou outras circunstâncias como iluminação, temperatura da água, presença de entulhos na água e se o indivíduo está carregando uma carga ou ajudando outra pessoa.

A classificação dos riscos é baseada na proposição de Priest et al. (2008), que calcula os riscos da altura dos níveis d'água pela velocidade do escoamento superficial. O Quadro 4 apresenta os limites de riscos de perdas de vida como uma função da altura pela velocidade conforme a Tabela 12 apresentada anteriormente.



Quadro 4 – Risco de perdas de vida: limites em função da altura pela velocidade.

Altura x Velocidade (m ² /s)	Riscos	Descrição
< 0,25	Baixo	Precaução
0,25 a 0,50	Médio	Perigo para alguns
0,50 a 1,10	Alto	Perigo para maioria
> 1,10	Extremo	Perigo para todos

Fonte: Priest *et al.*, 2008.

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Já o Quadro 5 apresenta os riscos de perdas de materiais em função da altura da lâmina d'água em uma ocorrência de alagamento.

Quadro 5 – Risco de perdas materiais: limites em função da altura da lâmina d'água.

Altura de Lâmina d'Água (m)	Riscos
0,00 a 0,15	Baixo
0,15 a 0,30	Médio
0,30 a 0,50	Alto
> 0,50	Extremo

Fonte: Priest *et al.*, 2007.

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

5.4. CENÁRIOS DE ANÁLISE

Para a construção dos cenários de análise, foram mapeadas três situações. Uma primeira onde há riscos de perdas materiais, em que é feita a análise das alturas das lâminas d'água nas vias urbanas, outra situação em que há riscos de perdas de vida, em que é feita a análise dos produtos das alturas das lâminas d'água pelas velocidades dos escoamentos e a última com as manchas de inundação.

Os mapas são o resultado da interpolação realizada pelo *software* ArcGis da situação tendencial com a modelagem hidráulica. Para realizar o processo, os dados foram inseridos por camadas (lâmina d'água nas ruas, rios, velocidade de escoamento e *shapes files* do sistema existente). Os dados inseridos no *software* foram trabalhados por meio de ferramentas de triangulação (TIN), com a determinação de limites mínimos e máximos, obtendo como resultado as áreas de risco. Para o mapa de perdas de vida, houve o cruzamento da velocidade de escoamento com a altura da lâmina d'água, já para os mapas de perdas materiais e de manchas de inundação foi considerado somente a altura da lâmina d'água nas ruas e rios, respectivamente.



Para os mapas de risco de perdas materiais e de vidas, foi considerado um decréscimo de 18,75% na capacidade de engolimento das bocas de lobo e de leão, visando representar de forma mais fiel a realidade de Ibiporã. Isso se deve ao fato de que a maioria dessas caixas coletoras estejam assoreadas, obstruídas ou entupidas, conforme ilustra a Figura 16 a seguir.

Figura 16 – Registro fotográfico de algumas caixas coletoras com falta de manutenção em Ibiporã.





Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Todas as 13 microbacias do perímetro urbano foram analisadas: MB01, MB02, MB03, MB04, MB05, MB06, MB07, MB08, MB09, MB10, MB11, MB12 e MB13. Na sequência, são apresentados os cenários tendenciais de cada uma delas.

A situação tendencial é a situação na qual a população será exposta a inundações e alagamentos se nenhuma obra de controle for realizada no futuro, ou seja, considera-se a capacidade atual do sistema de drenagem existente no município.

5.4.1. CENÁRIO TENDENCIAL MB01

No cenário tendencial da MB01 foi modelada a capacidade hidráulica das redes pluviais, rios e o escoamento superficial do sistema de drenagem para uma chuva de 150 minutos de duração.

Com o resultado das simulações foram elaborados três mapas: um representando a situação de riscos de perdas materiais (Figura 17), considerando apenas a altura da lâmina d'água; outro a situação de riscos de perdas de vida (Figura 18), considerando o produto da altura da lâmina d'água pela velocidade do escoamento e por último as manchas de inundação (Figura 19), considerando a altura da lâmina d'água que transborda dos rios.



A Tabela 13 apresenta as análises realizadas na área da microbacia MB02 sob influência dos eventos de chuva e os riscos envolvidos.

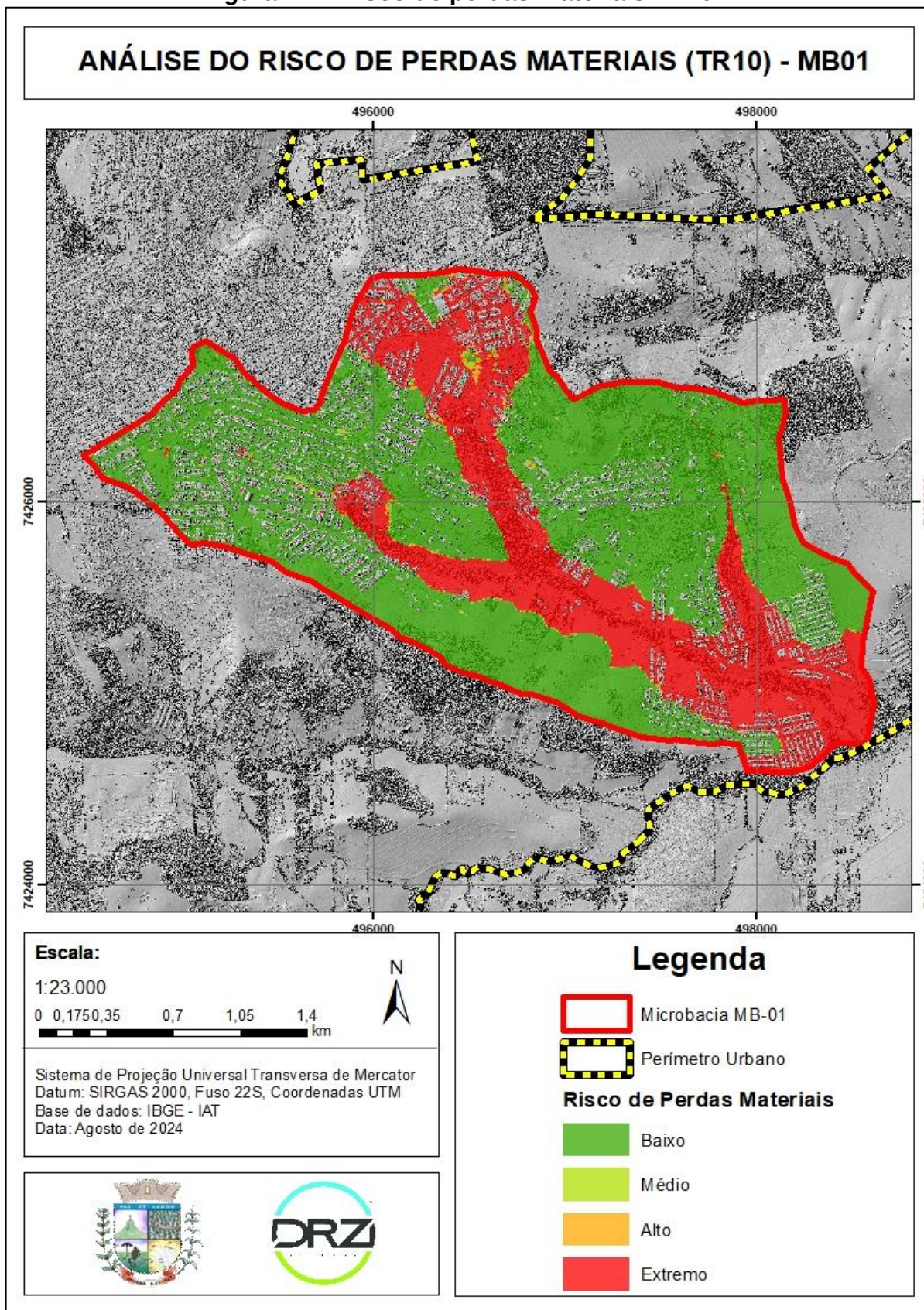
Tabela 13 – Risco de perdas materiais e de vida para MB02

Análises de perdas materiais			
Altura de Lâmina d'Água (m)	Riscos	Porcentagem (%)	
0,00 a 0,15	Baixo	54,90	
0,15 a 0,30	Médio	0,73	
0,30 a 0,50	Alto	0,72	
> 0,50	Extremo	27,02	
Análise de perda de vidas			
Altura x Velocidade (m²/s)	Riscos	Descrição	Porcentagem (%)
< 0,25	Baixo	Precaução	55,40
0,25 a 0,50	Médio	Perigo para alguns	0,38
0,50 a 1,10	Alto	Perigo para maioria	0,48
> 1,10	Extremo	Perigo para todos	27,11

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



Figura 17 – Risco de perdas materiais: MB01.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



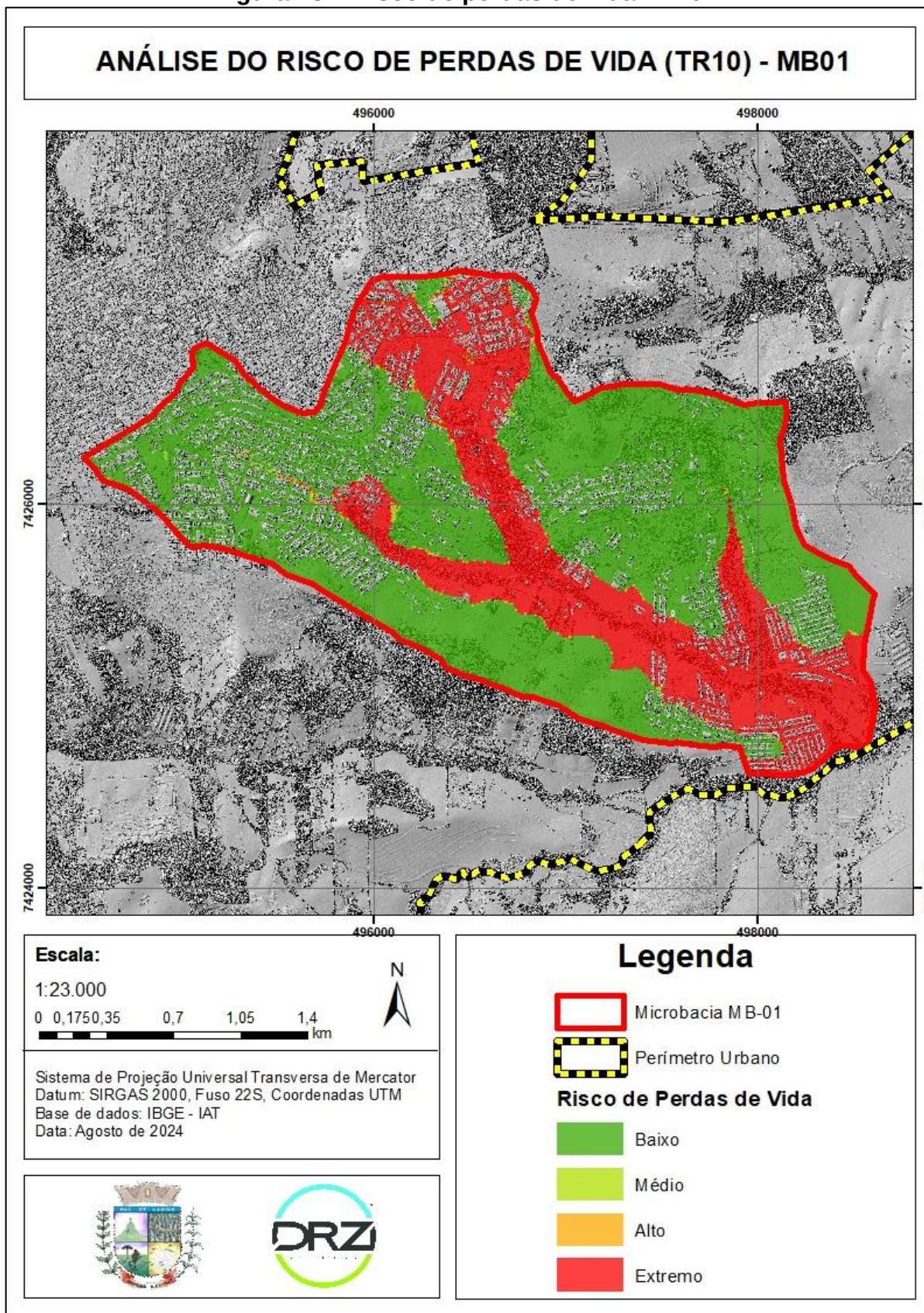
Para análise de perdas materiais (Figura 17), foi concluído que 54,90% da área da microbacia MB01 se encontra com altura de lâmina d'água de até 0,15 m e 27,02% com altura excedendo os 0,50 m, sendo que tal nível possui risco extremo de perdas de móveis e imóveis. Os riscos médio e alto somam aproximadamente 0,95% da área da MB01.

Com relação ao risco de perda de vidas (Figura 18), o risco extremo de alagamento atinge 27,11% da área da microbacia MB01 representando perigo para todas as pessoas residentes nas regiões afetadas, enquanto 55,40% da área apresenta risco baixo, onde a população deve manter a precaução. O risco médio e alto, somam 0,86% da microbacia devendo manter em alerta em dias de eventos intensos de chuva.

O risco de inundação/alagamento, apresentado na Figura 19, atinge aproximadamente 0,92% da área total da microbacia para os TRs de 25 e 50 anos, afetando toda a população residente nessas áreas e, aproximadamente, 2,34% e 2,38% da MB01 (TRs de 25 e 50 anos, respectivamente) é atingida pelos eventos naturais de cheias da calha maior do rio, recobertas pela APP, evidenciando a importância da preservação da mata ciliar na retenção de enchentes e inundações.



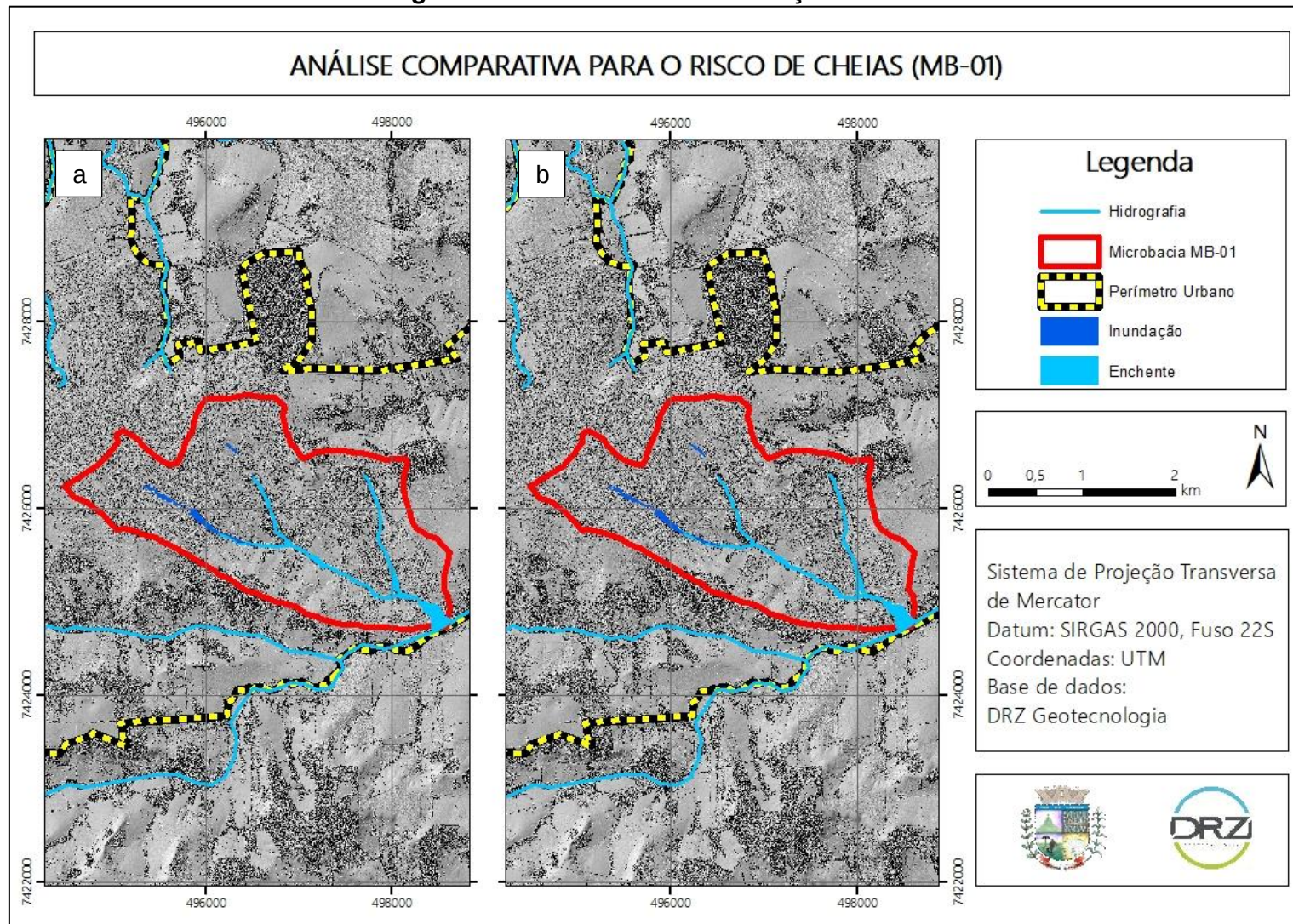
Figura 18 – Risco de perdas de vida: MB01.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



Figura 19 – Manchas de Inundação: MB01.



Legenda: a – para TR 25; b – para TR 50.
Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



5.4.2. CENÁRIO TENDENCIAL MB02

No cenário tendencial da MB02 foi modelada a capacidade hidráulica das redes pluviais, rios e o escoamento superficial do sistema de drenagem para uma chuva de 162 minutos de duração.

Com o resultado das simulações foram elaborados três mapas: um representando a situação de riscos de perdas materiais (Figura 20), considerando apenas a altura da lâmina d'água; outro a situação de riscos de perdas de vida (Figura 21), considerando o produto da altura da lâmina d'água pela velocidade do escoamento e por último as manchas de inundação (Figura 22), considerando a altura da lâmina d'água que transborda dos rios.

A Tabela 14 apresenta as análises realizadas na área da microbacia MB02 sob influência dos eventos de chuva e os riscos envolvidos.

Tabela 14 – Risco de perdas materiais e de vida para MB02

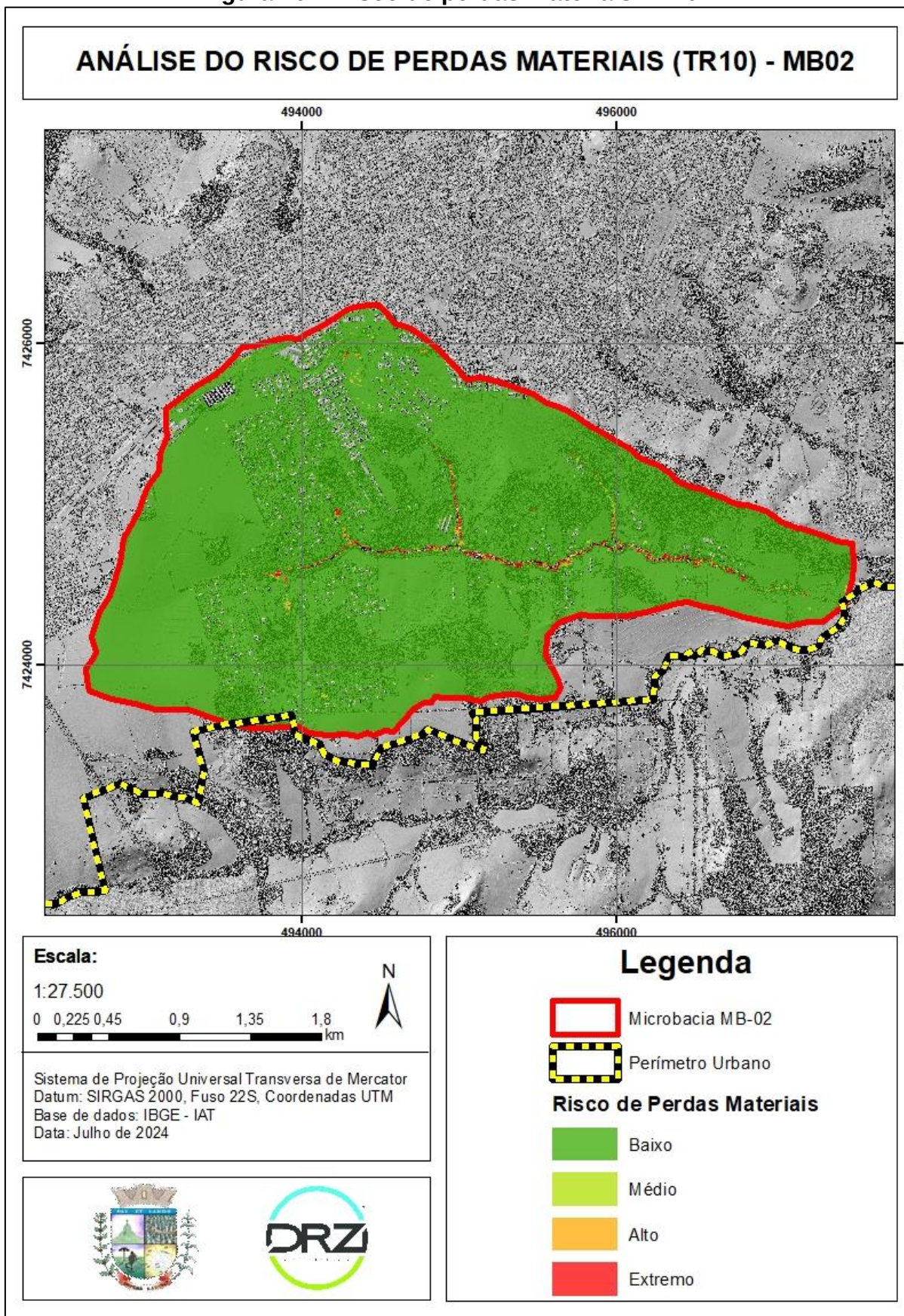
Análises de perdas materiais			
Altura de Lâmina d'Água (m)	Riscos	Porcentagem (%)	
0,00 a 0,15	Baixo	94,19	
0,15 a 0,30	Médio	0,47	
0,30 a 0,50	Alto	0,30	
> 0,50	Extremo	0,84	
Análise de perda de vidas			
Altura x Velocidade (m²/s)	Riscos	Descrição	Porcentagem (%)
< 0,25	Baixo	Precaução	94,45
0,25 a 0,50	Médio	Perigo para alguns	0,32
0,50 a 1,10	Alto	Perigo para maioria	0,34
> 1,10	Extremo	Perigo para todos	0,74

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Para análise de perdas materiais (Figura 20), foi concluído que 94,19% da área da microbacia MB02 se encontra com altura de lâmina d'água de até 0,15 m e 0,84% com altura excedendo os 0,50 m, sendo que tal nível possui risco extremo de perdas de móveis e imóveis. Os riscos médio e alto somam aproximadamente 0,77% da área da MB02.



Figura 20 – Risco de perdas materiais: MB02.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

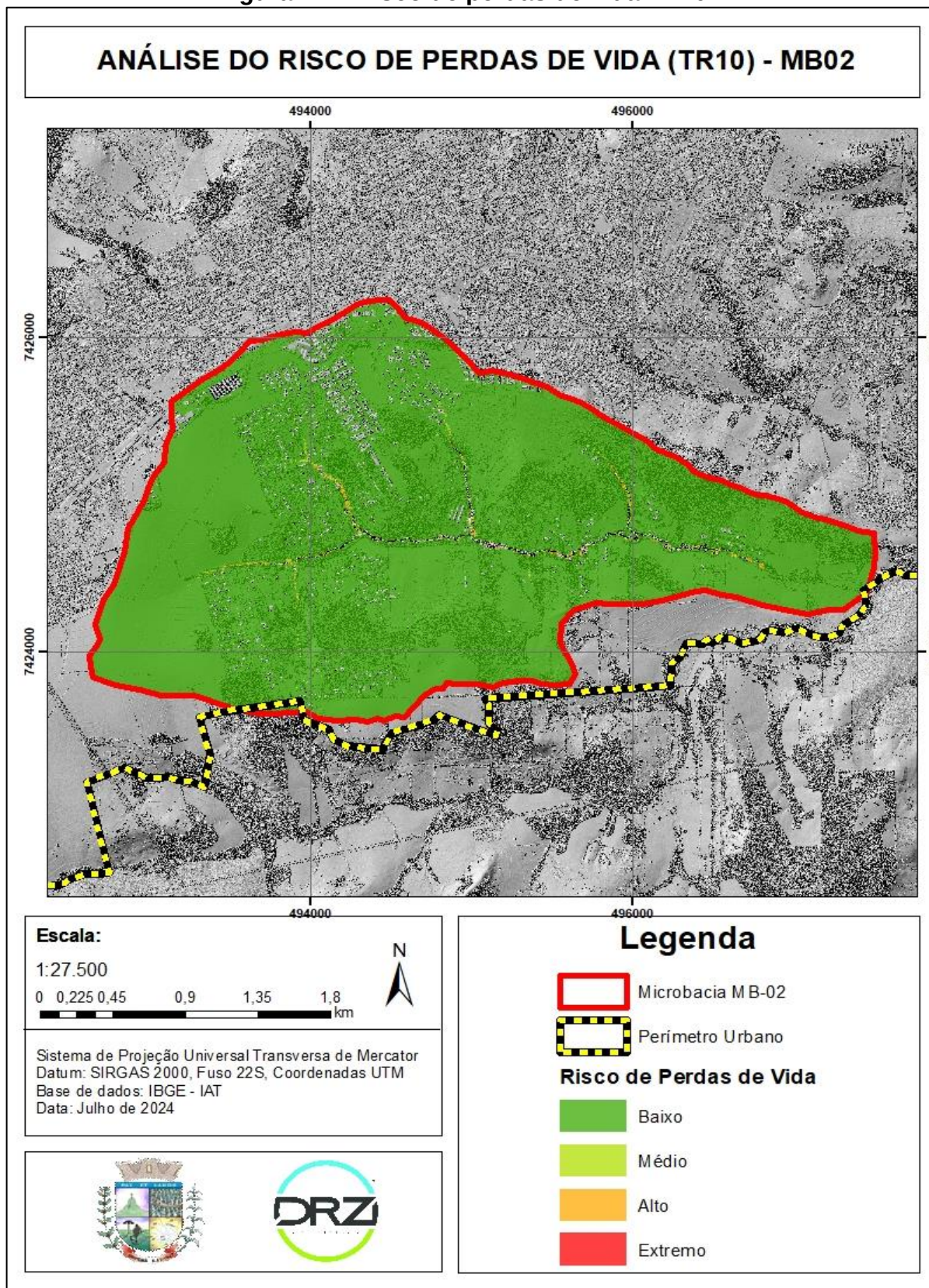


Com relação ao risco de perda de vidas (Figura 21), o risco extremo de alagamento atinge 0,74% da área da microbacia MB02 representando perigo para todas as pessoas residentes nas regiões afetadas, enquanto 94,45% da área apresenta risco baixo, onde a população deve manter a precaução. O risco médio e alto, somam 0,66% da microbacia devendo manter em alerta em dias de eventos intensos de chuva.

O risco de inundação/alagamento, apresentado na Figura 22, atinge 0,42% da área total da microbacia para ambos os TRs de 25 e 50 anos, afetando toda a população residente nessas áreas e 2,62% da MB02 é atingida pelos eventos naturais de cheias da calha maior do rio, recobertas pela APP, evidenciando a importância da preservação da mata ciliar na retenção de enchentes e inundações.



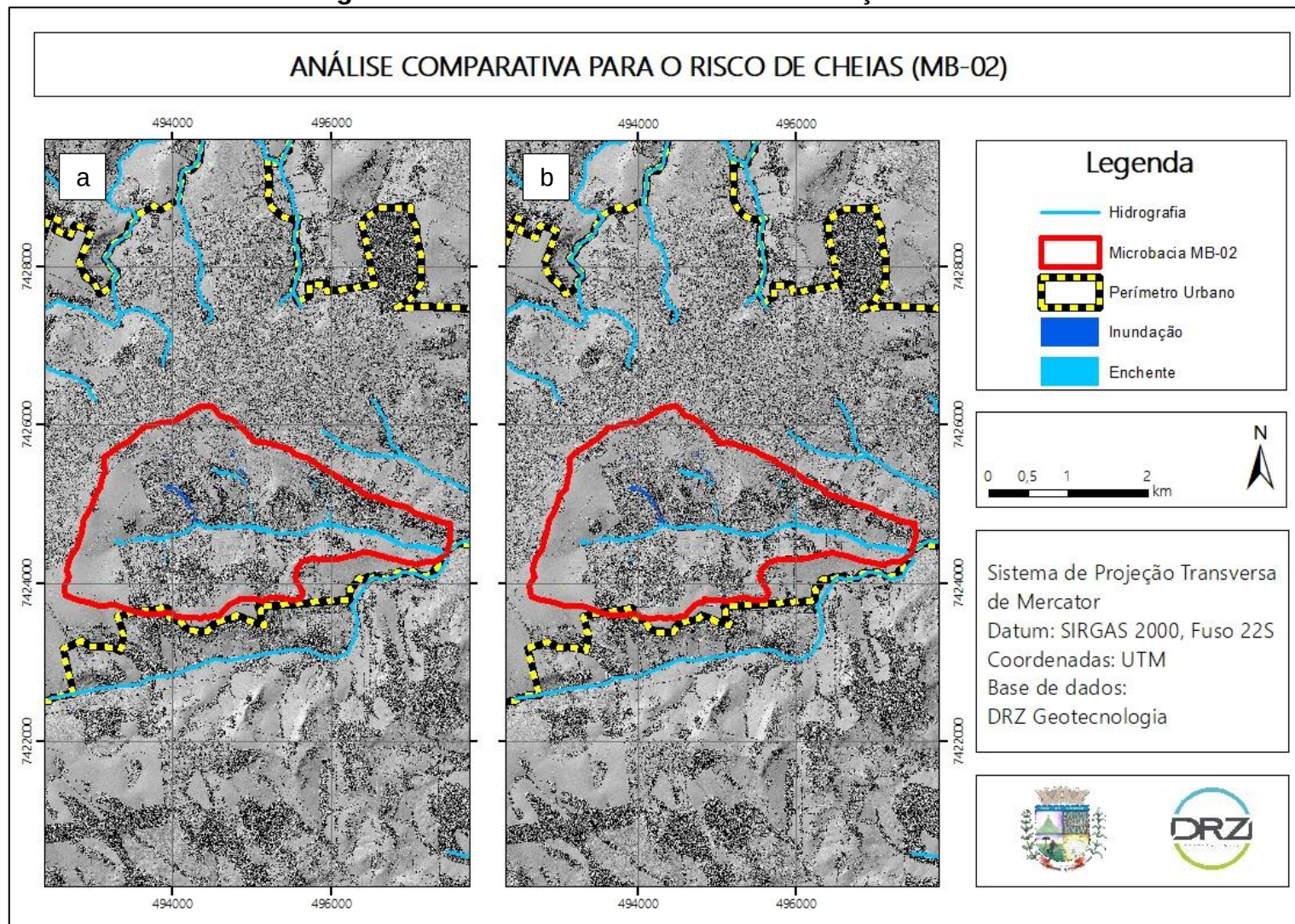
Figura 21 – Risco de perdas de vida: MB02.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



Figura 22 – Ocorrência de cheias e inundações: MB02



Legenda: a – para TR 25; b – para TR 50.
Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



5.4.3. CENÁRIO TENDENCIAL MB03

No cenário tendencial da MB03 foi modelada a capacidade hidráulica das redes pluviais, rios e o escoamento superficial do sistema de drenagem para uma chuva de 90 minutos de duração.

Com o resultado das simulações foram elaborados três mapas: um representando a situação de riscos de perdas materiais (Figura 23), considerando apenas a altura da lâmina d'água; outro a situação de riscos de perdas de vida (Figura 24), considerando o produto da altura da lâmina d'água pela velocidade do escoamento e por último as manchas de inundação (Figura 25), considerando a altura da lâmina d'água que transborda dos rios.

A Tabela 15 apresenta as análises realizadas na área da microbacia MB03 sob influência dos eventos de chuva e os riscos envolvidos.

Tabela 15 – Risco de perdas materiais e de vida para MB03

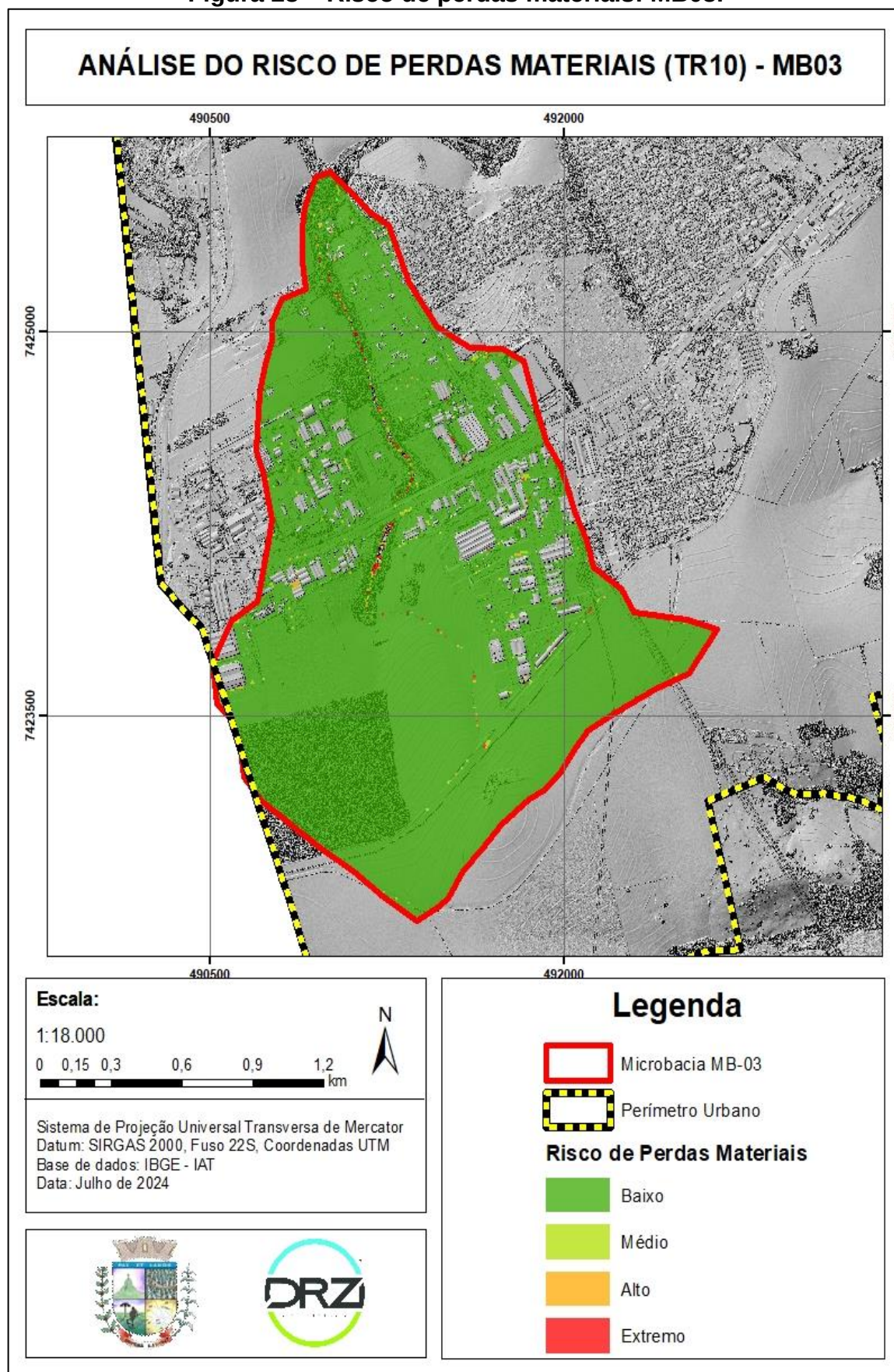
Análises de perdas materiais			
Altura de Lâmina d'Água (m)	Riscos	Porcentagem (%)	
0,00 a 0,15	Baixo	88,98	
0,15 a 0,30	Médio	0,58	
0,30 a 0,50	Alto	0,22	
> 0,50	Extremo	0,41	
Análise de perda de vidas			
Altura x Velocidade (m²/s)	Riscos	Descrição	Porcentagem (%)
< 0,25	Baixo	Precaução	89,84
0,25 a 0,50	Médio	Perigo para alguns	0,14
0,50 a 1,10	Alto	Perigo para maioria	0,11
> 1,10	Extremo	Perigo para todos	0,09

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Na análise de perdas materiais (Figura 23), foi observado que 88,98% da área da microbacia MB03 se encontra com altura de lâmina d'água de até 0,15 m e 0,41% com altura excedendo os 0,50 m, sendo que tal nível possui risco extremo de perdas de móveis e imóveis. Os riscos médio e alto somam aproximadamente 0,80% da área da MB03.



Figura 23 – Risco de perdas materiais: MB03.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



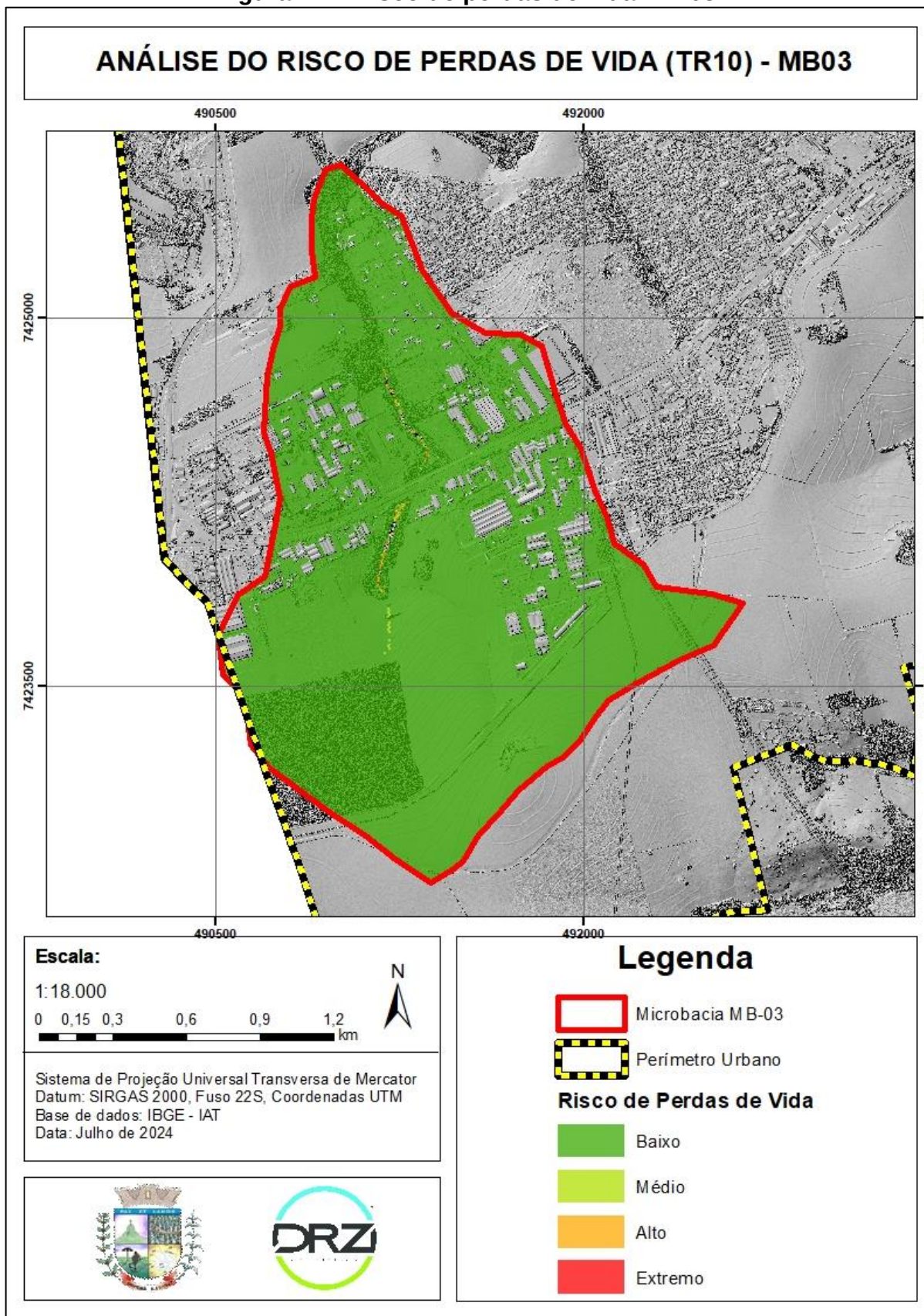
Em relação ao risco de perda de vidas (Figura 24), o risco extremo de alagamento atinge apenas 0,09% da área da microbacia, enquanto 89,84% da área apresenta risco baixo, onde a população deve manter a precaução. O risco médio e alto, somam 0,25% da microbacia devendo manter em alerta em dias de eventos intensos de chuva.

O risco de inundação/alagamento, apresentado na Figura 25, atinge 0,37% e 0,34% da área total da microbacia para os TRs de 25 e 50 anos, respectivamente, afetando toda a população residente nessas áreas. Observa-se que os pontos de alagamento se concentram em áreas de ruas e estradas evidenciando a influência da impermeabilização do solo na ocorrência desses eventos.

Aproximadamente 1,28% e 1,26% (para TRs de 25 e 50 anos respectivamente) da MB03 é atingida pelos eventos naturais de cheias da calha maior do rio, que se encontram recoberta por APP, apresentando a importância da preservação da mata ciliar na retenção de enchentes e inundações.



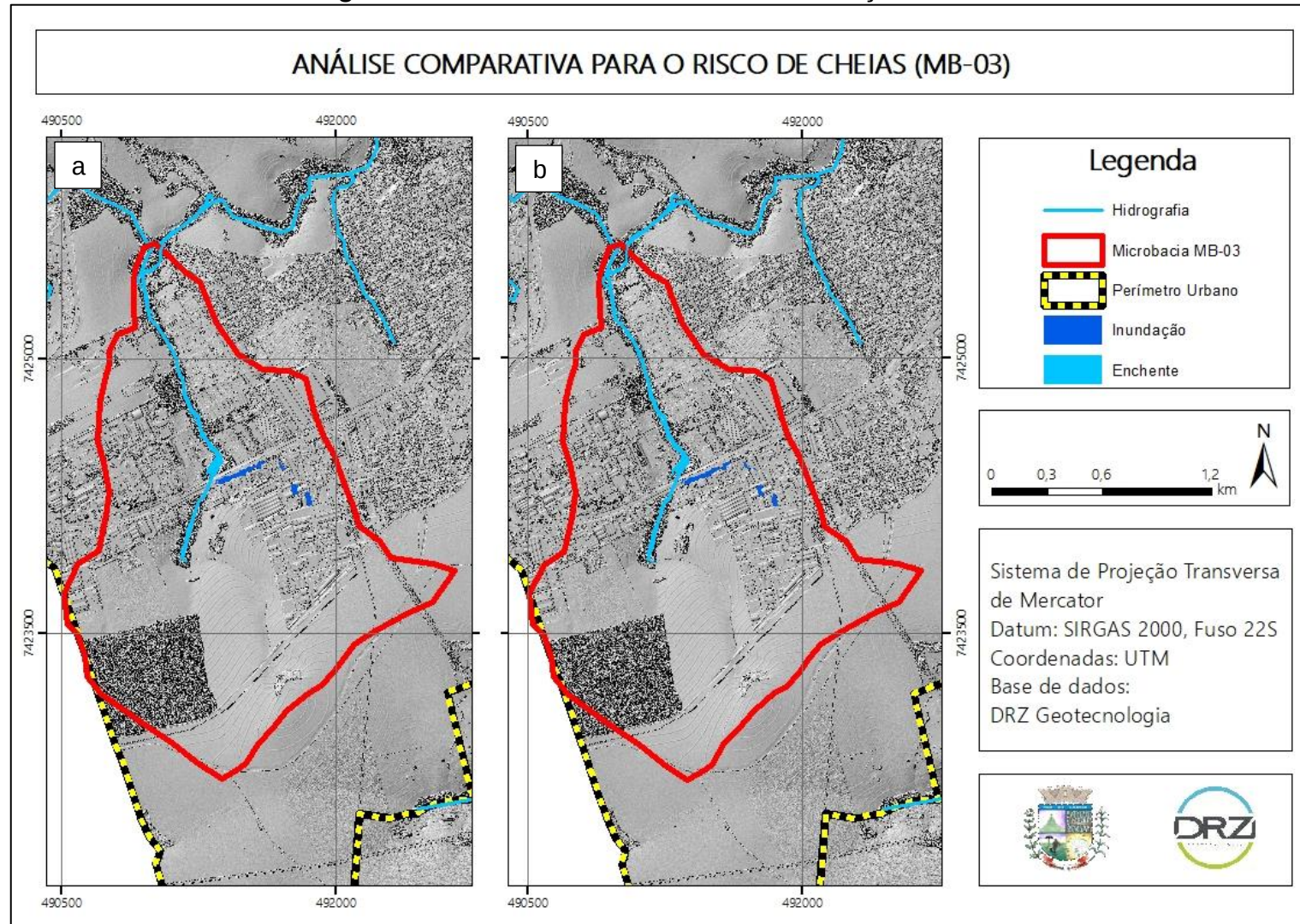
Figura 24 – Risco de perdas de vida: MB03.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



Figura 25 – Ocorrência de cheias e inundações: MB03



Legenda: a – para TR 25; b – para TR 50.
Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



5.4.4. CENÁRIO TENDENCIAL MB04

No cenário tendencial da MB04 foi modelada a capacidade hidráulica das redes pluviais, rios e o escoamento superficial do sistema de drenagem para uma chuva de 56,4 minutos de duração.

Com o resultado das simulações foram elaborados três mapas: um representando a situação de riscos de perdas materiais (Figura 26), considerando apenas a altura da lâmina d'água; outro a situação de riscos de perdas de vida (Figura 27), considerando o produto da altura da lâmina d'água pela velocidade do escoamento e por último as manchas de inundação (Figura 28), considerando a altura da lâmina d'água que transborda dos rios.

A Tabela 16 apresenta as análises realizadas na área da microbacia MB04 sob influência dos eventos de chuva e os riscos envolvidos.

Tabela 16 – Risco de perdas materiais e de vida para MB04

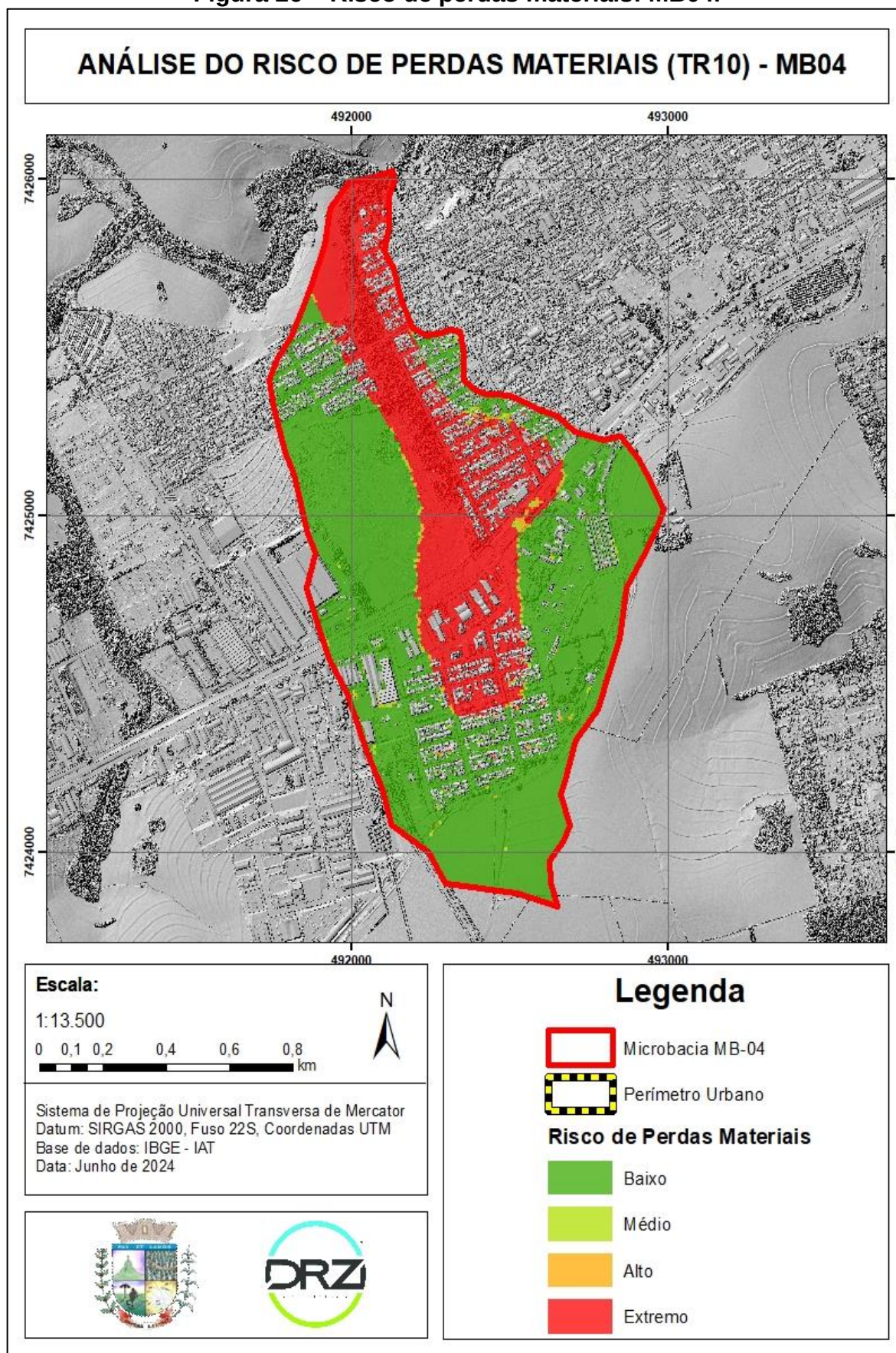
Análises de perdas materiais			
Altura de Lâmina d'Água (m)	Riscos	Porcentagem (%)	
0,00 a 0,15	Baixo	54,65	
0,15 a 0,30	Médio	0,92	
0,30 a 0,50	Alto	0,68	
> 0,50	Extremo	25,72	
Análise de perda de vidas			
Altura x Velocidade (m²/s)	Riscos	Descrição	Porcentagem (%)
< 0,25	Baixo	Precaução	53,82
0,25 a 0,50	Médio	Perigo para alguns	1,03
0,50 a 1,10	Alto	Perigo para maioria	1,93
> 1,10	Extremo	Perigo para todos	25,07

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Na análise de perdas materiais (Figura 26), foi observado que 25,72% da área da microbacia MB04 se encontra com altura excedendo os 0,50 m representando um risco extremo de perda de moveis e imóveis. O risco baixo de perdas (lâmina d'água de até 0,15 m) representa 54,65% da área da microbacia e, aproximadamente, 1,60% da MB04 estão sob risco médio e alto de perdas materiais.



Figura 26 – Risco de perdas materiais: MB04.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



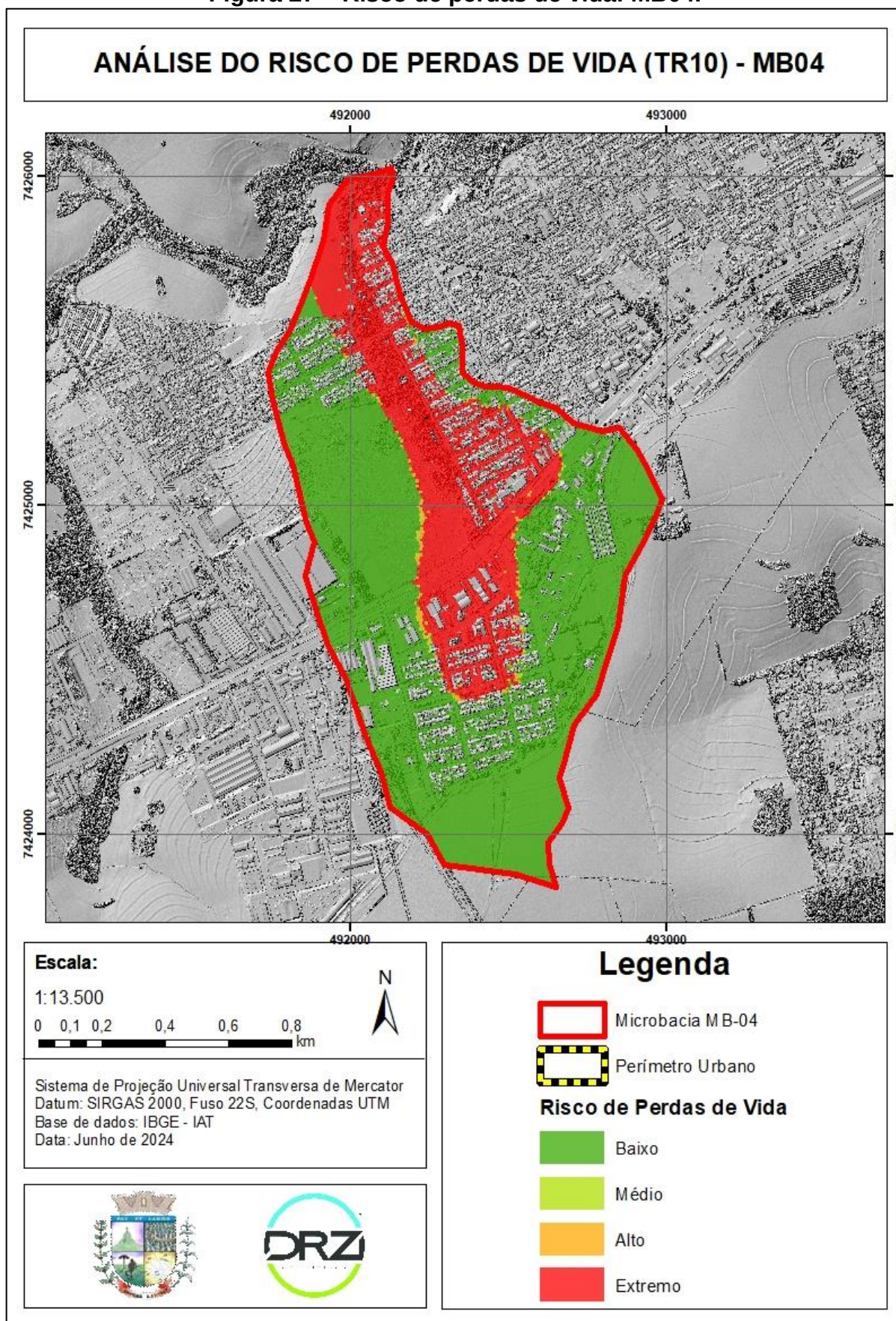
Em relação ao risco de perda de vidas (Figura 27), o risco extremo de alagamento atinge 25,07% da área da microbacia, enquanto 53,82% da área apresenta risco baixo, onde a população deve manter a precaução. O risco médio e alto, somam 2,97% da microbacia devendo manter em alerta em dias de eventos intensos de chuva.

O risco de inundação/alagamento, apresentado na Figura 28, atinge 0,31% e 0,33% da área total da microbacia para os TRs de 25 e 50 anos, respectivamente, afetando toda a população residente nessas áreas. Observa-se que os pontos de alagamento se concentram em áreas de ruas e estradas evidenciando a influência da impermeabilização do solo na ocorrência desses eventos.

Aproximadamente 4,20% e 3,70% (para TRs de 25 e 50 anos respectivamente) da MB04 é atingida pelos eventos naturais de cheias da calha maior do rio, que se encontram recoberta por APP, apresentando a importância da preservação da mata ciliar na retenção de enchentes e inundações.



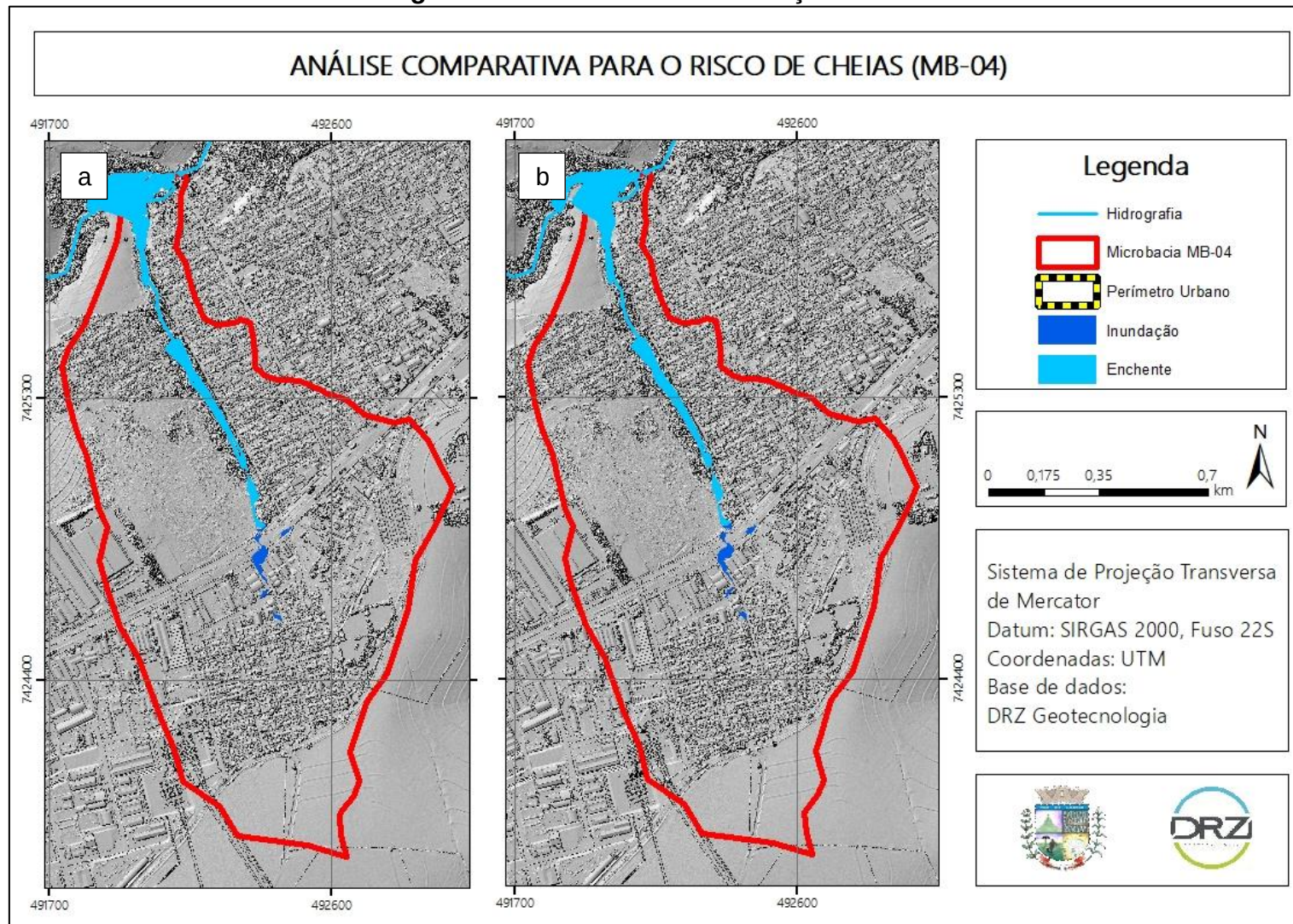
Figura 27 – Risco de perdas de vida: MB04.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



Figura 28 – Manchas de Inundação: MB04.



Legenda: a – para TR 25; b – para TR 50.
Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



5.4.5. CENÁRIO TENDENCIAL MB05

No cenário tendencial da MB05 foi modelada a capacidade hidráulica das redes pluviais, rios e o escoamento superficial do sistema de drenagem para uma chuva de 44,4 minutos de duração.

Com o resultado das simulações foram elaborados três mapas: um representando a situação de riscos de perdas materiais (Figura 29), considerando apenas a altura da lâmina d'água; outro a situação de riscos de perdas de vida (Figura 30) considerando o produto da altura da lâmina d'água pela velocidade do escoamento e por último as manchas de inundação (Figura 31), considerando a altura da lâmina d'água que transborda dos rios.

A Tabela 17 apresenta as análises realizadas na área da microbacia MB05 sob influência dos eventos de chuva e os riscos envolvidos.

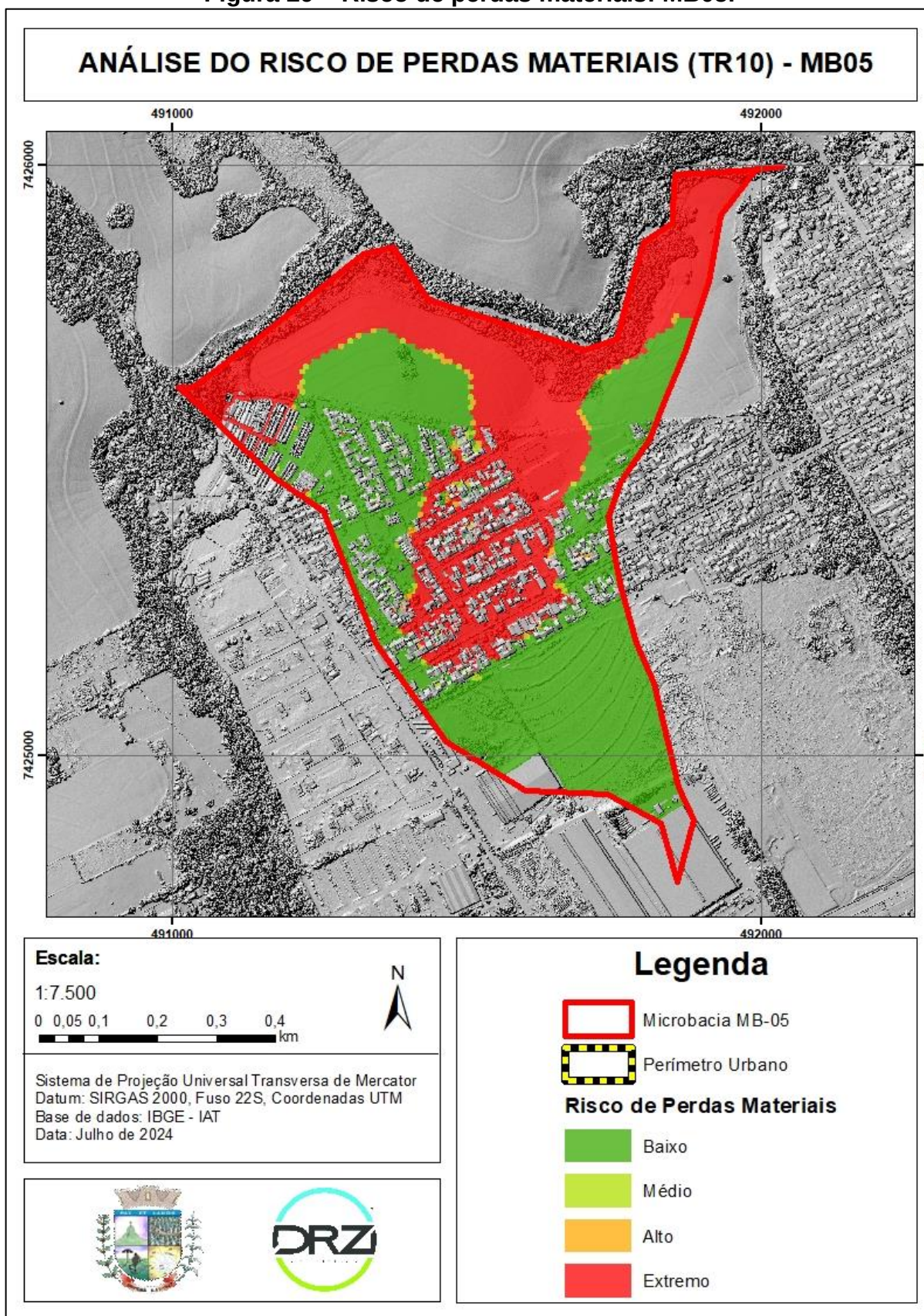
Tabela 17 – Risco de perdas materiais e de vida para MB05

Análises de perdas materiais			
Altura de Lâmina d'Água (m)	Riscos	Porcentagem (%)	
0,00 a 0,15	Baixo	42,72	
0,15 a 0,30	Médio	0,66	
0,30 a 0,50	Alto	0,80	
> 0,50	Extremo	37,32	
Análise de perda de vidas			
Altura x Velocidade (m²/s)	Riscos	Descrição	Porcentagem (%)
< 0,25	Baixo	Precaução	14,45
0,25 a 0,50	Médio	Perigo para alguns	0,13
0,50 a 1,10	Alto	Perigo para maioria	0,25
> 1,10	Extremo	Perigo para todos	12,15

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Na análise de perdas materiais (Figura 29), foi observado que 37,32% da área da microbacia MB05 se encontra com altura excedendo os 0,50 m representando um risco extremo de perda de moveis e imóveis. O risco baixo de perdas (lâmina d'água de até 0,15 m) representa 42,72% da área da microbacia e, aproximadamente, 1,46% da MB05 estão sob risco médio e alto de perdas materiais.

Figura 29 – Risco de perdas materiais: MB05.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



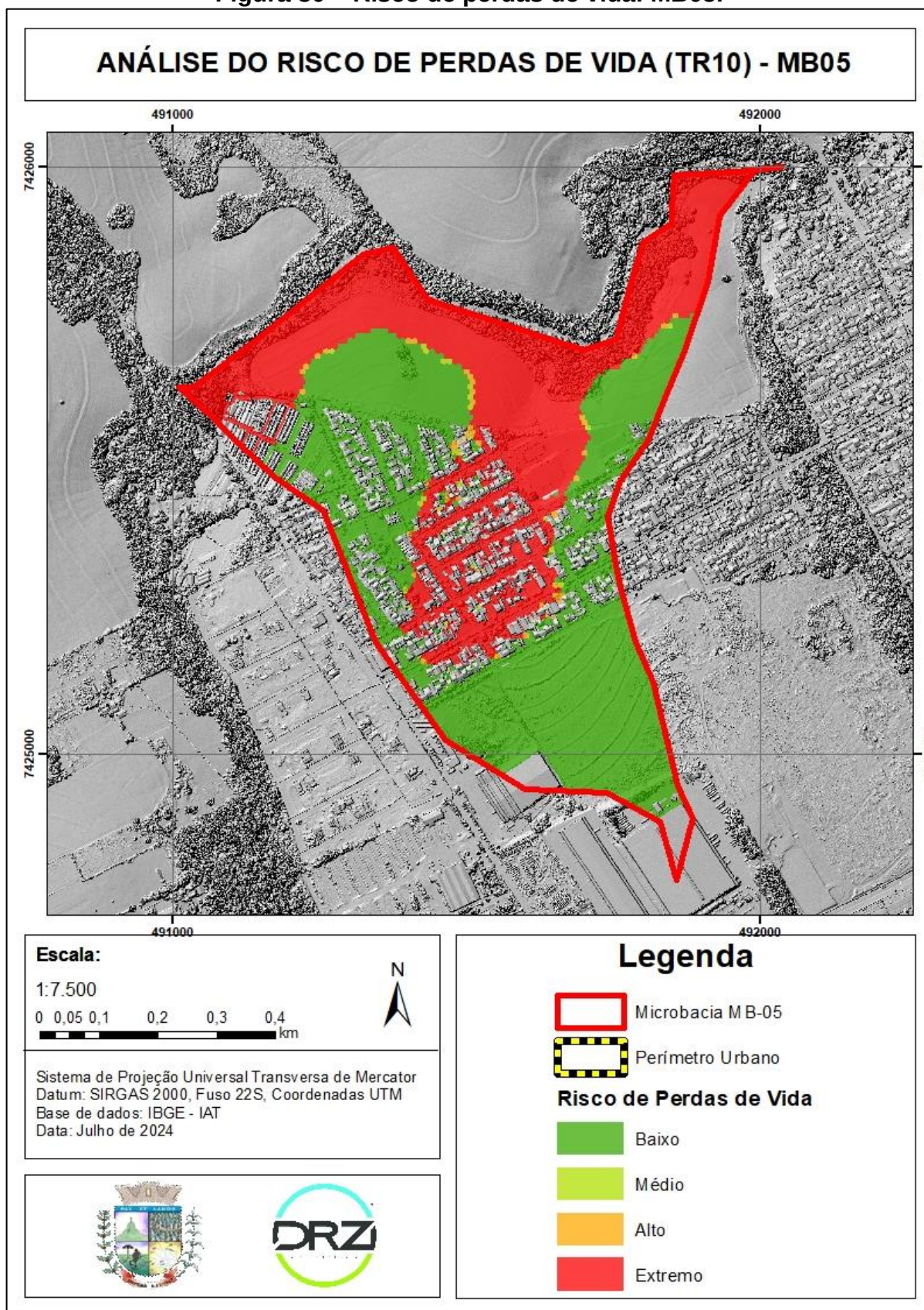
Com relação ao risco de perda de vidas (Figura 30), o risco extremo de alagamento atinge 36,68% da área da microbacia, enquanto 43,60% da área apresenta risco baixo, onde a população deve manter a precaução. O risco médio e alto, somam 1,25% da microbacia devendo manter em alerta em dias de eventos intensos de chuva.

O risco de inundação/alagamento, apresentado na Figura 31, atinge 0,23% e 0,35% da área total da microbacia para os TRs de 25 e 50 anos, respectivamente, afetando toda a população residente nessas áreas. Observa-se que os pontos de alagamento se concentram em áreas de ruas e estradas evidenciando a influência da impermeabilização do solo na ocorrência desses eventos.

Aproximadamente 3,10% e 2,77% (para TRs de 25 e 50 anos respectivamente) da MB05 é atingida pelos eventos naturais de cheias da calha maior do rio, que se encontram recoberta por APP, apresentando a importância da preservação da mata ciliar na retenção de enchentes e inundações.



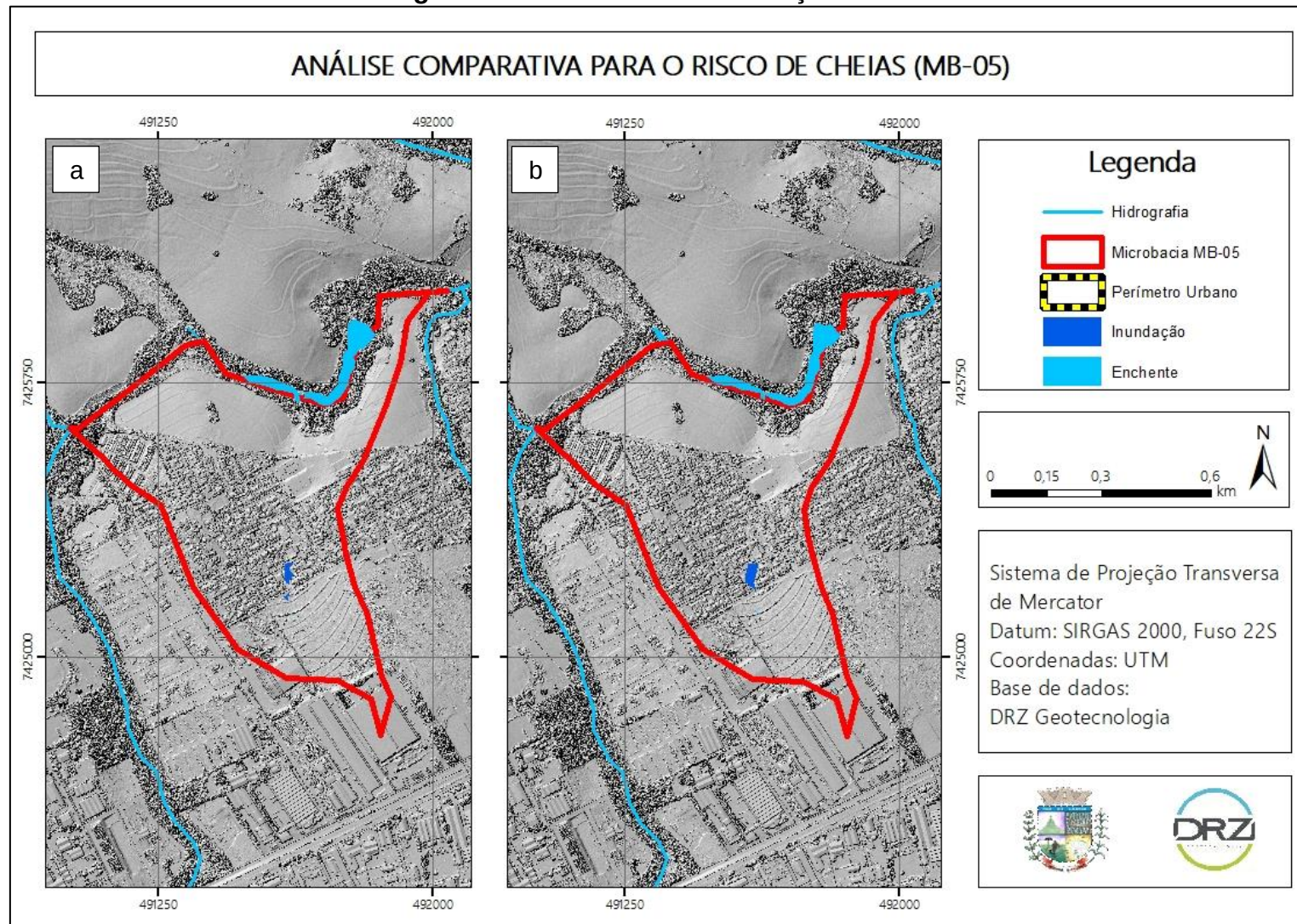
Figura 30 – Risco de perdas de vida: MB05.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



Figura 31 – Manchas de Inundação: MB05.



Legenda: a – para TR 25; b – para TR 50.
Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



5.4.6. CENÁRIO TENDENCIAL MB06

No cenário tendencial da MB06 foi modelada a capacidade hidráulica das redes pluviais, rios e o escoamento superficial do sistema de drenagem para uma chuva de 77,4 minutos de duração.

Com o resultado das simulações foram elaborados três mapas: um representando a situação de riscos de perdas materiais (Figura 32), considerando apenas a altura da lâmina d'água; outro a situação de riscos de perdas de vida (Figura 33), considerando o produto da altura da lâmina d'água pela velocidade do escoamento e por último as manchas de inundação (Figura 34), considerando a altura da lâmina d'água que transborda dos rios.

A Tabela 18 apresenta as análises realizadas na área da microbacia MB06 sob influência dos eventos de chuva e os riscos envolvidos.

Tabela 18 – Risco de perdas materiais e de vida para MB06

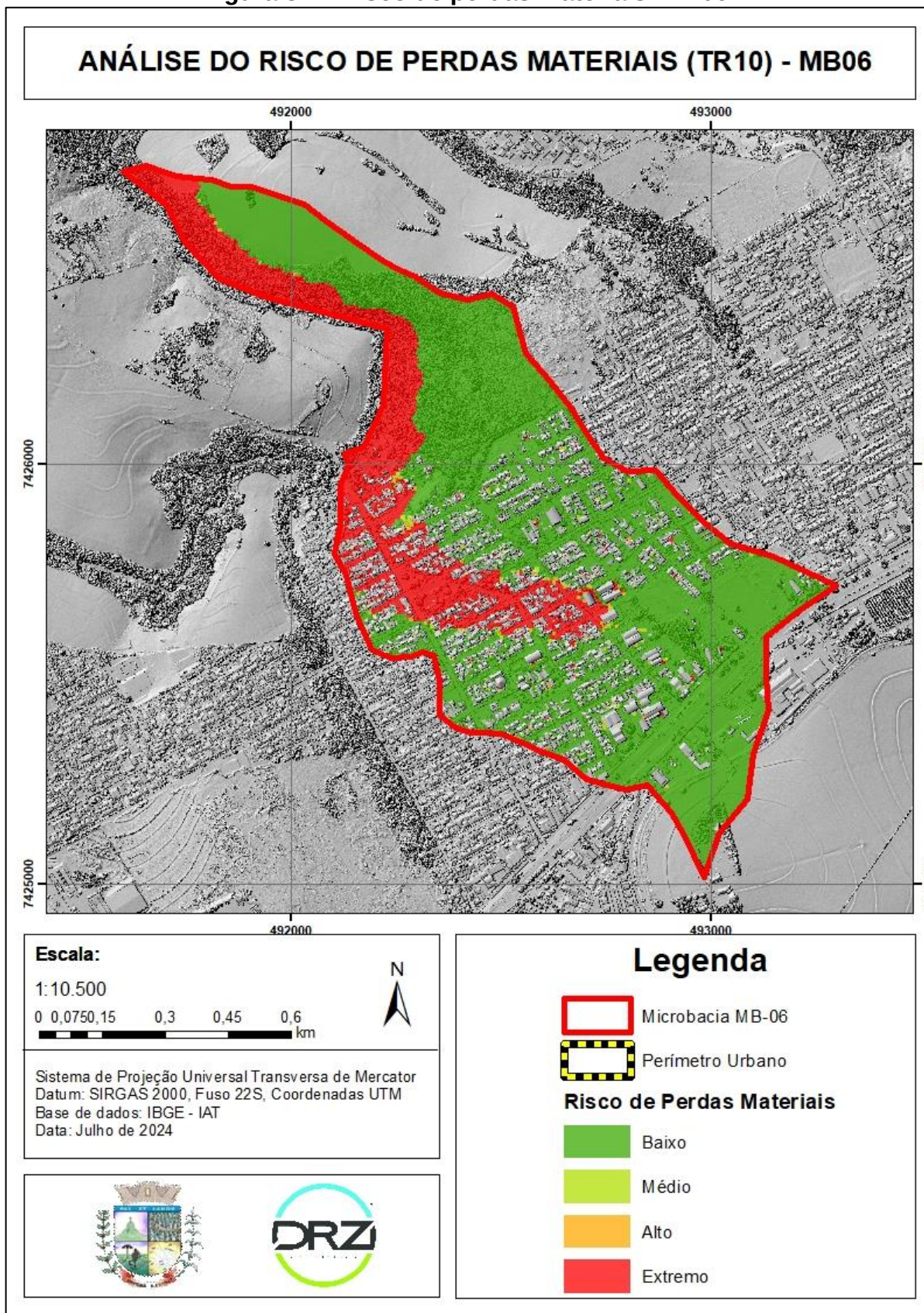
Análises de perdas materiais			
Altura de Lâmina d'Água (m)	Riscos	Porcentagem (%)	
0,00 a 0,15	Baixo	61,30	
0,15 a 0,30	Médio	0,68	
0,30 a 0,50	Alto	0,42	
> 0,50	Extremo	17,23	
Análise de perda de vidas			
Altura x Velocidade (m²/s)	Riscos	Descrição	Porcentagem (%)
< 0,25	Baixo	Precaução	62,34
0,25 a 0,50	Médio	Perigo para alguns	0,38
0,50 a 1,10	Alto	Perigo para maioria	0,59
> 1,10	Extremo	Perigo para todos	16,30

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Na análise de perdas materiais (Figura 32), foi observado que 61,30% da área da microbacia MB06 se encontra com altura de lâmina d'água de até 0,15 m e 17,23% com altura excedendo os 0,50 m, sendo que tal nível possui risco extremo de perdas de móveis e imóveis. Os riscos médio e alto somam aproximadamente 1,10% da área da MB06.



Figura 32 – Risco de perdas materiais: MB06.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



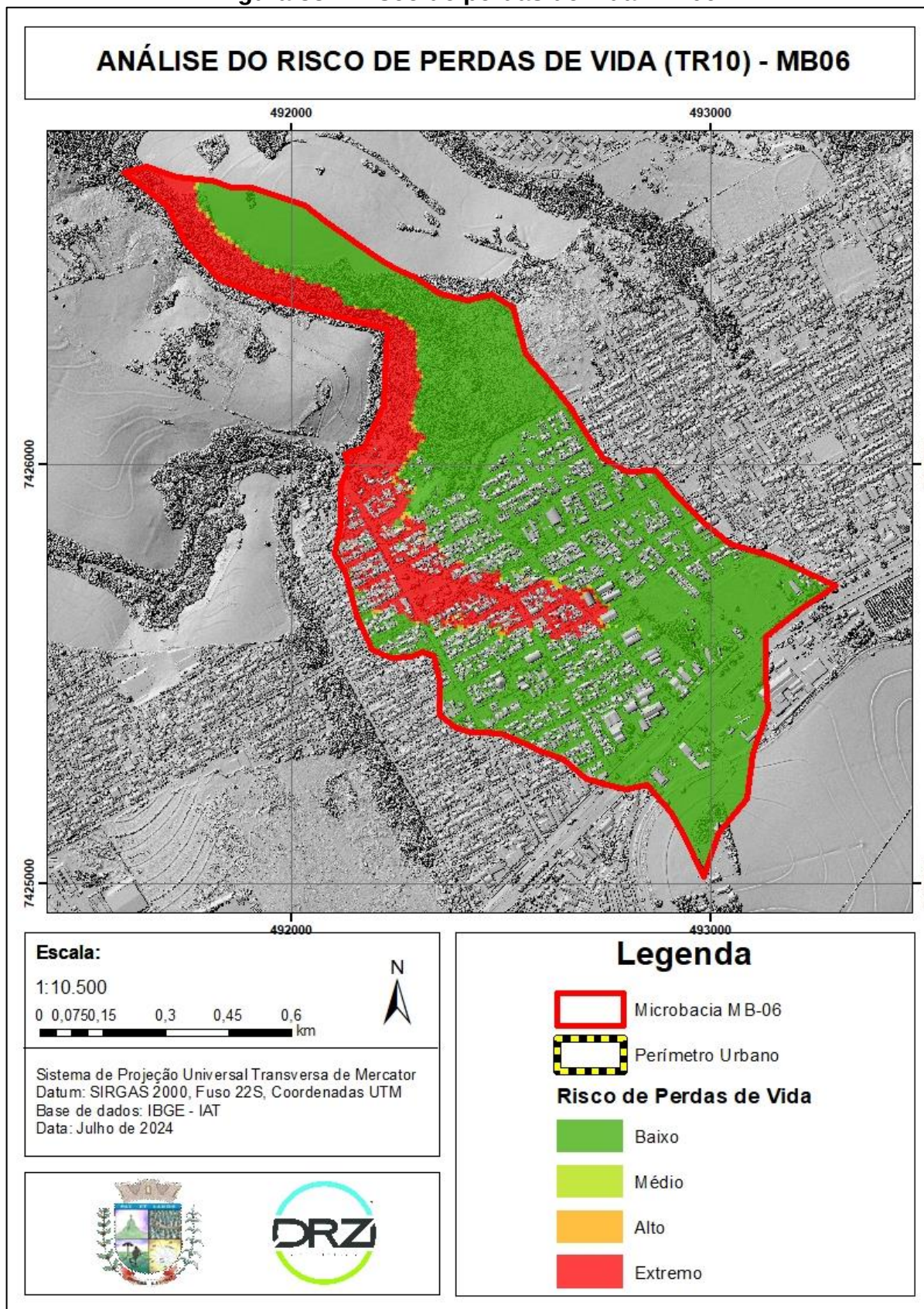
Com relação ao risco de perda de vidas (Figura 33), o risco extremo de alagamento atinge 16,30% da área da microbacia, enquanto 62,34% da área apresenta risco baixo, onde a população deve manter a precaução. O risco médio e alto, somam 0,95% da microbacia devendo manter em alerta em dias de eventos intensos de chuva.

O risco de inundação/alagamento, apresentado na Figura 34, atinge 1,56% da área total da microbacia para os TRs de 25 e 50 anos, respectivamente, afetando toda a população residente nessas áreas. Observa-se que os pontos de alagamento se concentram em áreas de ruas e terrenos evidenciando a influência da impermeabilização do solo na ocorrência desses eventos.

Aproximadamente 1,86% e 1,92% (para TRs de 25 e 50 anos respectivamente) da MB06 é atingida pelos eventos naturais de cheias da calha maior do rio, que se encontram recoberta por APP, apresentando a importância da preservação da mata ciliar na retenção de enchentes e inundações.



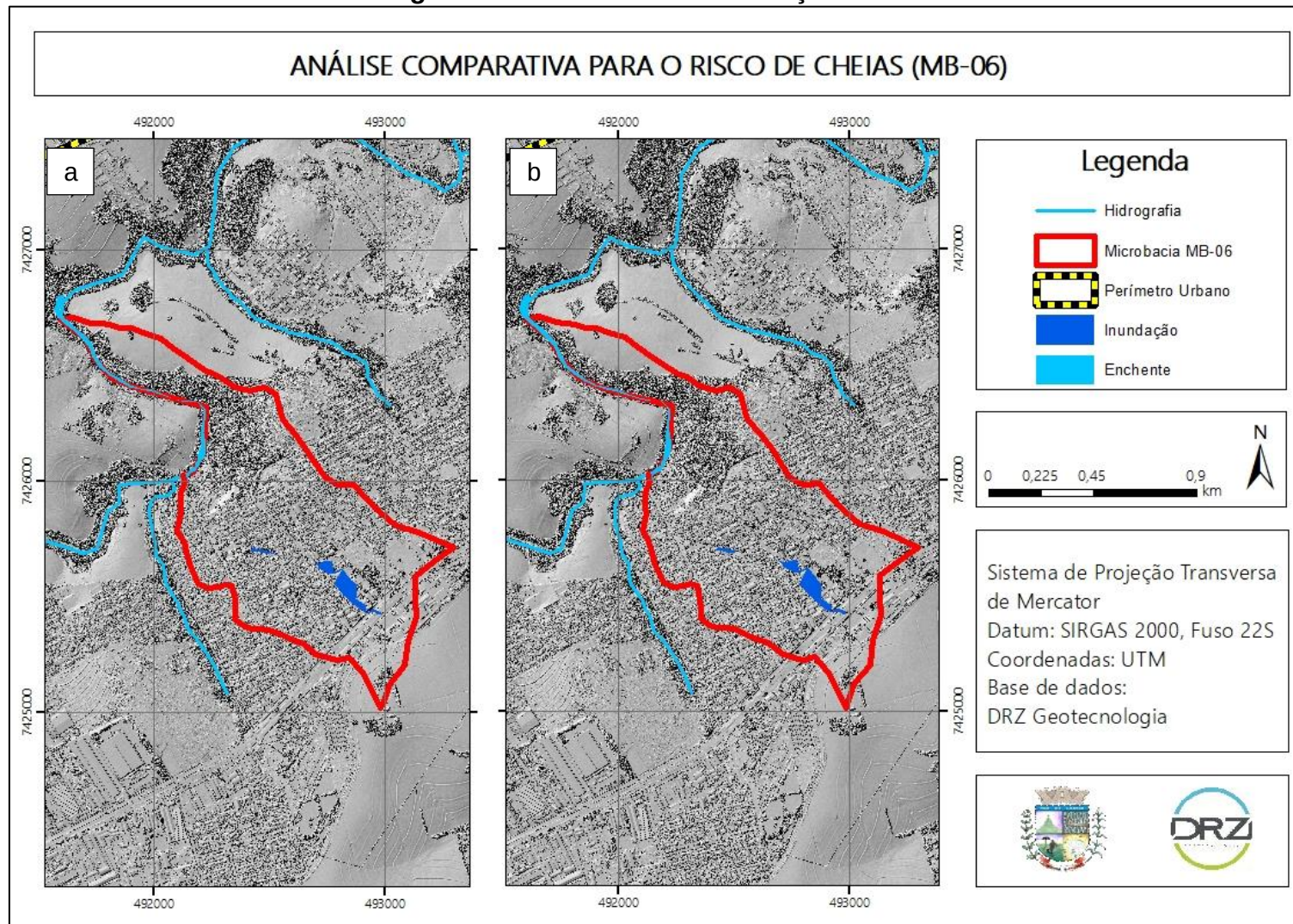
Figura 33 – Risco de perdas de vida: MB06.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



Figura 34 – Manchas de Inundação: MB06.



Legenda: a – para TR 25; b – para TR 50.
Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



5.4.7. CENÁRIO TENDENCIAL MB07

No cenário tendencial da MB07 foi modelada a capacidade hidráulica das redes pluviais, rios e o escoamento superficial do sistema de drenagem para uma chuva de 38,4 minutos de duração.

Com o resultado das simulações foram elaborados três mapas: um representando a situação de riscos de perdas materiais (Figura 35), considerando apenas a altura da lâmina d'água; outro a situação de riscos de perdas de vida (Figura 36), considerando o produto da altura da lâmina d'água pela velocidade do escoamento e por último as manchas de inundação (Figura 37), considerando a altura da lâmina d'água que transborda dos rios.

A Tabela 19 apresenta as análises realizadas na área da microbacia MB07 sob influência dos eventos de chuva e os riscos envolvidos.

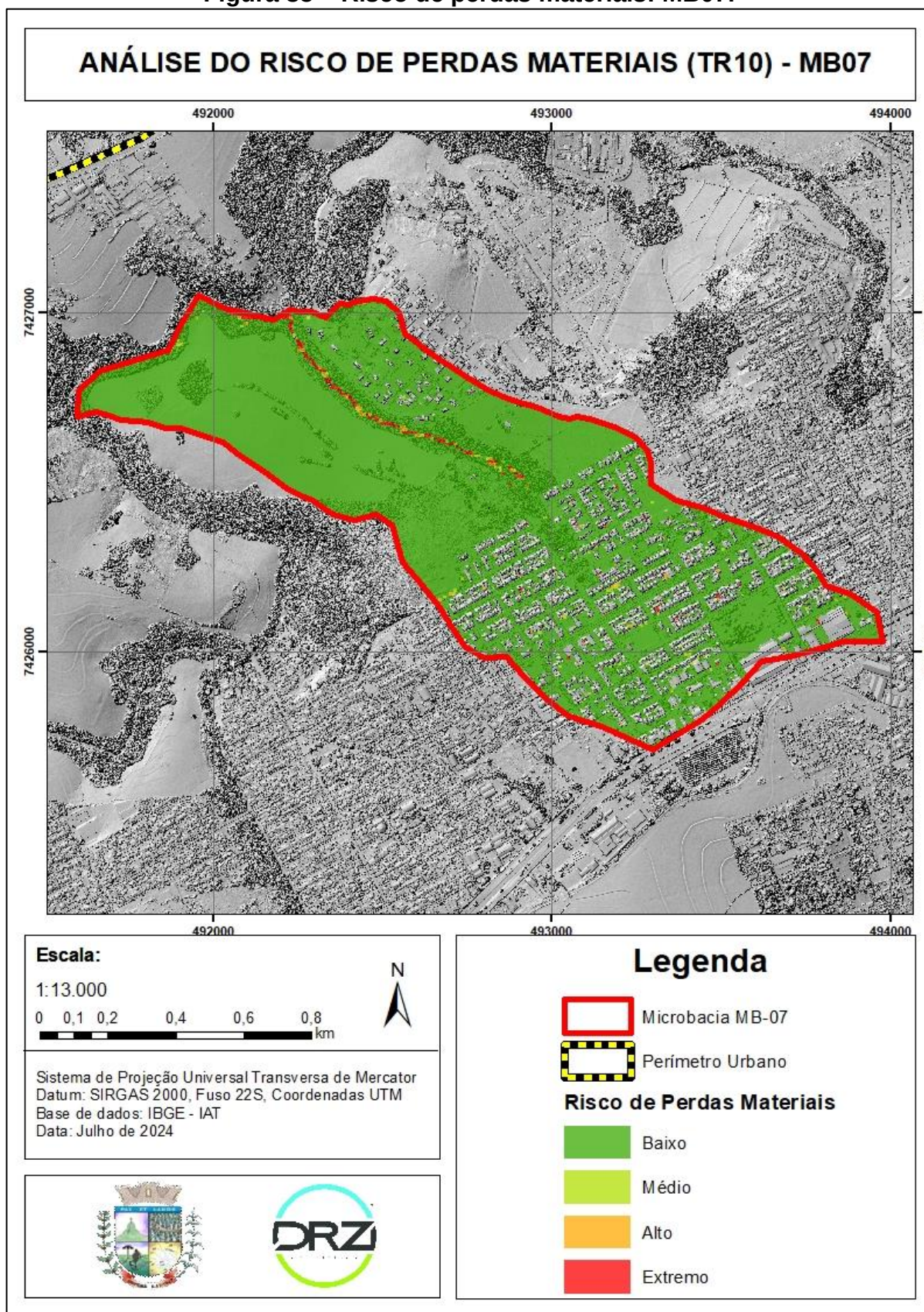
Tabela 19 – Risco de perdas materiais e de vida para MB07

Análises de perdas materiais			
Altura de Lâmina d'Água (m)	Riscos	Porcentagem (%)	
0,00 a 0,15	Baixo	80,56	
0,15 a 0,30	Médio	0,66	
0,30 a 0,50	Alto	0,37	
> 0,50	Extremo	0,77	
Análise de perda de vidas			
Altura x Velocidade (m²/s)	Riscos	Descrição	Porcentagem (%)
< 0,25	Baixo	Precaução	81,24
0,25 a 0,50	Médio	Perigo para alguns	0,37
0,50 a 1,10	Alto	Perigo para maioria	0,32
> 1,10	Extremo	Perigo para todos	0,42

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Na análise de perdas materiais (Figura 35), foi observado que 80,56% da área da microbacia MB07 se encontra com altura de lâmina d'água de até 0,15 m e apenas 0,77% com altura excedendo os 0,50 m, sendo que tal nível possui risco extremo de perdas de móveis e imóveis. Os riscos médio e alto somam aproximadamente 1,03% da área da MB07.

Figura 35 – Risco de perdas materiais: MB07.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



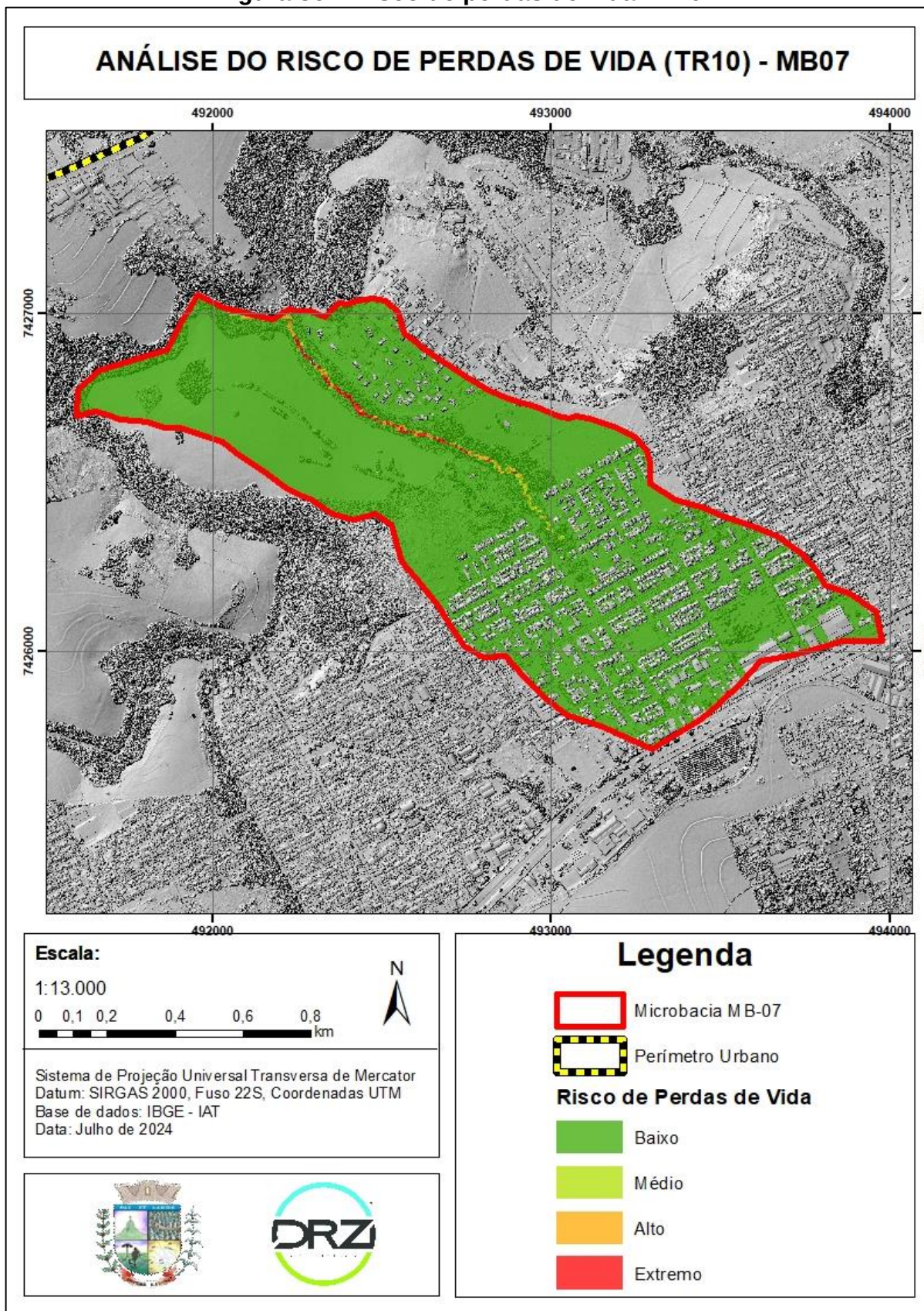
Com relação ao risco de perda de vidas (Figura 36), o risco extremo de alagamento atinge 0,42% da área da microbacia, enquanto 81,24% da área apresenta risco baixo, onde a população deve manter a precaução. O risco médio e alto, somam 0,38% da microbacia devendo manter em alerta em dias de eventos intensos de chuva.

O risco de inundação/alagamento, apresentado na Figura 37, atinge, aproximadamente, 0,12% da área total da microbacia para os TRs de 25 e 50 anos, respectivamente, afetando toda a população residente nessas áreas. Observa-se que os pontos de alagamento se concentram em áreas de ruas e terrenos evidenciando a influência da impermeabilização do solo na ocorrência desses eventos.

Aproximadamente 2,10% e 2,25% (para TRs de 25 e 50 anos respectivamente) da MB07 é atingida pelos eventos naturais de cheias da calha maior do rio, que se encontram recoberta por APP, apresentando a importância da preservação da mata ciliar na retenção de enchentes e inundações.



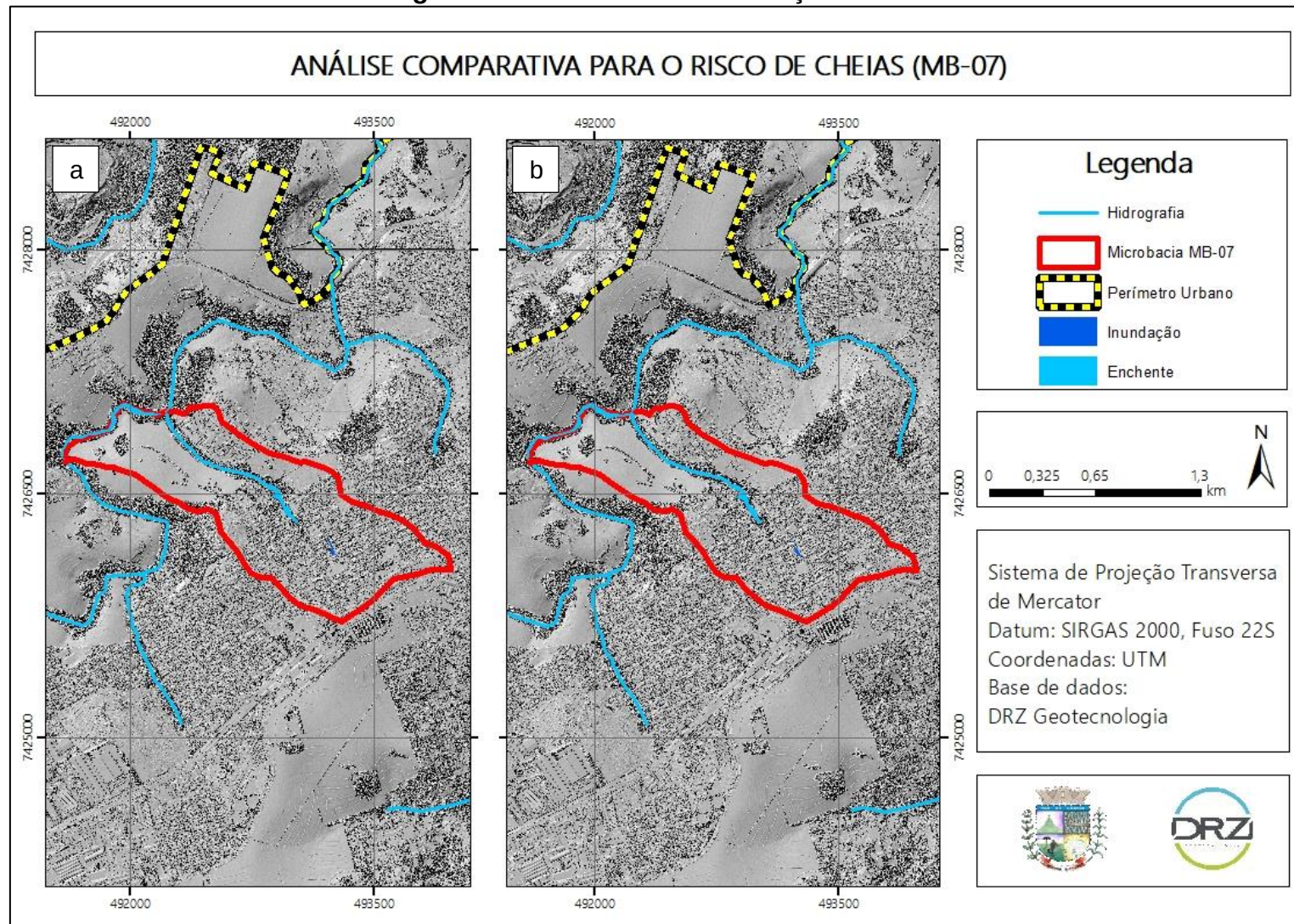
Figura 36 – Risco de perdas de vida: MB07.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



Figura 37 – Manchas de Inundação: MB07.



Legenda: a – para TR 25; b – para TR 50.
Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



5.4.8. CENÁRIO TENDENCIAL MB07

No cenário tendencial da MB07 foi modelada a capacidade hidráulica das redes pluviais, rios e o escoamento superficial do sistema de drenagem para uma chuva de 38,4 minutos de duração.

Com o resultado das simulações foram elaborados três mapas: um representando a situação de riscos de perdas materiais (Figura 35), considerando apenas a altura da lâmina d'água; outro a situação de riscos de perdas de vida (Figura 36), considerando o produto da altura da lâmina d'água pela velocidade do escoamento e por último as manchas de inundação (Figura 37), considerando a altura da lâmina d'água que transborda dos rios.

A Tabela 20 apresenta as análises realizadas na área da microbacia MB07 sob influência dos eventos de chuva e os riscos envolvidos.

Tabela 20 – Risco de perdas materiais e de vida para MB07

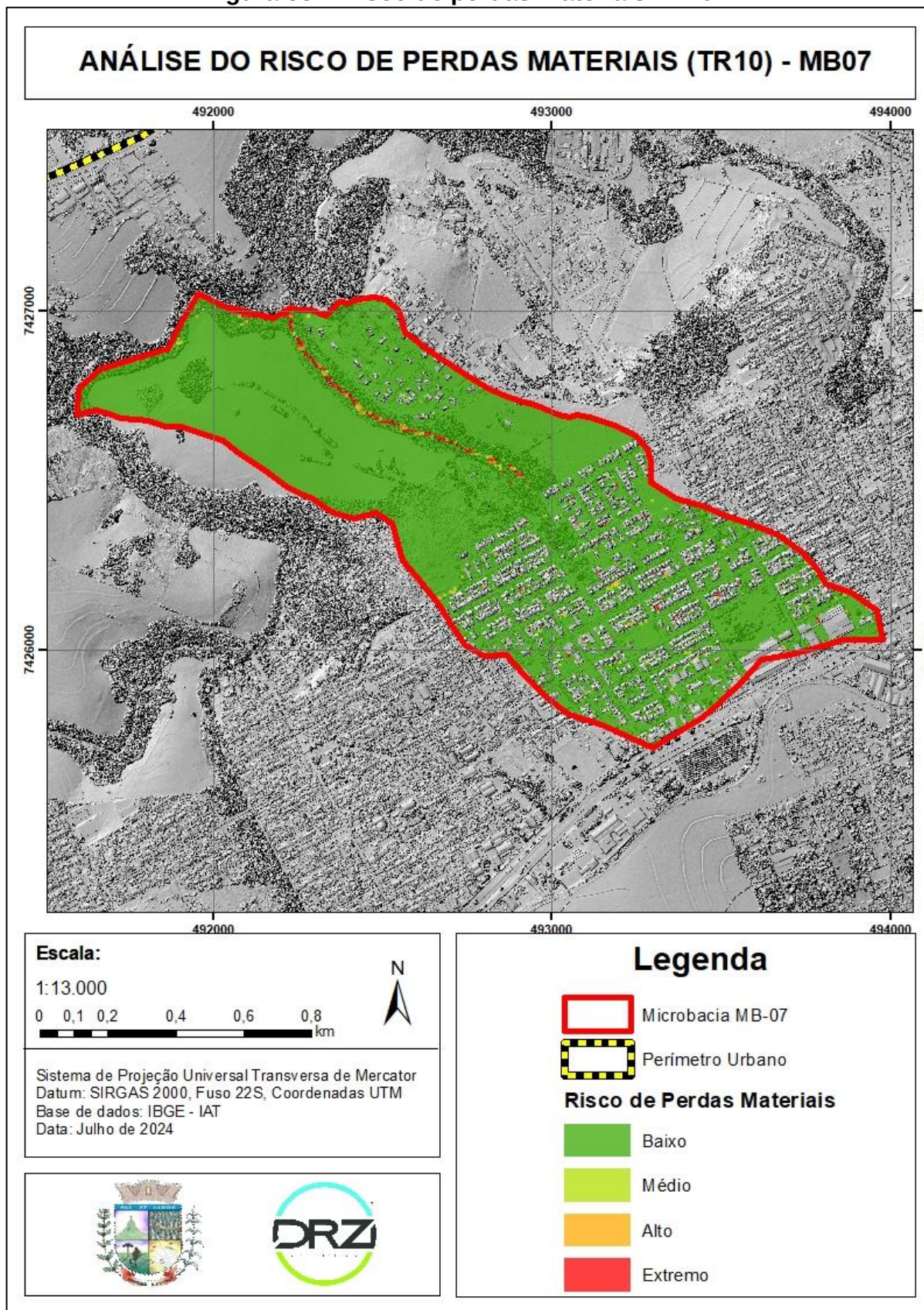
Análises de perdas materiais			
Altura de Lâmina d'Água (m)	Riscos	Porcentagem (%)	
0,00 a 0,15	Baixo	80,56	
0,15 a 0,30	Médio	0,66	
0,30 a 0,50	Alto	0,37	
> 0,50	Extremo	0,77	
Análise de perda de vidas			
Altura x Velocidade (m²/s)	Riscos	Descrição	Porcentagem (%)
< 0,25	Baixo	Precaução	81,24
0,25 a 0,50	Médio	Perigo para alguns	0,37
0,50 a 1,10	Alto	Perigo para maioria	0,32
> 1,10	Extremo	Perigo para todos	0,42

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Na análise de perdas materiais (Figura 38), foi observado que 80,56% da área da microbacia MB07 se encontra com altura de lâmina d'água de até 0,15 m e apenas 0,77% com altura excedendo os 0,50 m, sendo que tal nível possui risco extremo de perdas de móveis e imóveis. Os riscos médio e alto somam aproximadamente 1,03% da área da MB07.



Figura 38 – Risco de perdas materiais: MB07.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

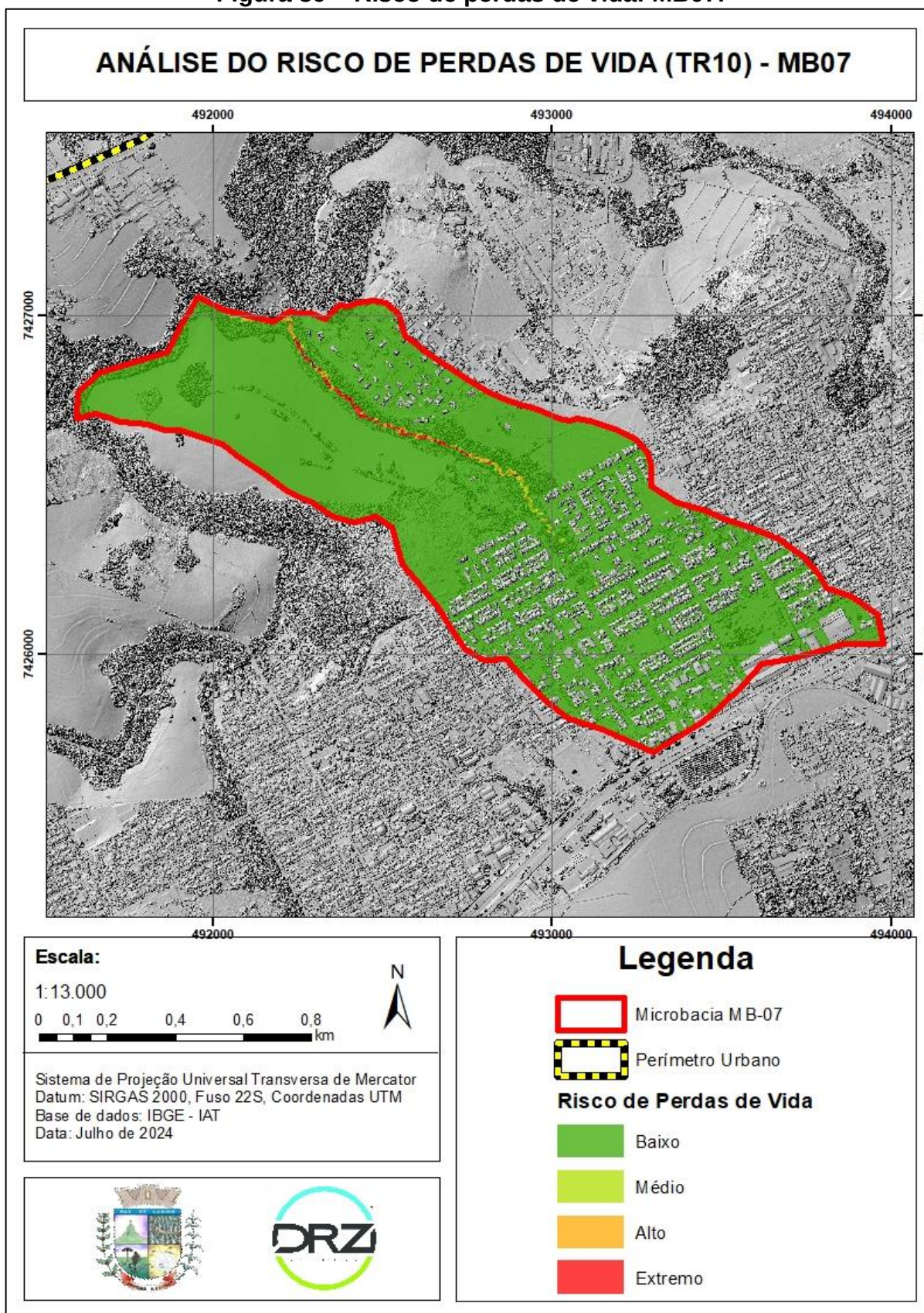


Com relação ao risco de perda de vidas (Figura 39), o risco extremo de alagamento atinge 0,42% da área da microbacia, enquanto 81,24% da área apresenta risco baixo, onde a população deve manter a precaução. O risco médio e alto, somam 0,38% da microbacia devendo manter em alerta em dias de eventos intensos de chuva.

O risco de inundação/alagamento, apresentado na Figura 40, atinge, aproximadamente, 0,12% da área total da microbacia para os TRs de 25 e 50 anos, respectivamente, afetando toda a população residente nessas áreas. Observa-se que os pontos de alagamento se concentram em áreas de ruas e terrenos evidenciando a influência da impermeabilização do solo na ocorrência desses eventos.

Aproximadamente 2,10% e 2,25% (para TRs de 25 e 50 anos respectivamente) da MB07 é atingida pelos eventos naturais de cheias da calha maior do rio, que se encontram recoberta por APP, apresentando a importância da preservação da mata ciliar na retenção de enchentes e inundações.

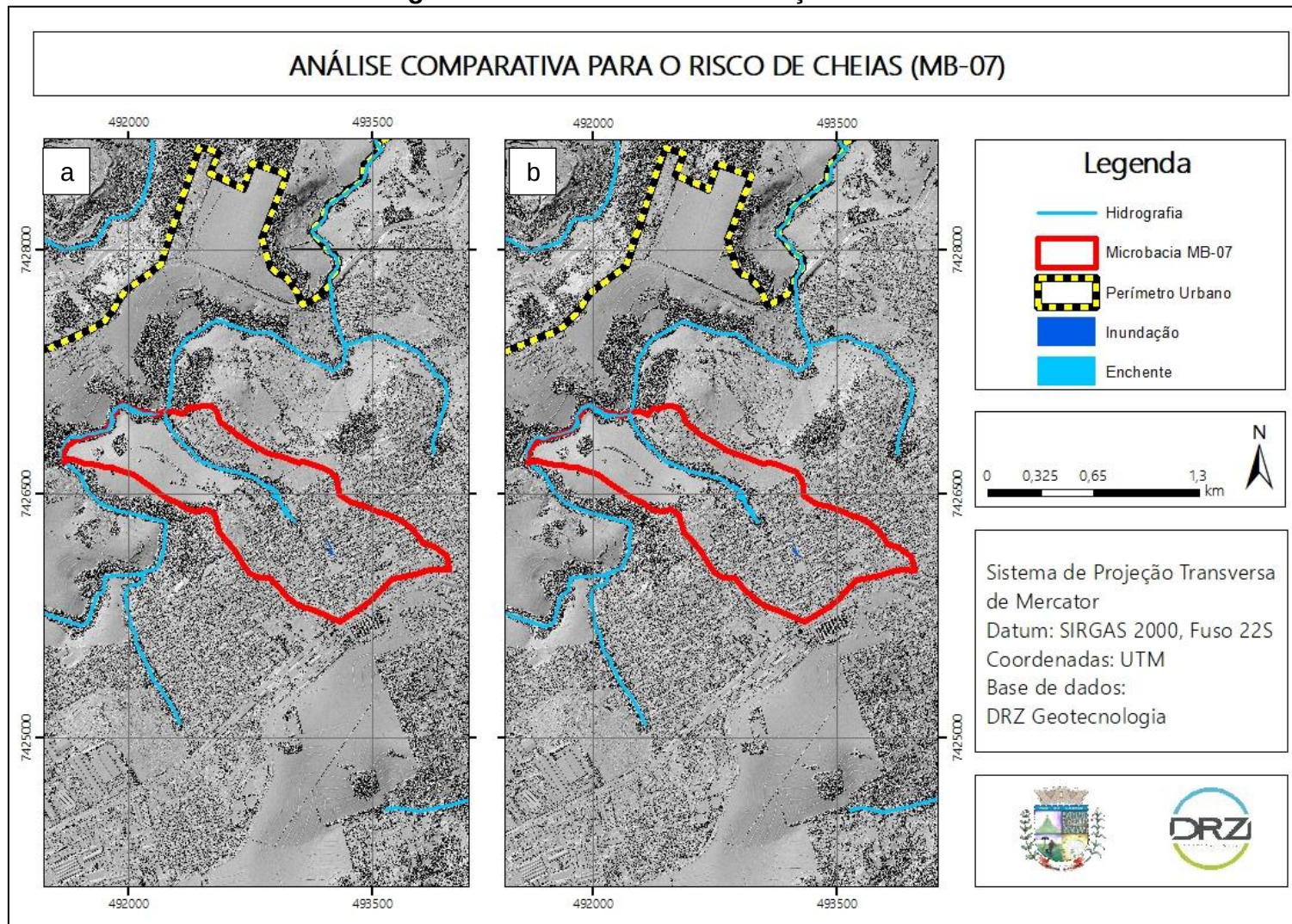
Figura 39 – Risco de perdas de vida: MB07.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



Figura 40 – Manchas de Inundação: MB07.



Legenda: a – para TR 25; b – para TR 50.
Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



5.4.9. CENÁRIO TENDENCIAL MB09

No cenário tendencial da MB09 foi modelada a capacidade hidráulica das redes pluviais, rios e o escoamento superficial do sistema de drenagem para uma chuva de 45,6 minutos de duração.

Com o resultado das simulações foram elaborados três mapas: um representando a situação de riscos de perdas materiais (Figura 41), considerando apenas a altura da lâmina d'água; outro a situação de riscos de perdas de vida (Figura 42), considerando o produto da altura da lâmina d'água pela velocidade do escoamento e por último as manchas de inundação (Figura 43), considerando a altura da lâmina d'água que transborda dos rios.

A Tabela 21 apresenta as análises realizadas na área da microbacia MB09 sob influência dos eventos de chuva e os riscos envolvidos.

Tabela 21 – Risco de perdas materiais e de vida para MB09

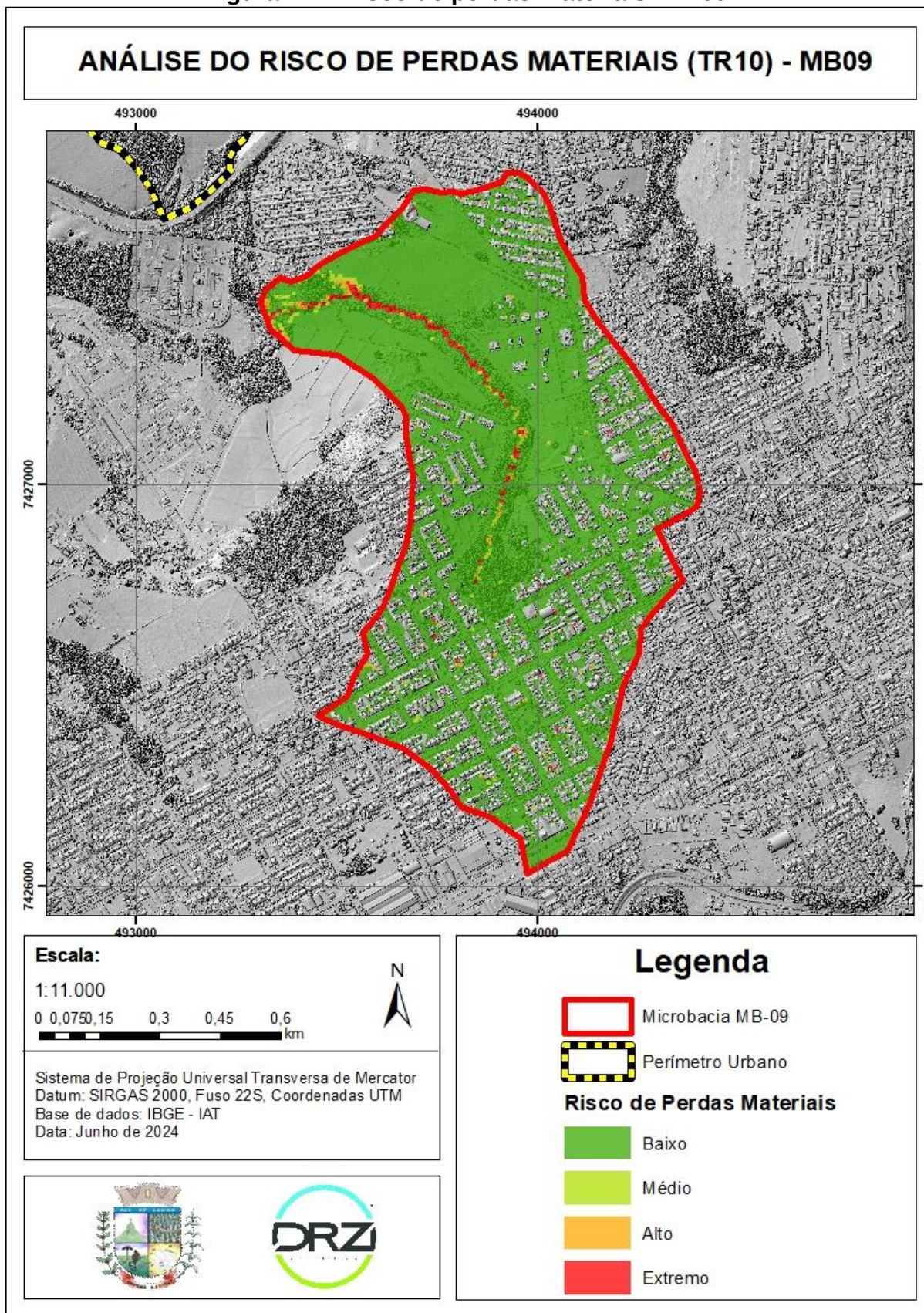
Análises de perdas materiais			
Altura de Lâmina d'Água (m)	Riscos	Porcentagem (%)	
0,00 a 0,15	Baixo	70,40	
0,15 a 0,30	Médio	1,35	
0,30 a 0,50	Alto	0,56	
> 0,50	Extremo	1,20	
Análise de perda de vidas			
Altura x Velocidade (m²/s)	Riscos	Descrição	Porcentagem (%)
< 0,25	Baixo	Precaução	71,20
0,25 a 0,50	Médio	Perigo para alguns	0,52
0,50 a 1,10	Alto	Perigo para maioria	0,76
> 1,10	Extremo	Perigo para todos	1,10

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Na análise de perdas materiais (Figura 41), foi constatado que 70,40% da área da microbacia MB09 se encontra com altura de lâmina d'água de até 0,15 m e 1,20% com altura excedendo os 0,50 m, sendo que tal nível possui risco extremo de perdas de móveis e imóveis. Os riscos médio e alto somam aproximadamente 1,91% da área da MB09.



Figura 41 – Risco de perdas materiais: MB09.



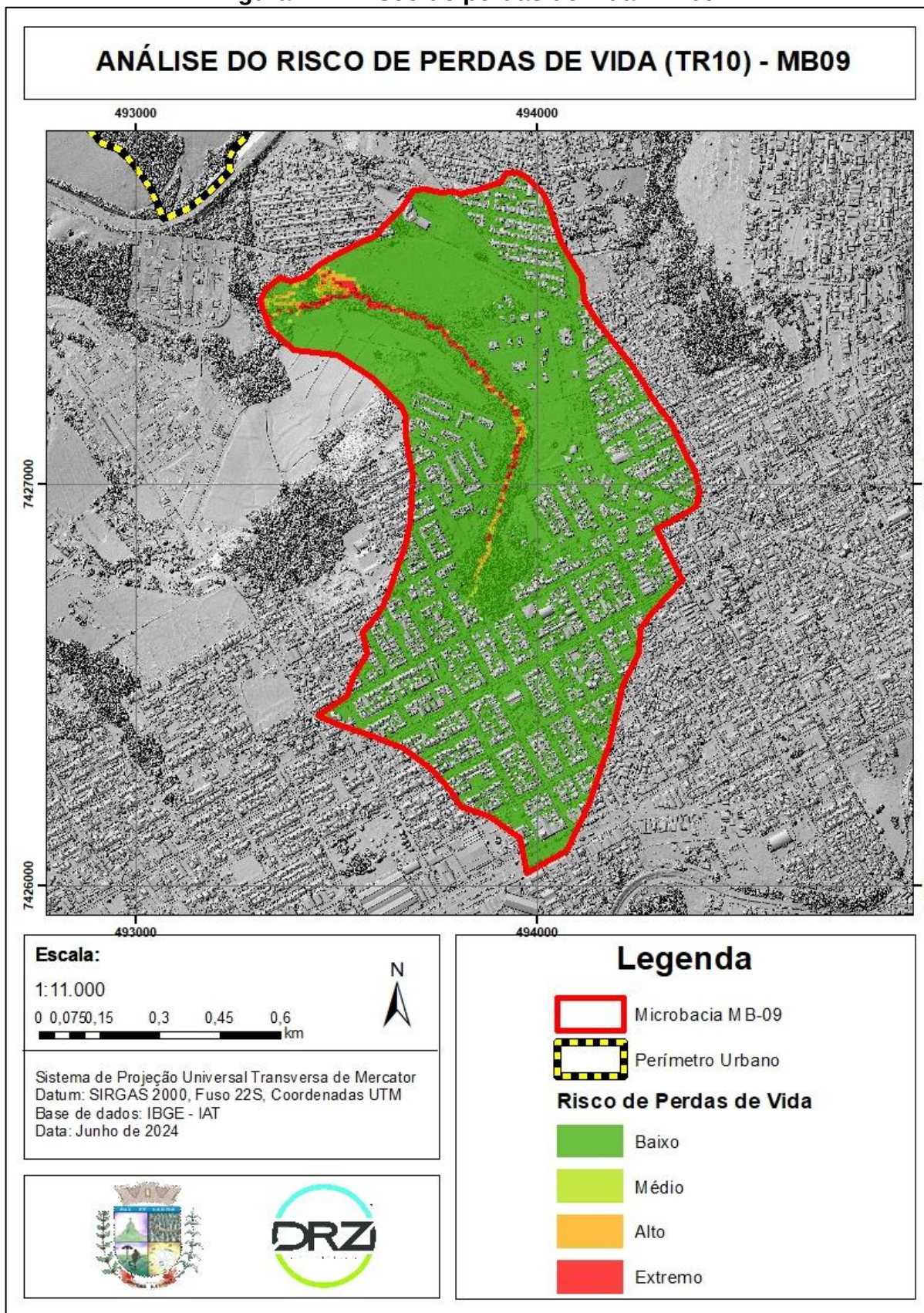
Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



Com relação ao risco de perda de vidas (Figura 42), o risco extremo de alagamento atinge 1,10% da área da microbacia, enquanto 71,20% da área apresenta risco baixo, onde a população deve manter a precaução. O risco médio e alto, somam 1,27% da microbacia devendo manter em alerta em dias de eventos intensos de chuva.

Conforme apresentado na Figura 43, a microbacia MB09 não apresenta riscos de inundação/alagamentos na área urbana. Eventos naturais de cheia da calha maior do rio (para TR de 25 e 50 anos) ocorrem dentro da APP, apontando a importância da preservação da mata ciliar na retenção de enchentes e inundações.

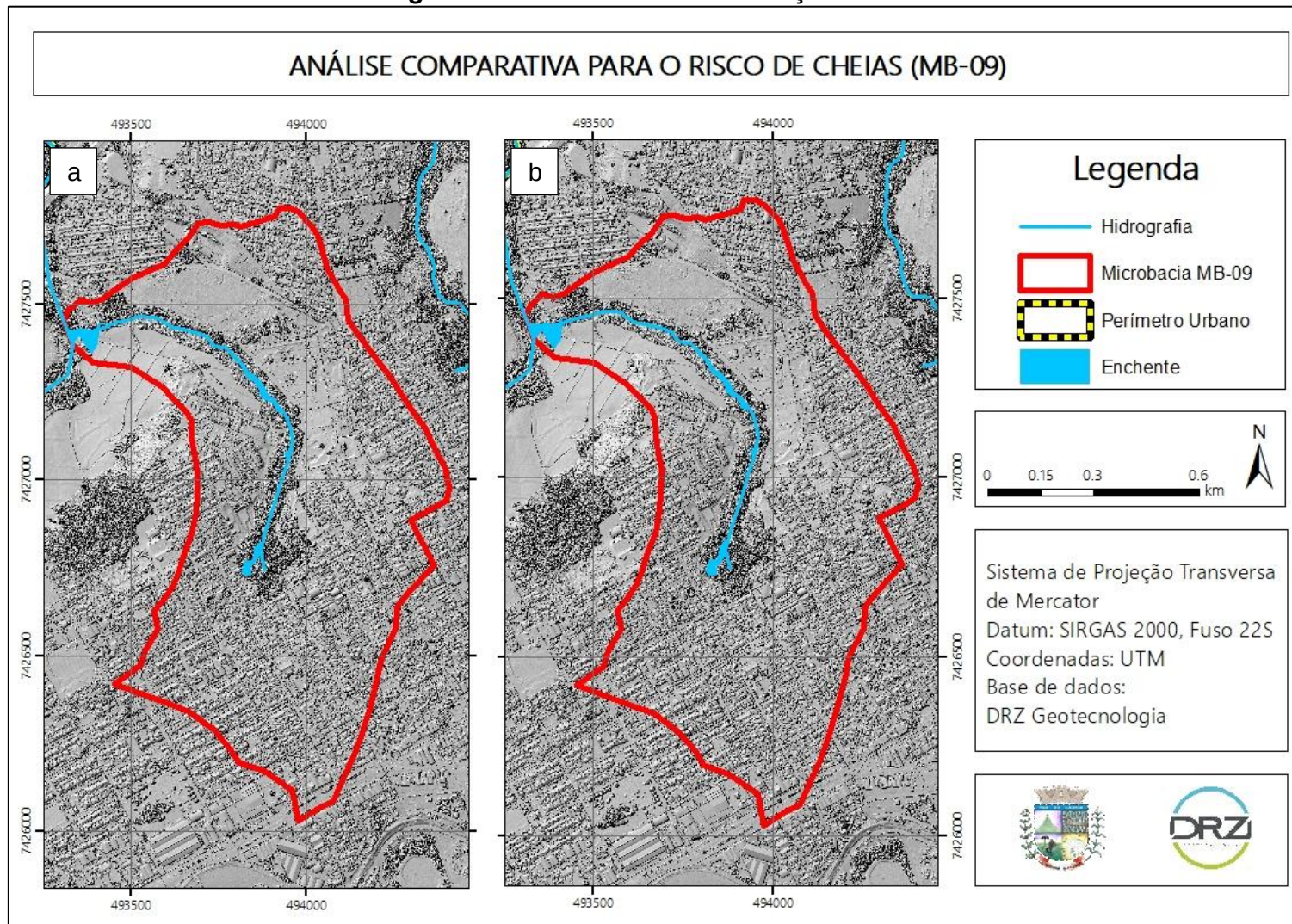
Figura 42 – Risco de perdas de vida: MB09.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



Figura 43 – Manchas de Inundação: MB09.



Legenda: a – para TR 25; b – para TR 50.
Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



5.4.10. CENÁRIO TENDENCIAL MB10

No cenário tendencial da MB10 foi modelada a capacidade hidráulica das redes pluviais, rios e o escoamento superficial do sistema de drenagem para uma chuva de 61,2 minutos de duração.

Com o resultado das simulações foram elaborados três mapas: um representando a situação de riscos de perdas materiais (Figura 44), considerando apenas a altura da lâmina d'água; outro a situação de riscos de perdas de vida (Figura 45), considerando o produto da altura da lâmina d'água pela velocidade do escoamento e por último as manchas de inundação (Figura 46), considerando a altura da lâmina d'água que transborda dos rios.

A Tabela 22 apresenta as análises realizadas na área da microbacia MB10 sob influência dos eventos de chuva e os riscos envolvidos.

Tabela 22 – Risco de perdas materiais e de vida para MB10

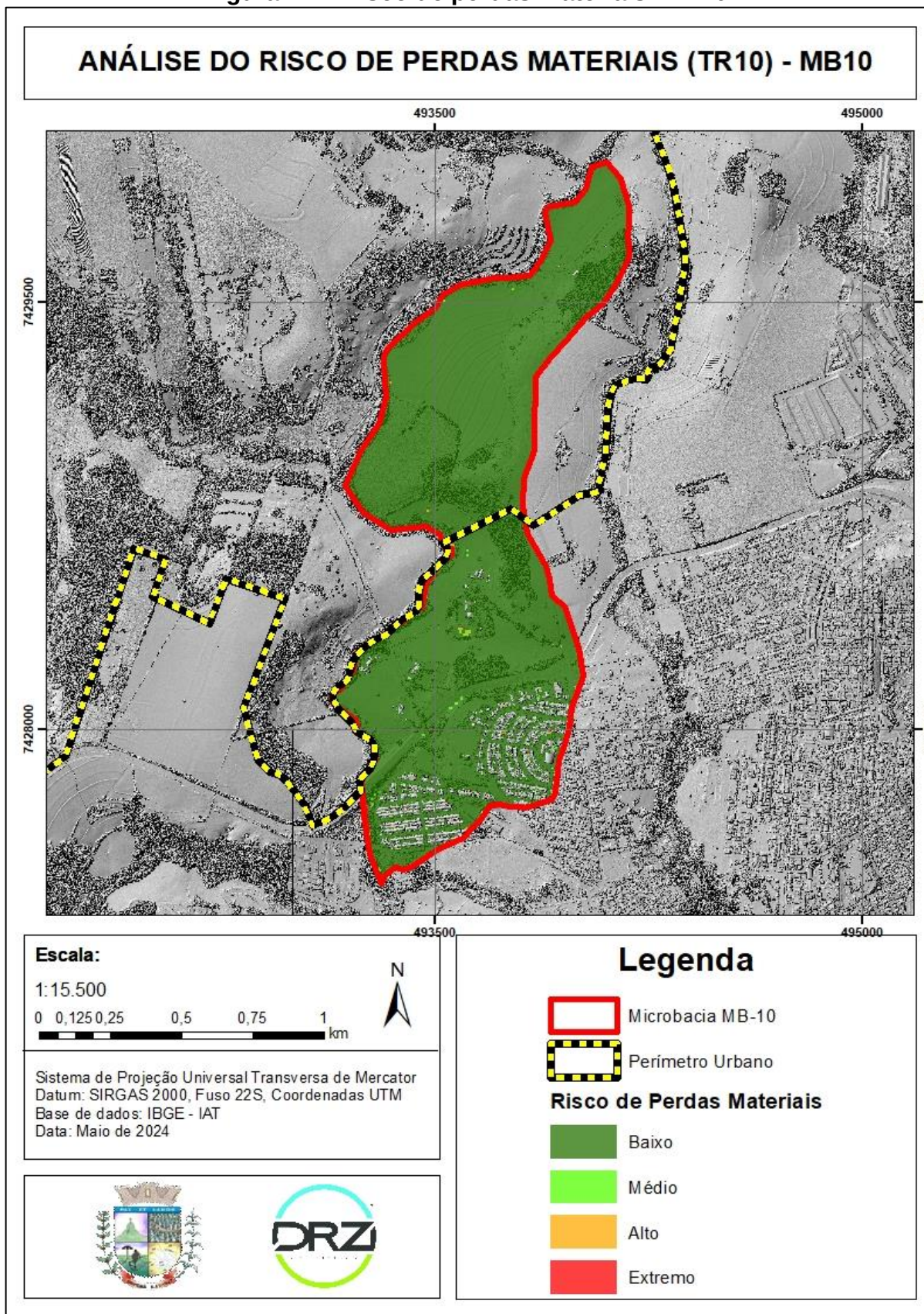
Análises de perdas materiais			
Altura de Lâmina d'Água (m)	Riscos	Porcentagem (%)	
0,00 a 0,15	Baixo	92,44	
0,15 a 0,30	Médio	0,49	
0,30 a 0,50	Alto	0,28	
> 0,50	Extremo	0,51	
Análise de perda de vidas			
Altura x Velocidade (m²/s)	Riscos	Descrição	Porcentagem (%)
< 0,25	Baixo	Precaução	93,50
0,25 a 0,50	Médio	Perigo para alguns	0,15
0,50 a 1,10	Alto	Perigo para maioria	0,09
> 1,10	Extremo	Perigo para todos	0,01

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Na análise de perdas materiais (Figura 44), foi constatado que 92,44% da área da microbacia MB10 se encontra com altura de lâmina d'água de até 0,15 m e apenas 0,5% com altura excedendo os 0,50 m, sendo que tal nível possui risco extremo de perdas de móveis e imóveis. Os riscos médio e alto somam aproximadamente 0,77% da área da MB10.



Figura 44 – Risco de perdas materiais: MB10.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

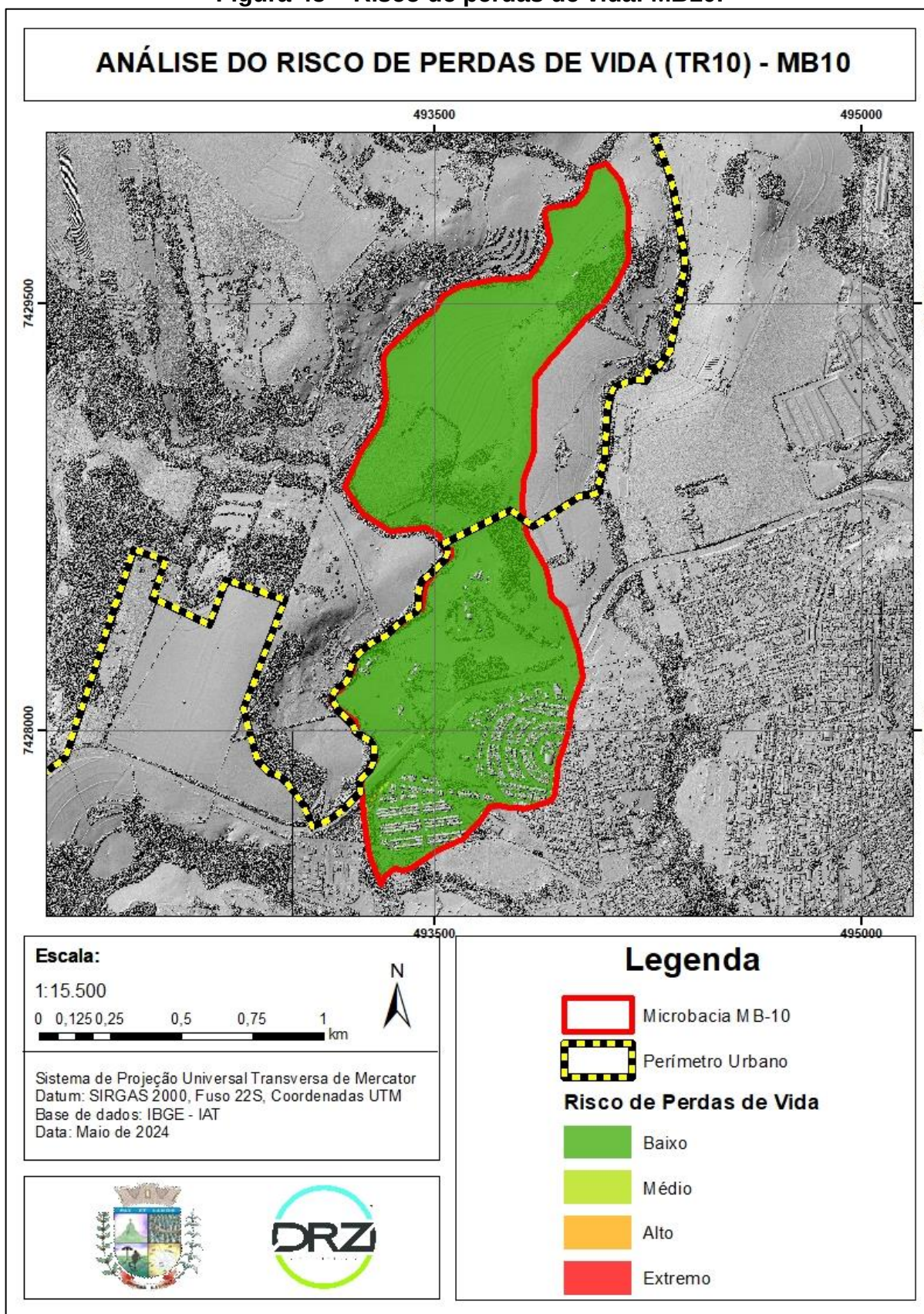


Com relação ao risco de perda de vidas (Figura 45), o risco extremo de alagamento atinge 0,01% da área da microbacia, enquanto 93,50% da área apresenta risco baixo, onde a população deve manter a precaução. O risco médio e alto, somam 0,23% da microbacia devendo manter em alerta em dias de eventos intensos de chuva.

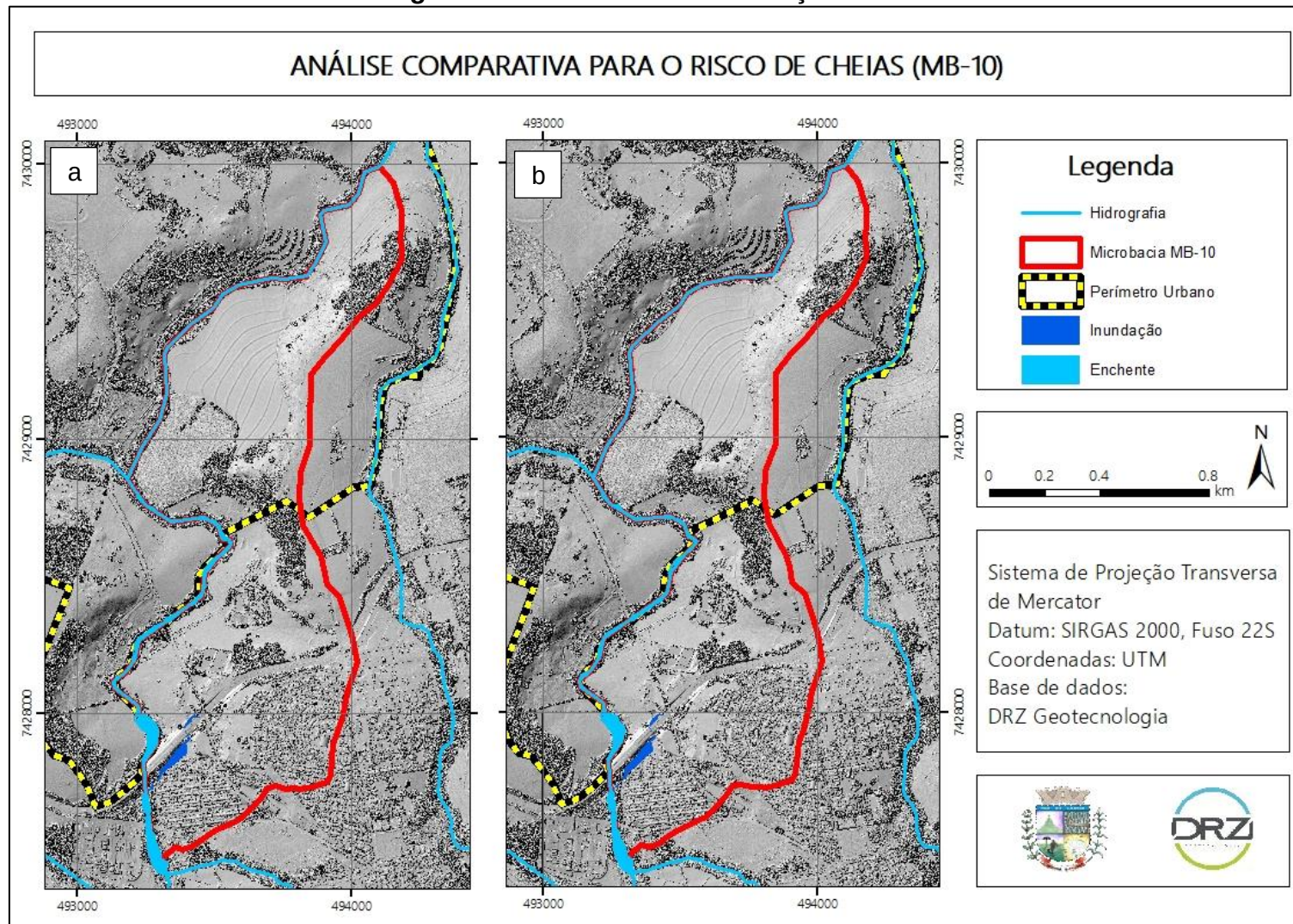
O risco de inundação/alagamento, apresentado na Figura 46, atinge 0,43% da área total da microbacia para os TRs de 25 e 50 anos, respectivamente, afetando toda a população residente nessas áreas. Observa-se que o ponto de inundação ocorre em uma área onde há estrangulamento do curso pela existência de uma rodovia. Aproximadamente 3,60% e 3,70% (para TRs de 25 e 50 anos respectivamente) da MB10 é atingida pelos eventos naturais de cheias da calha maior do rio que se encontra recoberta por mata ciliar, apontando a importância da APP no controle de enchentes e inundações.



Figura 45 – Risco de perdas de vida: MB10.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

**Figura 46 – Manchas de Inundação: MB10.**

Legenda: a – para TR 25; b – para TR 50.
Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



5.4.11. CENÁRIO TENDENCIAL MB11

No cenário tendencial da MB11 foi modelada a capacidade hidráulica das redes pluviais, rios e o escoamento superficial do sistema de drenagem para uma chuva de 150 minutos de duração.

Com o resultado das simulações foram elaborados três mapas: um representando a situação de riscos de perdas materiais (Figura 47), considerando apenas a altura da lâmina d'água; outro a situação de riscos de perdas de vida (Figura 48), considerando o produto da altura da lâmina d'água pela velocidade do escoamento e por último as manchas de inundação (Figura 49), considerando a altura da lâmina d'água que transborda dos rios.

A Tabela 23 apresenta as análises realizadas na área da microbacia MB13 sob influência dos eventos de chuva e os riscos envolvidos.

Tabela 23 – Risco de perdas materiais e de vida para MB13

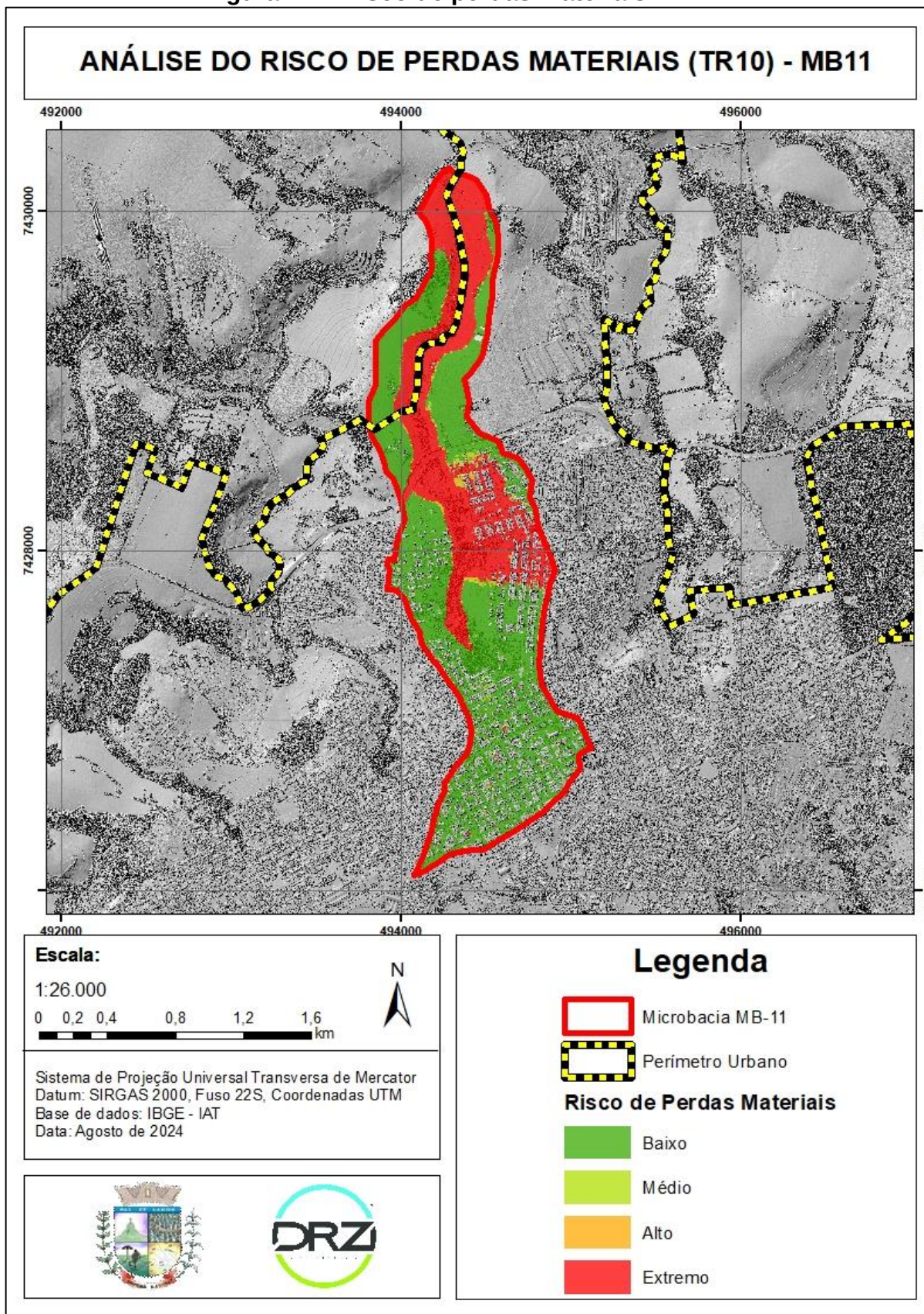
Análises de perdas materiais			
Altura de Lâmina d'Água (m)	Riscos	Porcentagem (%)	
0,00 a 0,15	Baixo	50,08	
0,15 a 0,30	Médio	1,06	
0,30 a 0,50	Alto	0,97	
> 0,50	Extremo	30,84	
Análise de perda de vidas			
Altura x Velocidade (m²/s)	Riscos	Descrição	Porcentagem (%)
< 0,25	Baixo	Precaução	50,52
0,25 a 0,50	Médio	Perigo para alguns	0,82
0,50 a 1,10	Alto	Perigo para maioria	0,89
> 1,10	Extremo	Perigo para todos	30,72

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Na análise de perdas materiais (Figura 47) foi constatado que 50,08% da área da microbacia MB11 se encontra com altura de lâmina d'água de até 0,15 m e 30,84% com altura excedendo os 0,50 m, sendo que tal nível possui risco extremo de perdas de móveis e imóveis. Os riscos médio e alto somam aproximadamente 2,03% da área da MB11.



Figura 47 – Risco de perdas materiais: MB11.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



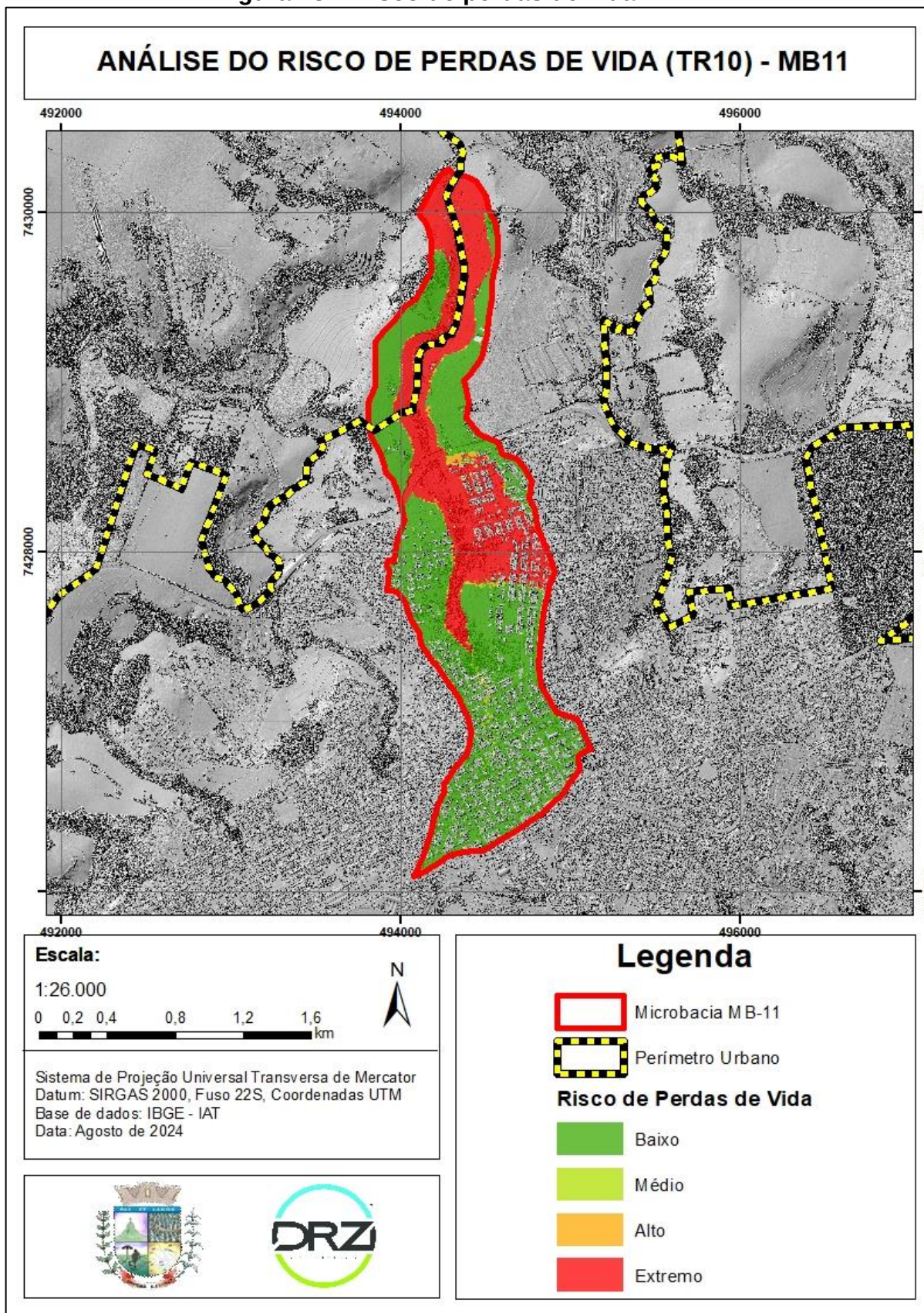
Com relação ao risco de perda de vidas (Figura 48), o risco extremo de alagamento atinge 30,72% da área da microbacia, enquanto 50,52% da área apresenta risco baixo, onde a população deve manter a precaução. O risco médio e alto, somam 1,71% da microbacia devendo manter em alerta em dias de eventos intensos de chuva.

O risco de inundação/alagamento apresentado na Figura 49, atinge aproximadamente 0,48% e 0,44% da área total da microbacia para ambos os TRs de 25 e 50 anos, afetando toda a população residente nessas áreas.

Aproximadamente 6,53% e 6,37% da MB011 (TRs 25 e 50 anos, respectivamente) é atingida pelos eventos naturais de cheias da calha maior do rio, recobertas pela APP, evidenciando a importância da preservação da mata ciliar na retenção de enchentes e inundações.



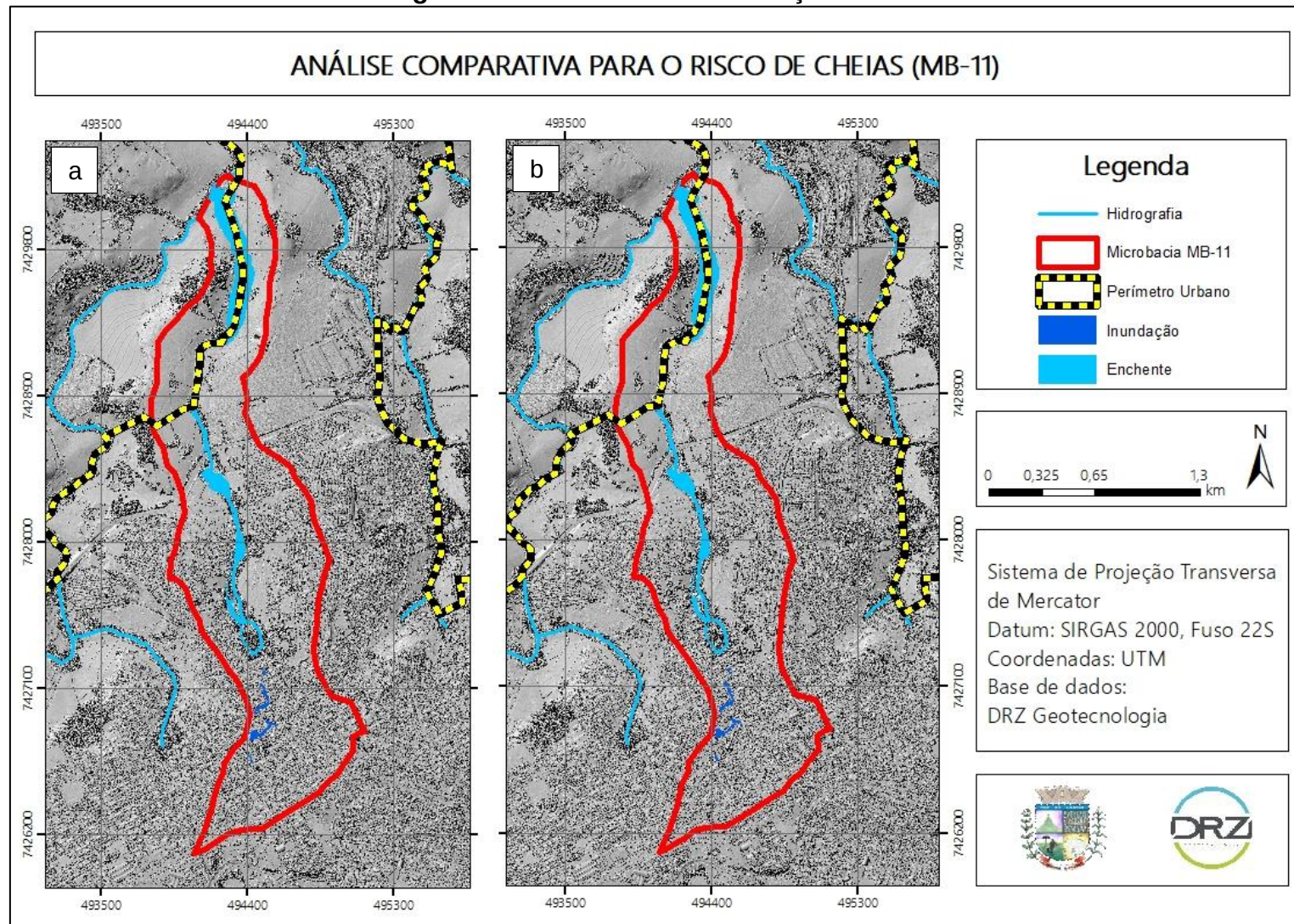
Figura 48 – Risco de perdas de vida: MB11.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



Figura 49 – Manchas de Inundação: MB11.



Legenda: a – para TR 25; b – para TR 50.
Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



5.4.12. CENÁRIO TENDENCIAL MB12

No cenário tendencial da MB12 foi modelada a capacidade hidráulica das redes pluviais, rios e o escoamento superficial do sistema de drenagem para uma chuva de 82,8 minutos de duração.

Com o resultado das simulações foram elaborados três mapas: um representando a situação de riscos de perdas materiais (Figura 50), considerando apenas a altura da lâmina d'água; outro a situação de riscos de perdas de vida (Figura 51), considerando o produto da altura da lâmina d'água pela velocidade do escoamento e por último as manchas de inundação (Figura 52), considerando a altura da lâmina d'água que transborda dos rios.

A Tabela 24 apresenta as análises realizadas na área da microbacia MB12 sob influência dos eventos de chuva e os riscos envolvidos.

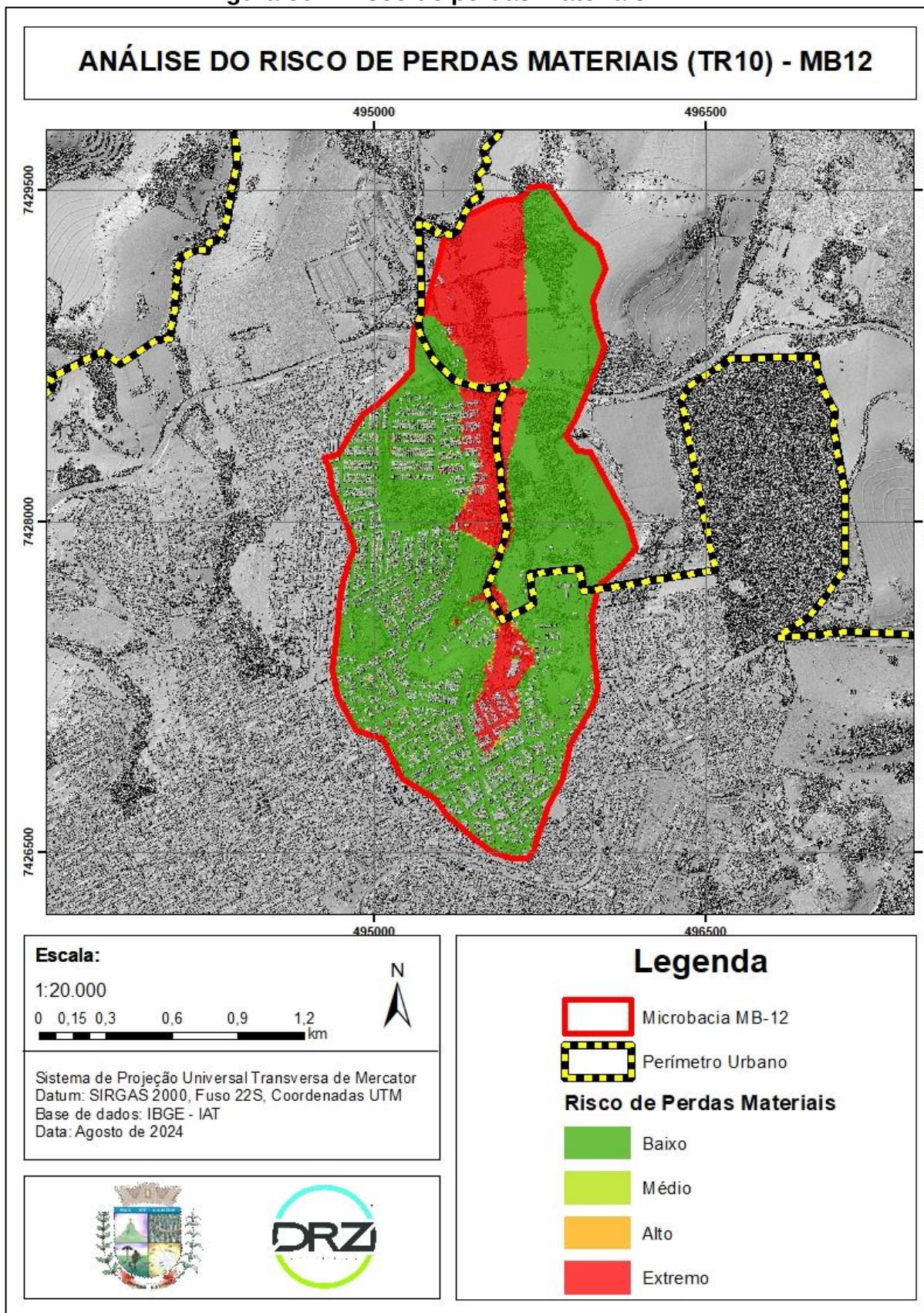
Tabela 24 – Risco de perdas materiais e de vida para MB12

Análises de perdas materiais			
Altura de Lâmina d'Água (m)	Riscos	Porcentagem (%)	
0,00 a 0,15	Baixo	63,32	
0,15 a 0,30	Médio	0,56	
0,30 a 0,50	Alto	0,53	
> 0,50	Extremo	18,72	
Análise de perda de vidas			
Altura x Velocidade (m²/s)	Riscos	Descrição	Porcentagem (%)
< 0,25	Baixo	Precaução	63,97
0,25 a 0,50	Médio	Perigo para alguns	0,36
0,50 a 1,10	Alto	Perigo para maioria	0,47
> 1,10	Extremo	Perigo para todos	18,28

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Na análise de perdas materiais (Figura 50), foi constatado que 63,32% da área da microbacia MB12 se encontra com altura de lâmina d'água de até 0,15 m e 18,72% com altura excedendo os 0,50 m, sendo que tal nível possui risco extremo de perdas de móveis e imóveis. Os riscos médio e alto somam aproximadamente 1,09% da área da MB12.

Figura 50 – Risco de perdas materiais: MB12.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



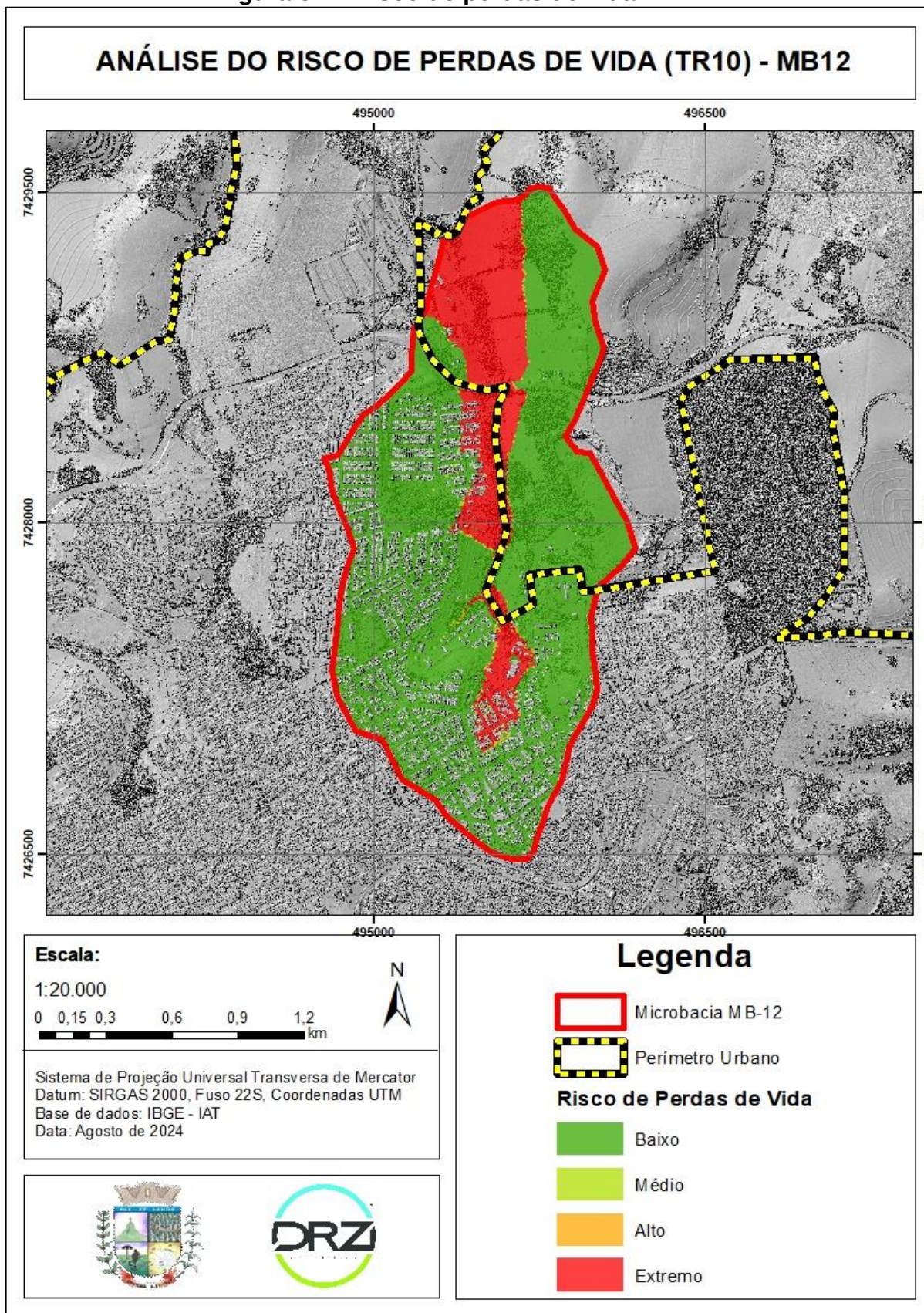
Com relação ao risco de perda de vidas (Figura 51), o risco extremo de alagamento atinge 18,28% da área da microbacia, enquanto 63,97% da área apresenta risco baixo, onde a população deve manter a precaução. O risco médio e alto, somam 0,83% da microbacia devendo manter em alerta em dias de eventos intensos de chuva.

O risco de inundação/alagamento apresentado na Figura 52, atinge aproximadamente 0,35% da área total da microbacia para ambos os TRs de 25 e 50 anos, afetando toda a população residente nessas áreas.

Aproximadamente, 1,64% e 1,61% para os TRs de 25 e 50 anos, respectivamente, da MB012 é atingida pelos eventos naturais de cheias da calha maior do rio, recobertas pela APP, evidenciando a importância da preservação da mata ciliar na retenção de enchentes e inundações.



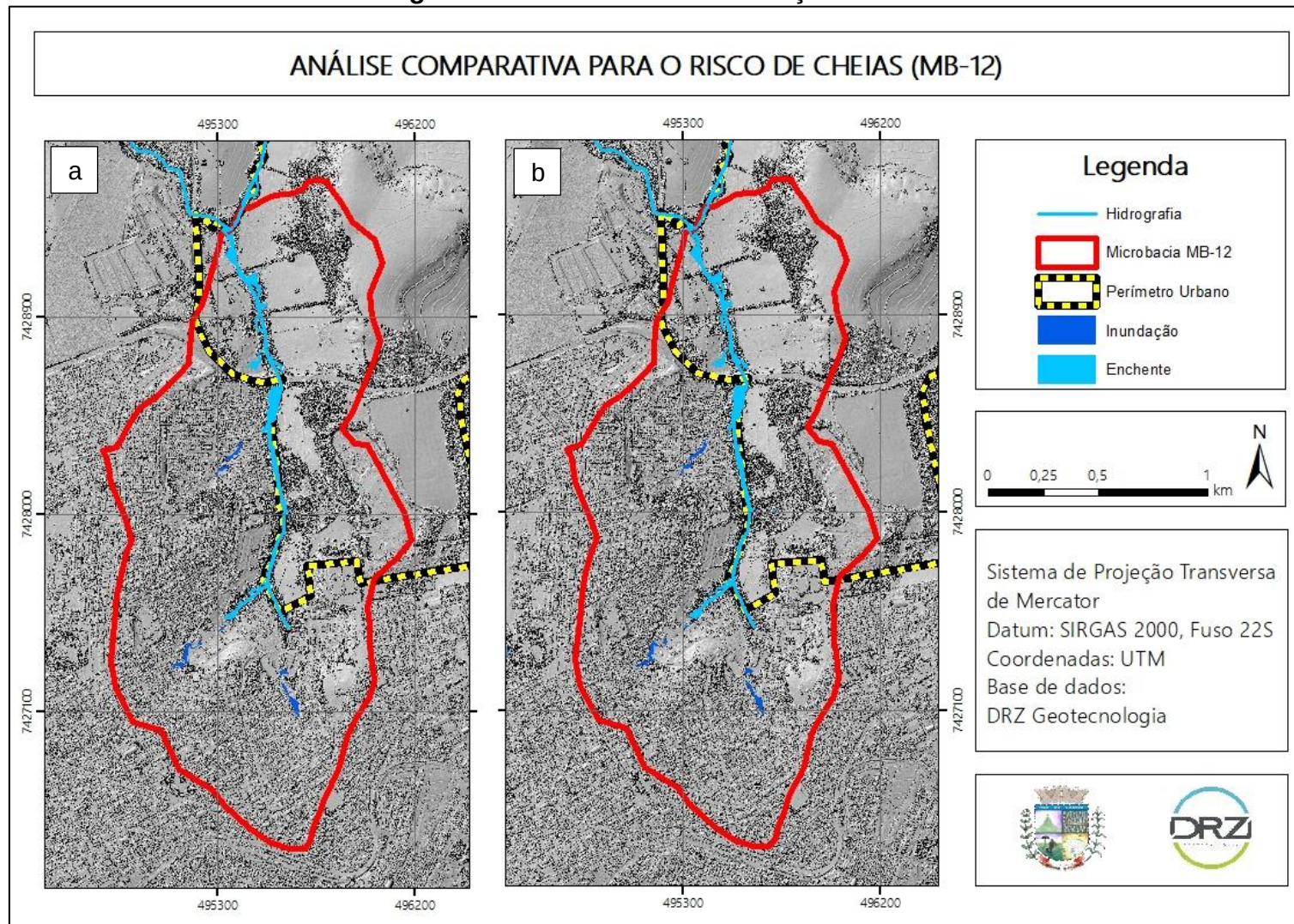
Figura 51 – Risco de perdas de vida: MB12.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



Figura 52 – Manchas de Inundação: MB12.



Legenda: a – para TR 25; b – para TR 50.
Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



5.4.13. CENÁRIO TENDENCIAL MB13

No cenário tendencial da MB13 foi modelada a capacidade hidráulica das redes pluviais, rios e o escoamento superficial do sistema de drenagem para uma chuva de 82,8 minutos de duração.

Com o resultado das simulações foram elaborados três mapas: um representando a situação de riscos de perdas materiais (Figura 53), considerando apenas a altura da lâmina d'água; outro a situação de riscos de perdas de vida (Figura 54), considerando o produto da altura da lâmina d'água pela velocidade do escoamento e por último as manchas de inundação (Figura 55), considerando a altura da lâmina d'água que transborda dos rios.

A Tabela 25 apresenta as análises realizadas na área da microbacia MB13 sob influência dos eventos de chuva e os riscos envolvidos.

Tabela 25 – Risco de perdas materiais e de vida para MB13

Análises de perdas materiais		
Altura de Lâmina d'Água (m)	Riscos	Porcentagem (%)
0,00 a 0,15	Baixo	92,03
0,15 a 0,30	Médio	0,73
0,30 a 0,50	Alto	0,37
> 0,50	Extremo	0,32

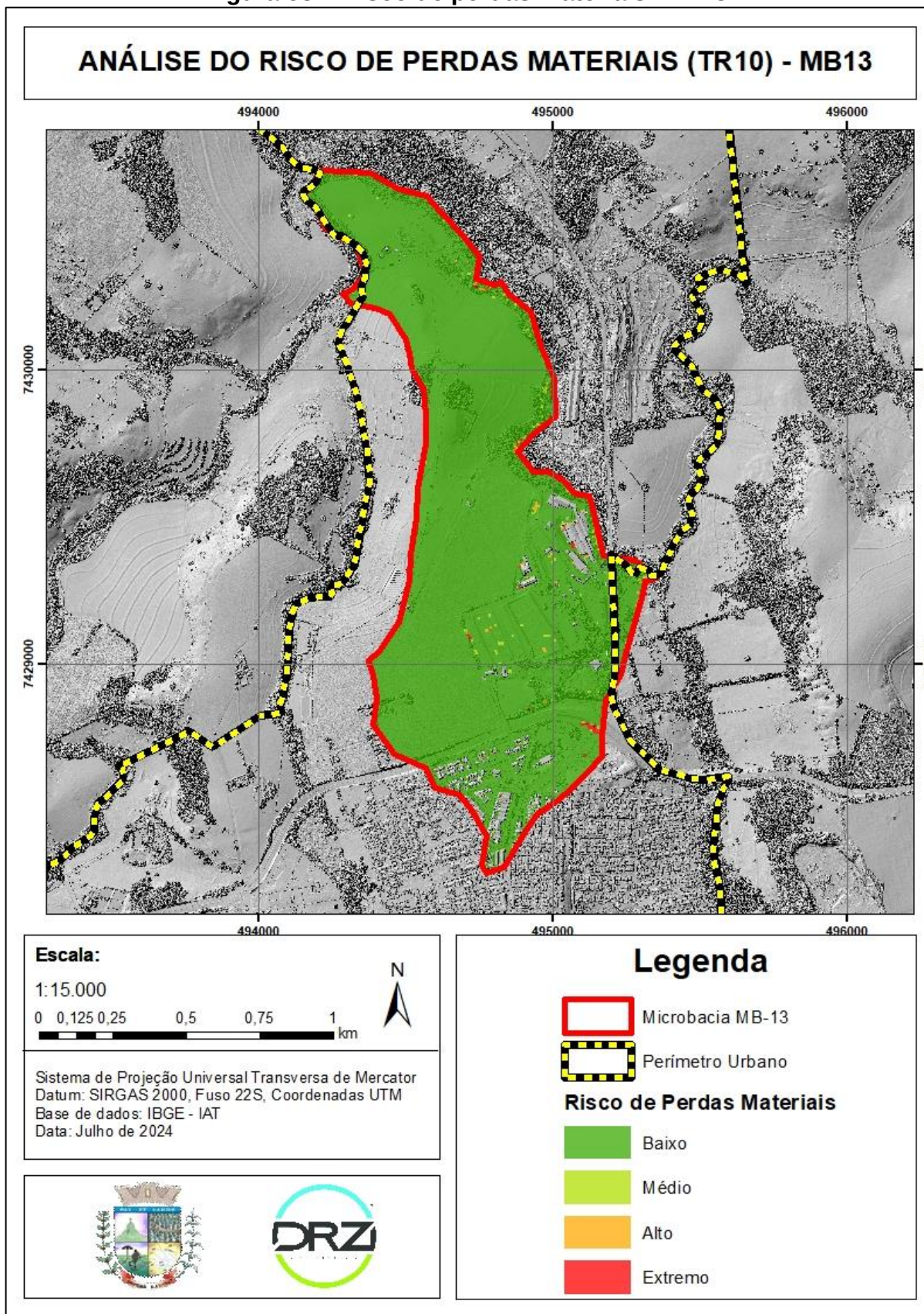
Análise de perda de vidas			
Altura x Velocidade (m²/s)	Riscos	Descrição	Porcentagem (%)
< 0,25	Baixo	Precaução	93,20
0,25 a 0,50	Médio	Perigo para alguns	0,18
0,50 a 1,10	Alto	Perigo para maioria	0,03
> 1,10	Extremo	Perigo para todos	0,02

Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.

Na análise de perdas materiais (Figura 53) foi constatado que 92,03% da área da microbacia MB13 se encontra com altura de lâmina d'água de até 0,15 m e apenas 0,32% com altura excedendo os 0,50 m, sendo que tal nível possui risco extremo de perdas de móveis e imóveis. Os riscos médio e alto somam aproximadamente 1,10% da área da MB13.



Figura 53 – Risco de perdas materiais: MB13.



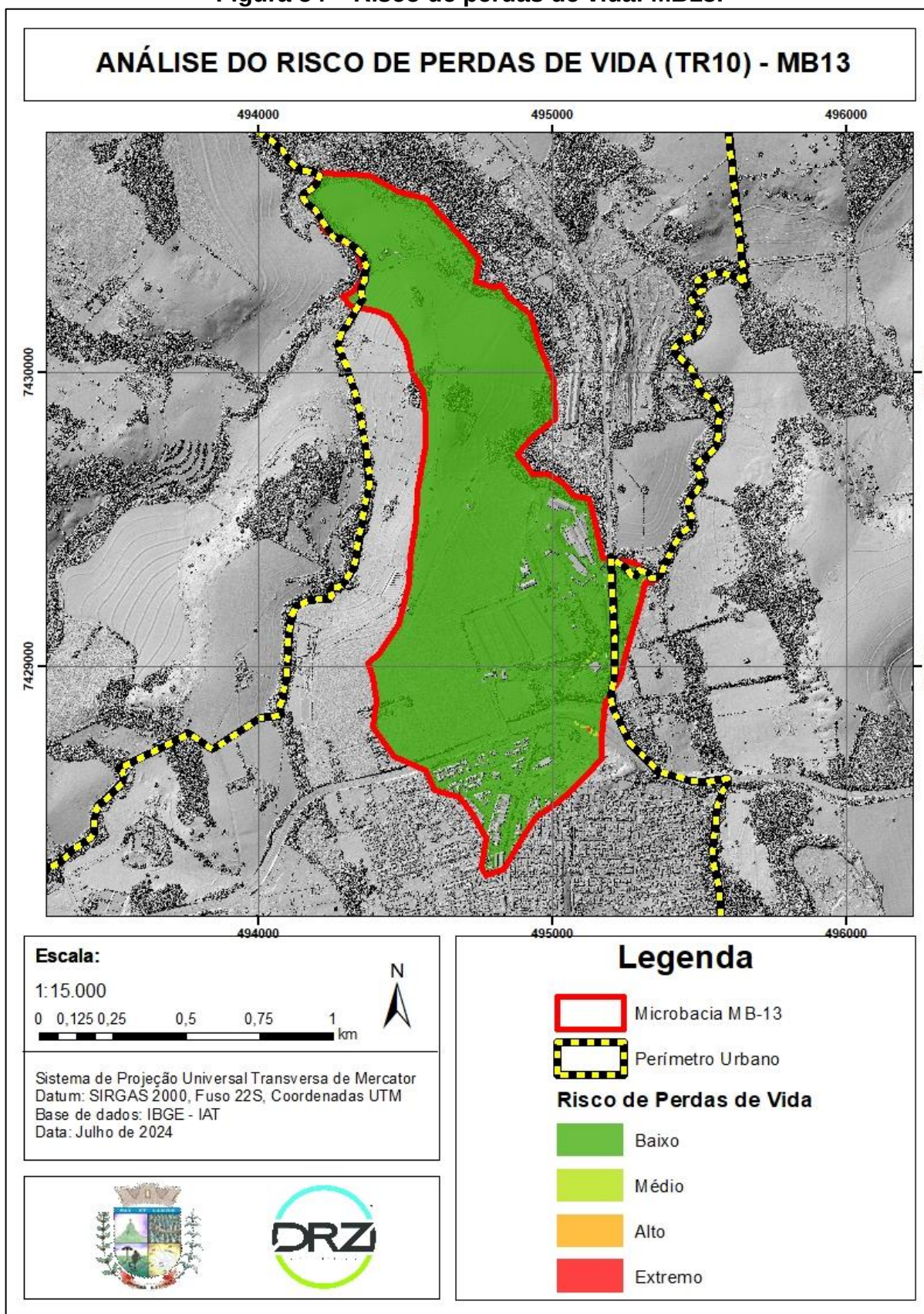
Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



Com relação ao risco de perda de vidas (Figura 54), o risco extremo de alagamento atinge 0,02% da área da microbacia, enquanto 93,20% da área apresenta risco baixo, onde a população deve manter a precaução. O risco médio e alto, somam 0,20% da microbacia devendo manter em alerta em dias de eventos intensos de chuva.

Conforme apresentado na Figura 55, a microbacia MB13 não apresenta riscos de inundação/alagamentos na área urbana. Eventos naturais de cheia da calha maior do rio (para TR de 25 e 50 anos) ocorrem dentro da APP, apontando a importância da preservação da mata ciliar na retenção de enchentes e inundações.

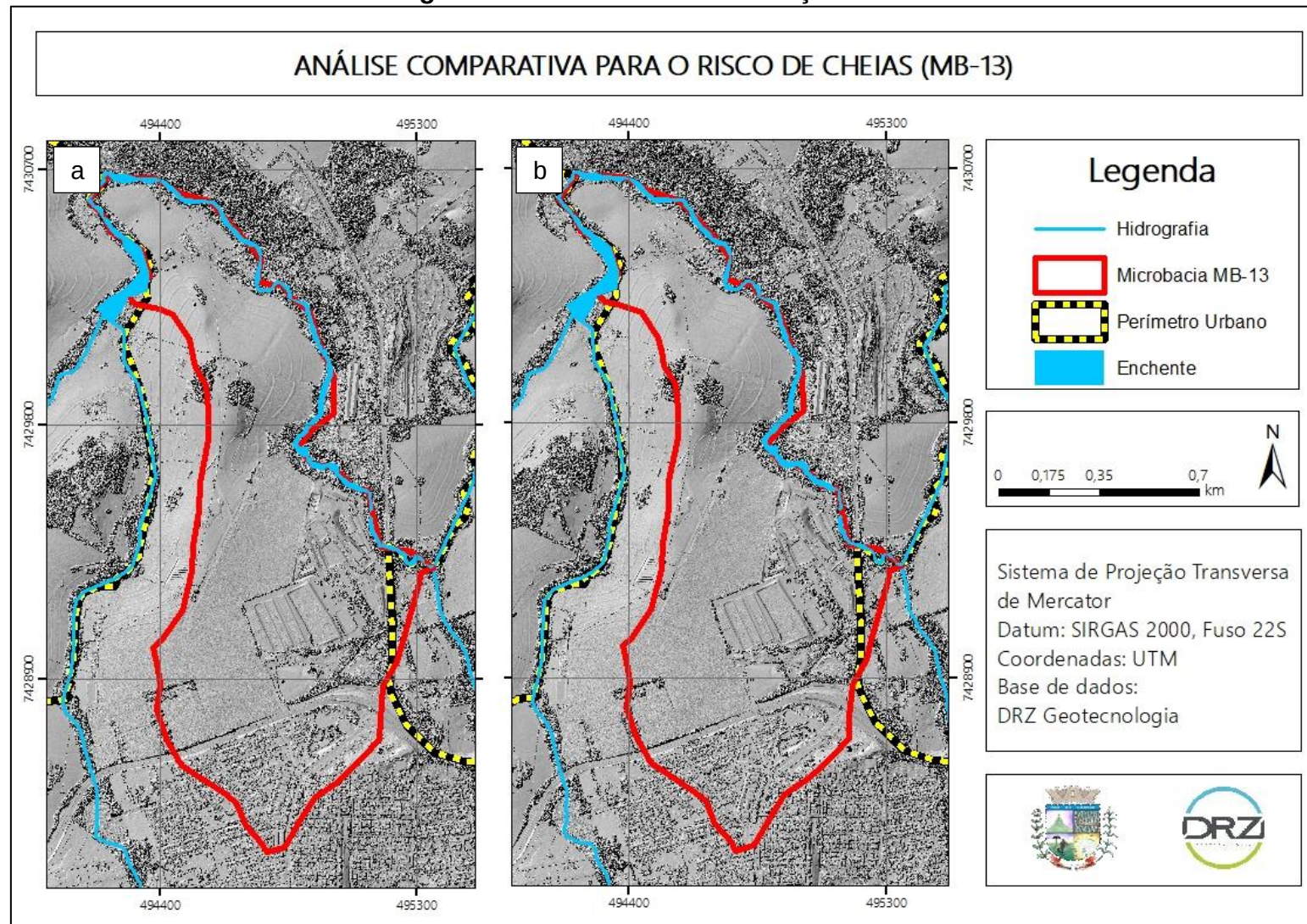
Figura 54 – Risco de perdas de vida: MB13.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



Figura 55 – Manchas de Inundação: MB13.



Legenda: a – para TR 25; b – para TR 50.
Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



5.4.14. CENÁRIO TENDENCIAL TOTAL

Com o resultado das simulações da capacidade hidráulica das redes pluviais, rios e do escoamento superficial do sistema de drenagem em todas as 13 microbacias do perímetro urbano estudadas, foram elaborados quatro mapas: um representando a situação de riscos de perdas materiais (Figura 56); outro a situação de riscos de perdas de vida (Figura 57) e por último as manchas de inundação apresentadas nas Figura 58 e Figura 59.

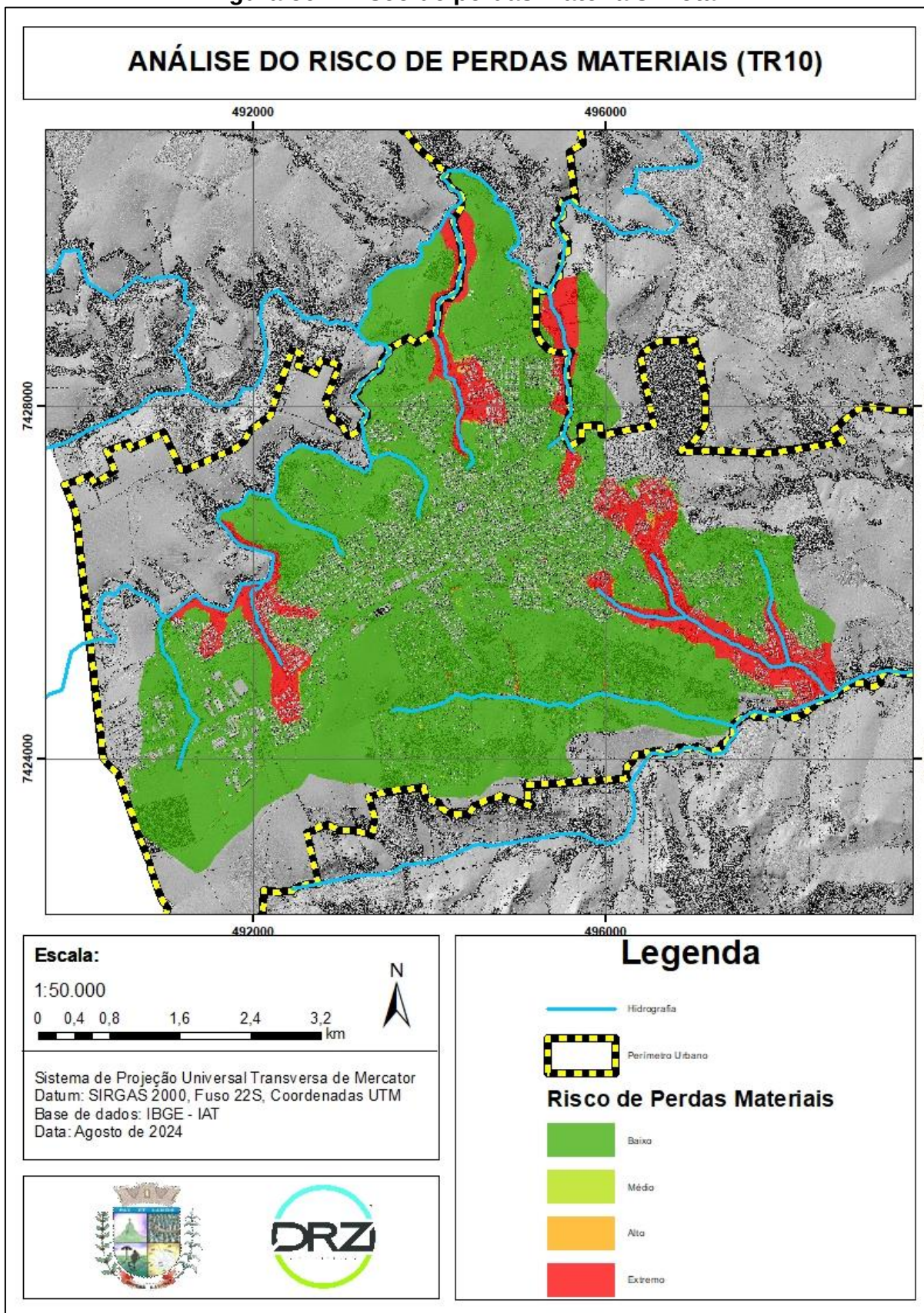
Em uma análise geral, 12,86% da área de todas as microbacias se encontra com altura de lâmina d'água acima de 0,50 m, onde o risco de perdas materiais é elevado e 74,46% com altura até 0,15 m, altura esta que dificilmente ocasiona transtornos para a população. Os riscos médio e alto somam (altura de lâmina d'água entre 0,15 m e 0,50m), aproximadamente, 1,05% da área das microbacias, sendo que tais níveis já podem causar transtornos, como o alagamento de residências, além de possíveis perdas de móveis e imóveis.

Destaca-se que 11,85% da área de todas as microbacias possui um risco extremo de alagamento, com perigo para todas as pessoas residentes nas regiões mais afetadas, enquanto 75% apresentam risco baixo, onde a população deve manter precaução. O risco médio e alto de alagamento, com perigo para os residentes nestas regiões, soma 0,58% da área das microbacias.

O risco de inundação está presente em, aproximadamente, 0,48% do total das áreas das 13 microbacias, afetando as pessoas residentes nestas regiões. Já as áreas naturais de enchentes (extravasamento da calha maior do rio) representam, aproximadamente, 2,45% da área das microbacias, reforçando a importância da preservação da mata ciliar na retenção de enchentes e inundações.



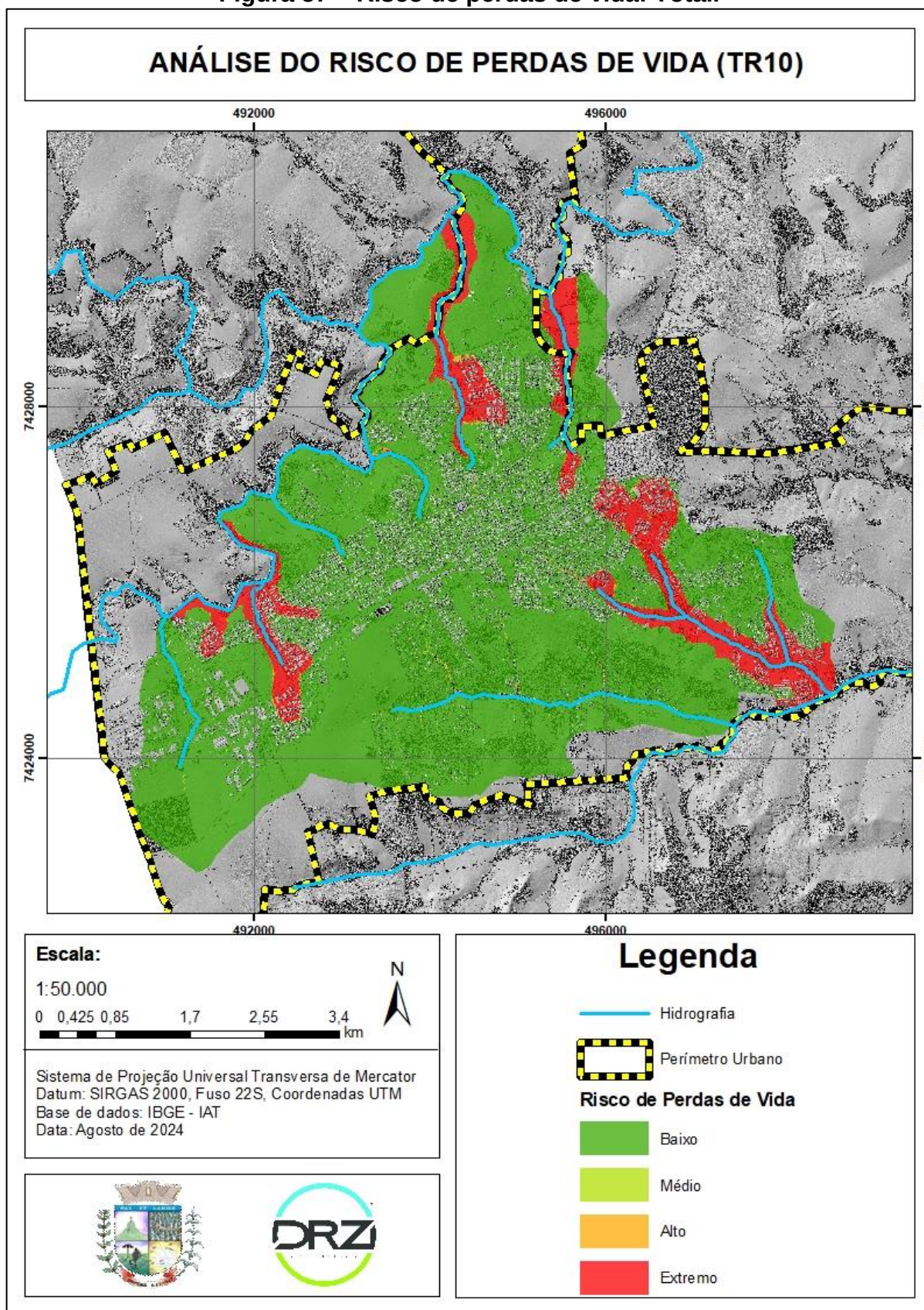
Figura 56 – Risco de perdas materiais: Total.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



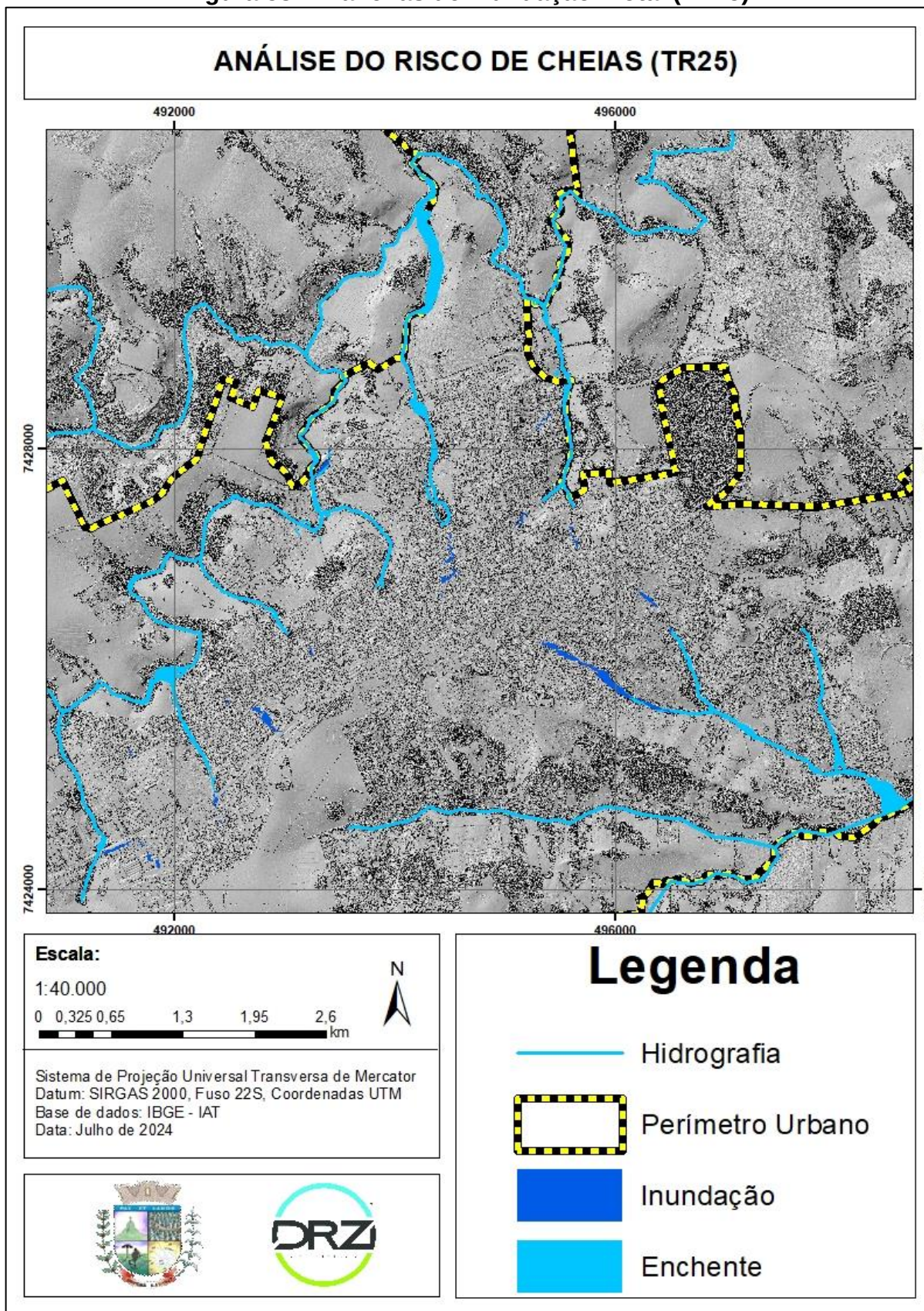
Figura 57 – Risco de perdas de vida: Total.



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



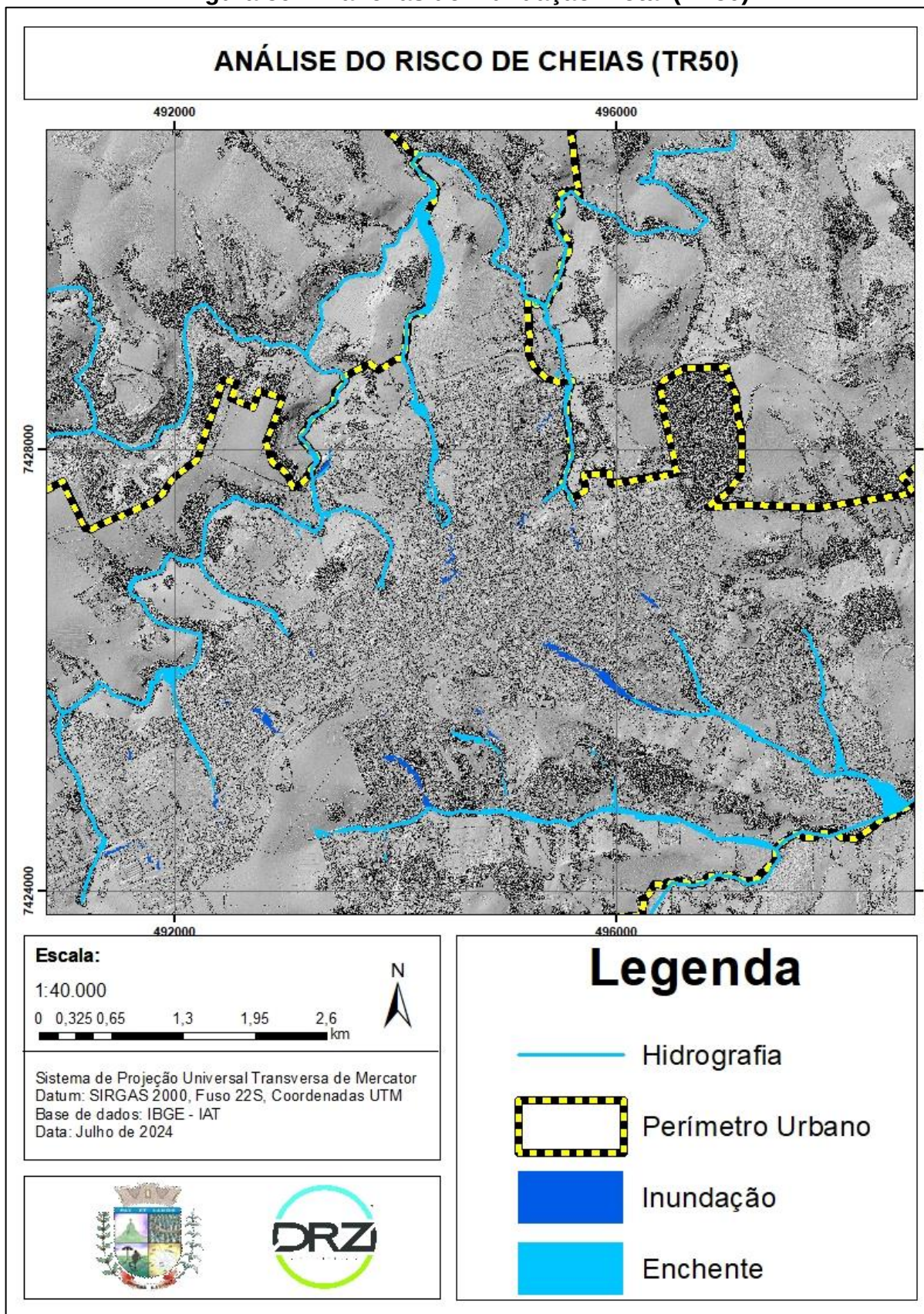
Figura 58 – Manchas de Inundação: Total (TR25).



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



Figura 59 – Manchas de Inundação: Total (TR50).



Fonte: DRZ Geotecnologia e Consultoria, 2024.



6. CONCLUSÃO

O conhecimento do sistema de drenagem urbana existente é importante para compreender o funcionamento do mesmo durante as chuvas intensas para analisar se está ou não devidamente dimensionado para a demanda pluvial da região onde o município está inserido. Caso haja a necessidade de melhorias nas redes, facilita no planejamento pois o poder público terá o conhecimento dos dados essenciais para que os projetos sejam mais eficazes e pontuais na origem do problema evitando assim os gastos desnecessários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1989.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12721: Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14653-1: Avaliação de bens – Parte 1: Procedimentos gerais**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14653-2: Avaliação de bens – Parte 2: Imóveis urbanos**. Rio de Janeiro, 2011.

ANA. Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico. **HIDROWEB**. 2024. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>

BEMFICA, D. C.; GOLDEFUM, J. A.; SILVEIRA, A. L. L. (2000). Análise da aplicabilidade de padrões de chuva de projeto a Porto Alegre. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 4, pp. 5-16.

BERNS, G. **Você sabe a diferença entre Enchente, Inundação, Enxurrada e Alagamento?** Acqualis Engenharia Hídrica. 2018. Disponível em: <http://acqualisengenharia.com.br/voce-sabe-a-diferenca-entre-enchente-inundacao-enxurrada-e-alagamento/>.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 15 de junho de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf.

BRASIL. **Lei n.º 12.608, de 10 de abril de 2012**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis n.º 12.340, de 1 de dezembro de 2010, 10.257, 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm

BOLDRIN, A. J. **Avaliação do desempenho hidráulico de um sistema de drenagem de águas pluviais urbana**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. 2014. Campinas, SP.

CANHOLI, A. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

CASTRO, A.L.C. **Manual de desastres: desastres naturais**. Brasília, Ministério da Integração Nacional, 2003.

CHOW, V. T. D. R; MAYS, L. W. **Applied hydrology**. New York: MCGraw-Hill, 1988.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. 2005. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/715_manual_de_hidrologia_basica.pdf

GRILO, R. C. **A precipitação pluvial e o escoamento superficial na cidade de Rio Claro/SP**. 1992. Disponível em: https://vivendosustentavel.com/enchentes-inundacoes-e-alagamentos/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=enchentes-inundacoes-e-alagamentos.

GREEN, C. H; PARKER, D. J; TUNSTALL, S. M, **Assessment of Flood Control and Management Options**. Thematic Review IV. 4. Cape Town: World Commission on Dams (WCD), nov. 2000.

EPA. **MANUAL DO USUÁRIO – EPA SWMM 5.0**. Modelo de Gestão de Drenagem Urbana. 2010.

FESTI, A. V. **Coletânea das Equações de Chuva do Brasil**. 2009. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/19/5f36bd94694ae874fc6bd18a0da88301_721561eb3298e404da02b7f6217dd3e0.pdf

GUIMARÃES, R. S; PINTO, T. B. F; LIMA, F. N; PINTO, R. Determinação da Equação de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) das chuvas na região do Médio Piracicaba/MG. In: Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, 1., 2016, Juazeiro e Petrolina. **Anais...** Juazeiro/Petrolina: Agência Peixe Vivo, 2016. Disponível em: <https://cdn.agenciapexivivo.org.br/media/2019/06/Determina%C3%A7%C3%A3o-da-equa%C3%A7%C3%A3o-de-intensidade-dura%C3%A7%C3%A3o-e-frequ%C3%A4ncia-das-chuvas-na-regi%C3%A3o-do-M%C3%A9dio-Piracicaba.pdf>

IAT. Instituto Água e Terra. Estações de Monitoramento. 2024. Disponível em: https://geoem.geo.pr.gov.br/geoem/pages/templates/initial_public.jsf?windowId=ad2

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Águas Urbanas**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/aguas-urbanas>.

PIEROTE, N. A. R. **Geografia em múltiplas escalas do local ao global: o Município de Ibitiporã**. 2008. Proposta Metodológica (Plano de Carreira do

Magistério do Estado do Paraná) – Programa de Desenvolvimento Educacional do Estado do Paraná, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

Disponível em:

http://www.gestaoescolar.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/producoes_pde/md_natalia_aparecida_ribas_pierote.pdf

PLANO DIRETOR DE DRENAGEM PARA A BACIA DO RIO IGUAÇU NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA – PR. **Manual de Drenagem Urbana**. 2002.

Disponível em:

http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pddrenagem/volume6/mdu_versao01.pdf.

PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA DE PORTO ALEGRE – RS. **Manual de Drenagem Urbana**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2005. Disponível em:

http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manualdedrenagem.pdf.

_____. **Plano Diretor Municipal de Ibiporã**. Ibiporã: Prefeitura Municipal, 2006.

PRIEST, S; TAPSELL, S. PENNING-ORWSELL, E; VIAVATTENE, C; WILSON, T (2008). **Task 10: Building models to estimate loss of life for flood events. Produced for FLOOD site**, Report Number T10-08-10.

SARTORI, A; LOMBARDI NETO, F; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica dos Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente como o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação.

Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Santa Maria, v. 10, n.4, dez 2005.

Disponível em: [https://abrh.s3.sa-east-](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/26/6c2ebe52f7043b800f2879be8e09bd55_624e887e937b744607e1fe0d08b69e6d.pdf)

[1.amazonaws.com/Sumarios/26/6c2ebe52f7043b800f2879be8e09bd55_624e887e937b744607e1fe0d08b69e6d.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/26/6c2ebe52f7043b800f2879be8e09bd55_624e887e937b744607e1fe0d08b69e6d.pdf)

S2iD. Sistema Integrado de Informações Sobre Desastre. **Curso de capacitação dos gestores da Defesa Civil para uso do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD)**. CEPED – UFSC. Florianópolis, 2012. Disponível em:

<http://www.cepud.ufsc.br/wp-content/uploads/2012/01/Livro-Texto-S2iD1.pdf>.

SEMADS, Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – Estado do Rio de Janeiro (2001). **Enchentes no Estado do Rio de Janeiro: Uma Abordagem Geral**. Projeto PLANÁGUA SEMADS / GTZ de cooperação técnica Brasil-Alemanha - Vol. 8.

SUDERHSA, Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba**. 2002. Disponível em:

https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/sud0103_wr102_fi.pdf.

TSUJI, T. M. **Monitoramento e Modelagem das Águas de Drenagem Pluvial no Núcleo Urbano da Bacia do Ribeirão Riacho Fundo, Brasília – DF**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. 2018. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. (Org). **Drenagem Urbana**. 1. ed. Porto Alegre, 1995.

TUCCI, C.E.M. **Aspectos Institucionais no Controle de Inundações. I Seminário de Recursos Hídricos do Centro-Oeste**. 1999. Disponível em:
<http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2016/12/aspectos-institucionais-do-controle-das-inundacoes-urbanas.pdf>.

TUCCI, C. E.M. (Org). **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS: ABHT, 2004.

UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012** - Volume Paraná. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. 160 p. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/>.

