



Mapeamento de Risco a Inundação da Área Urbana de Rio Negrinho e Avaliação de Ações Prioritárias

Organização e Desenvolvimento:



Universidade do Estado de Santa Catarina

Centro de Ciências Tecnológicas



Laboratório de Ciências das Águas



Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Instituto de Pesquisas Hidráulicas



Grupo de Pesquisa em Desastre Naturais

Equipe:

PROF. DR. LEONARDO ROMERO MONTEIRO (COORDENADOR)

MSC. FRANCIELE MARIA VANELLI

BEATRIZ CREMA DUARTE

Apoio:



BattiStella

SOLIDA

MONTEIRO, L. R.; VANELLI, F. M.; DUARTE, B. C.

Mapeamento de Risco a Inundação da Área Urbana de Rio Negrinho e Avaliação de Ações Prioritárias - Joinville, 2023.

115 p.

Leonardo Romero Monteiro

Relatório Técnico - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Laboratório de Ciências das Águas - LACIA, Joinville, 2023.

1. Mapeamento de risco. 2. Inundação. 3. Mitigação. 4. Vulnerabilidade. 5. Rio Negrinho. I. Monteiro, L. R. II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Laboratório de Ciências das Águas - LACIA. III. Mapeamento de risco da área urbana de Rio Negrinho e avaliação de ações prioritárias.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma da metodologia empregada.	12
Figura 2 – Localização do município de Rio Negrinho em Santa Catarina. . . .	13
Figura 3 – Área de estudo e urbana e rios estudados.	15
Figura 4 – Hietograma da Inundação de 1983.	18
Figura 5 – Hietograma de P-Int (eixo superior e da direita) e hidrograma de nível de N-RN (eixo inferior e da esquerda) da Inundação de 1992.	19
Figura 6 – Hietogramas de P-Int, P-Industrial e P-Alegre para a inundação de 2014.	21
Figura 7 – Hidrogramas de nível de N-RFr, N-RNh e N-RN para a inundação de 2014.	22
Figura 8 – Hidrogramas de nível de N-RFr e N-RN e hietograma de P-Int da inundação de 2014.	22
Figura 9 – Hietogramas das estações P-Int, P-INMET e P-SAMAE para 2019. .	23
Figura 10 – Hidrogramas de nível com discretização horária das estações N-RFr, N-RN, N-RNh e N-RNhFoz para 2019.	24
Figura 11 – Hidrogramas de nível e hietograma considerando a discretização diária. .	25
Figura 12 – Hietogramas das estações P-Industrial e P-INMET para 2022. . . .	26
Figura 13 – Hidrogramas de nível com discretização horária das estações N-RFr, N-RN e N-RNh para 2022.	27
Figura 14 – Hidrogramas de nível e hietograma considerando a discretização diária. .	27
Figura 15 – Fluxograma do modelo hidrológico.	32
Figura 16 – Organização das sub-bacias para o presente estudo.	33
Figura 17 – Classificação do uso de solo.	35
Figura 18 – Estações pluviométricas.	38
Figura 19 – Hietogramas e hidrogramas para o procedimento de a) calibração e b) validação do modelo hidrológico.	39
Figura 20 – Precipitação do evento de outubro de 2004.	40
Figura 21 – Pontes e travessias da área urbana.	46

Figura 22 – Resultado do evento de 2004.	48
Figura 23 – Resultado do evento de projeto.	50
Figura 24 – Comparação entre manchas de inundação para tempo de retorno de 100 anos com e sem a condição de remanso.	51
Figura 25 – Comparação entre manchas de inundação para tempo de retorno de 5 anos com e sem a condição de remanso.	52
Figura 26 – Grau de Perigo: relação entre velocidade e profundidade com situa- ções adversas onde A indica intensidade alta, B intensidade média e C intensidade fraca.	54
Figura 27 – Relação de Perigo: relação entre o nível de perigo e a probabilidade de ocorrência do mesmo.	54
Figura 28 – Mapa de perigo de inundação.	55
Figura 29 – Mapa de perigo de inundação sobreposto pelas Áreas de Preserva- ção Permanente.	57
Figura 30 – Mapa do Índice Social.	59
Figura 31 – Mapa do Índice Econômico.	60
Figura 32 – Mapa do Índice de Infraestrutura.	60
Figura 33 – Mapa de Vulnerabilidade Socioeconômica.	61
Figura 34 – Mapa de Risco.	62
Figura 35 – Histograma do mapa de risco.	63
Figura 36 – Realização do grupo focal para consulta com munícipes.	64
Figura 37 – Infraestruturas críticas analisadas.	65
Figura 38 – Fluxograma da gestão de Risco e de Desastre	81
Figura 39 – Exemplo de lixos encontrados no rio Negrinho em novembro de 2022.	84
Figura 40 – Mapa de profundidade de inundação para o TR de 5 anos.	109
Figura 41 – Mapa de profundidade de inundação para o TR de 20 anos.	110
Figura 42 – Mapa de profundidade de inundação para o TR de 100 anos.	111
Figura 43 – Mapa de profundidade de inundação para o TR de 100 anos sem a condição de remanso.	112

Figura 44 – Mapa de velocidade de inundação para o TR de 5 anos.	113
Figura 45 – Mapa de velocidade de inundação para o TR de 20 anos.	114
Figura 46 – Mapa de velocidade de inundação para o TR de 100 anos.	115

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estações pluviométricas presentes no HIDROWEB.	38
Quadro 2 – Indicadores de vulnerabilidade considerados.	59
Quadro 3 – Documentos analisados perante a perspectiva da redução de risco de inundação.	74
Quadro 4 – Análise do Plano Diretor: consolidação 2022.	75
Quadro 5 – Análise do Plano de Macrodrenagem (continua).	76
Quadro 6 – Análise do Plano de Macrodrenagem (finalização).	77
Quadro 7 – Análise do Plano de Mobilidade Urbana.	78
Quadro 8 – Análise do Plano de Contingência.	79
Quadro 9 – Análise do Plano de Desenvolvimento Integrado do Turismo Susten- tável.	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Geometria das sub-bacias hidrográficas.	34
Tabela 2 – Valores de CN por uso do solo.	35
Tabela 3 – Dados específicos das sub-bacias hidrográficas.	36
Tabela 4 – Escoamento base mensal das sub-bacias hidrográficas, em m ³ /s. .	37
Tabela 5 – Chuva de projeto.	41
Tabela 6 – Dados das pontes e travessias.	45
Tabela 7 – Valores de n por uso do solo.	46
Tabela 8 – Valores de nível obtidos para diferentes períodos de retorno para a posição da Estação Rio Negrinho Montante.	49
Tabela 9 – Valores de área inundada por período de retorno.	50
Tabela 10 – Hidrograma do Rio dos Bugres: inundação de 2004 do dia 17 ao 23.	94
Tabela 11 – Hidrograma do Rio dos Bugres: inundação de 2004 do dia 23 ao 29.	95
Tabela 12 – Hidrograma do Rio Negrinho: inundação de 2004 do dia 17 ao 23. .	96
Tabela 13 – Hidrograma do Rio Negrinho: inundação de 2004 do dia 23 ao 29. .	97
Tabela 14 – Hidrograma do Rio Serrinha: inundação de 2004 do dia 17 ao 23. .	98
Tabela 15 – Hidrograma do Rio Serrinha: inundação de 2004 do dia 23 ao 29. .	99
Tabela 16 – Hidrograma do Rio dos Bugres para TR de 100 anos.	100
Tabela 17 – Hidrograma do Rio Negrinho para TR de 100 anos.	101
Tabela 18 – Hidrograma do Rio Serrinha para TR de 100 anos.	102
Tabela 19 – Hidrograma do Rio dos Bugres para TR de 20 anos.	103
Tabela 20 – Hidrograma do Rio Negrinho para TR de 20 anos.	104
Tabela 21 – Hidrograma do Rio Serrinha para TR de 20 anos.	105
Tabela 22 – Hidrograma do Rio dos Bugres para TR de 5 anos.	106
Tabela 23 – Hidrograma do Rio Negrinho para TR de 5 anos.	107
Tabela 24 – Hidrograma do Rio Serrinha para TR de 5 anos.	108

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO GERAL	10
1.1	INTRODUÇÃO	10
1.2	OBJETIVOS	11
1.3	APRESENTAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA	11
2	ÁREA DE ESTUDO E BACIAS HIDROGRÁFICAS	13
2.1	MUNICÍPIO DE RIO NEGRINHO	13
2.2	ÁREA DE ESTUDO	14
3	ANÁLISE DAS INUNDAÇÕES DE RIO NEGRINHO	16
3.1	INUNDAÇÃO DE 1983	18
3.2	INUNDAÇÃO DE 1992	19
3.3	INUNDAÇÃO DE 2014	20
3.4	INUNDAÇÃO DE 2019	23
3.5	INUNDAÇÃO DE 2022	25
3.6	CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS	28
4	MODELAGEM HIDROLÓGICA	31
4.1	HEC-HMS	31
4.2	DADOS DE ENTRADA	33
4.2.1	Propriedades das sub-bacias hidrográficas	33
4.2.2	Chuva	37
4.3	EVENTOS DE CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO	39
4.4	EVENTOS DE PROJETO	40
5	MODELAGEM HIDRODINÂMICA	42
5.1	HEC-RAS	42
5.2	DADOS DE ENTRADA	43
5.2.1	Chuva	43
5.2.2	Vazão de entrada para condições de montante	43
5.2.3	Nível do Rio Negro para condição de jusante	43

5.2.4	Propriedades das sub-bacias e terreno	44
5.2.4.1	<i>Pontes</i>	44
5.2.4.2	<i>Coeficiente de Rugosidade e Curve Number</i>	46
5.2.5	Características computacionais	47
5.3	EVENTO DE 2004	47
5.4	EVENTOS DE PROJETO	49
5.5	IMPORTÂNCIA DO REMANSO PARA GRANDES INUNDAÇÕES	51
6	PERIGO DE INUNDAÇÃO	53
6.1	METODOLOGIA PARA O MAPEAMENTO DE PERIGO	53
6.2	MAPAS DE PERIGO	54
6.3	ÁREA DE PROTEÇÃO PERMANENTE = ÁREA DE PERIGO PERMANENTE	56
7	VULNERABILIDADE	58
8	RISCO DE INUNDAÇÃO	62
9	ANÁLISE DOCUMENTAL	73
10	AÇÕES PRIORITÁRIAS	81
11	CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
	REFERÊNCIAS	89
	APÊNDICE A – DADOS DO MODELO HIDROLÓGICO	94
A.1	HIDROGRAMAS DO EVENTO DE INUNDAÇÃO DE 2004	94
A.2	HIDROGRAMAS DE PROJETO	100
A.2.1	Tempo de retorno de 100 anos	100
A.2.2	Tempo de retorno de 20 anos	103
A.2.3	Tempo de retorno de 5 anos	106
	APÊNDICE B – DADOS DO MODELO HIDRODINÂMICO	109
B.1	MAPAS DE PROFUNDIDADE DE INUNDAÇÃO	109
B.2	MAPAS DE VELOCIDADE DE INUNDAÇÃO	113

1 APRESENTAÇÃO GERAL

1.1 INTRODUÇÃO

As inundações na área urbana de Rio Negrinho datam desde seu período colonial, sendo o primeiro registro em 1891 (GIGLIO; KOBIYAMA, 2011). Registros recentes demonstram que ocorreram inundações de grande magnitude e, conseqüentemente, grandes danos nos anos de 1983, 1992 e 2014. Em consonância a esta problemática, Rio Negrinho é um município que tem agregado diversos trabalhos científicos na área de hidrologia e desastres, como Amorin et al. (2017), Innocente et al. (2017), Brighenti, Bonumá e Chaffe (2016) entre outros.

No ano de 2019, foi realizado um Plano Diretor de Macrodrenagem para fornecer bases e fundamentos para a implantação de uma ampla política de gerenciamento dos recursos hídricos (SEPLAN, 2019b). Este documento foi um importante primeiro passo para o gerenciamento do risco de inundações no município, entretanto existem pontos importante que ainda merecem atenção. Definições mais claras de vulnerabilidade, perigo de inundação e risco de inundação englobando os seus mapeamentos ainda são tópicos a serem explorados. Estes mapas viabilizam a apresentação de soluções não-estruturais específicas que devem ser discutidas com a comunidade local.

Com o apoio da Associação Empresarial de Rio Negrinho (ACIRNE), das empresas Hera Sul Tratamentos de Resíduos Ltda., Battistella, Sólida e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq), o presente projeto desenvolvido pelo Laboratório de Ciências das Águas (LaCiA) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) e pelo Grupo de Pesquisa em Desastres Naturais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), buscou mapear o risco de inundação na área urbana do município com base em métodos de modelagem computacional hidrológica e hidrodinâmica e dados de perigo e vulnerabilidade, para poder propor ações prioritárias não-estruturais a fim de mitigar os impactos decorrentes das inundações.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral do projeto é a promoção de medidas não-estruturais para a redução de riscos de desastres, com enfoque em inundações, na área urbana do município de Rio Negrinho. Já os objetivos específicos do projeto foram divididos em etapas, as quais são:

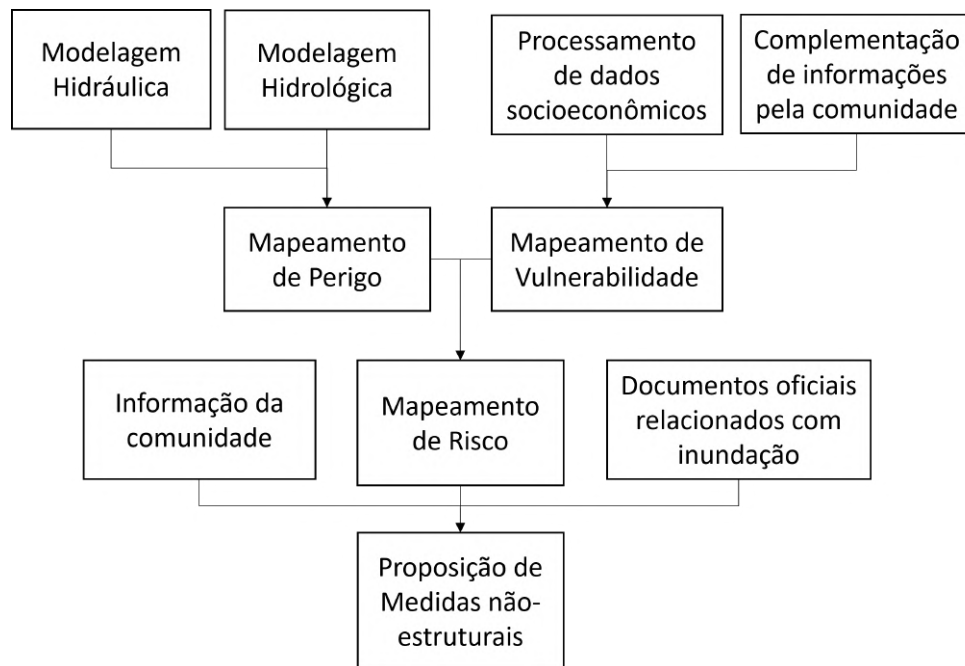
- a) Definir as características da bacia hidrográfica de rio Negrinho e de suas sub-bacias;
- b) Aplicar o modelo hidrológico para definição das vazões que afetam a área urbana de Rio Negrinho;
- c) Aplicar o modelo hidrodinâmico bidimensional para a definição da mancha de inundação, profundidade e velocidade do escoamento;
- d) Criar o Mapa de Perigo de Inundação;
- e) Avaliar as características do município e sua população a partir de dados censitários e de informações da Prefeitura;
- f) Criar o Mapa de Vulnerabilidade social;
- g) Criar o Mapa de Risco de Inundação;
- h) Avaliar o Plano Diretor e seus correlatos disponíveis analisando as abordagens sobre inundações;
- i) Definir as ações prioritárias baseadas em medidas não-estruturais visando a prevenção e a redução de risco de desastres, especialmente inundações e enxurradas.

1.3 APRESENTAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Para atingir os objetivos do presente trabalho será necessário desenvolver o mapeamento do risco de inundação para a área urbana do município de Rio Negrinho, sendo necessário para isso, realizar os mapeamentos de perigo de inundação e de vulnerabilidade. O mapeamento de perigo de inundação representa as características do fenômeno de inundação, enquanto que o de vulnerabilidade representa caracterís-

ticas da sociedade. Para tanto, serão utilizados procedimentos computacionais para o processamento das informações e criação dos mapas. Por fim, as informações do mapa de risco serão analisadas levando-se em consideração a documentação e as informações da comunidade local para a proposição de medidas não-estruturais (Figura 1)

Figura 1 – Fluxograma da metodologia empregada.



Fonte: Os autores (2023).

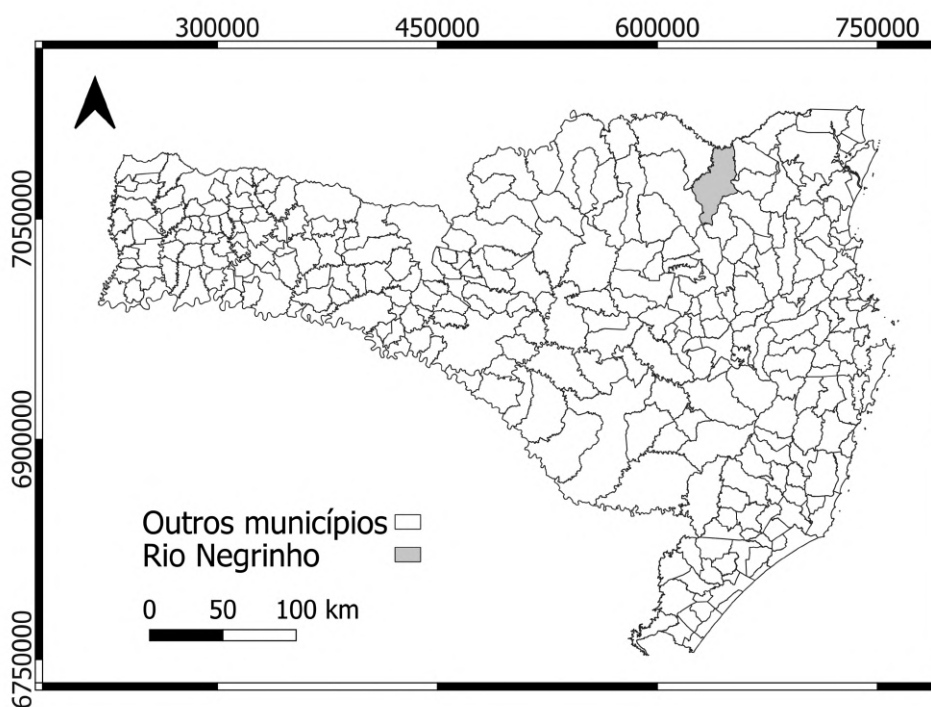
O mapa de perigo de inundação foi criado a partir da modelagem hidrológica e hidrodinâmica, onde devem ser consideradas as características físicas das bacias hidrográficas, assim como informações sobre o regime hidrológico, *i. e.* chuva e nível do rio. Este procedimento foi baseado em Monteiro e Kobiyama (2013). Já o mapa de vulnerabilidade foi criado a partir de metodologia modificada de Moreira, Brito e Kobiyama (2021), onde também foram consideradas complementações provenientes de informações da própria comunidade do município.

2 ÁREA DE ESTUDO E BACIAS HIDROGRÁFICAS

2.1 MUNICÍPIO DE RIO NEGRINHO

O município de Rio Negrinho, localizado no norte de Santa Catarina a uma latitude S 26°15'16" e longitude O 49°31'06" (Figura 2), tem área de 907 km² e altitude média de 792 m. A classificação climática de Köppen para o município é do tipo temperado quente Cfb, ou seja, possui um verão ameno, com chuvas uniformemente distribuídas, sem estação de seca, temperatura máxima do mês mais quente menor que 22°C e precipitação anual de 1.100 a 2.000 mm (WREGE et al., 2012).

Figura 2 – Localização do município de Rio Negrinho em Santa Catarina.



Fonte: Os autores (2023).

De acordo com os resultados preliminares do Censo 2022, o município apresenta uma população de 38.531 habitantes (IBGE, 2022b), valor inferior ao do Censo de 2010, cuja população era de 39.846 habitantes (IBGE, 2022a). O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal é 0,738, considerado como alto, porém está abaixo do valor médio para o estado de Santa Catarina (0,774) conforme dados do Censo 2010 (Atlas Brasil,

2022). O Índice de Gini da renda domiciliar per capita do município é de 0,4457 para o ano de 2010, enquanto de Santa Catarina é de 0,4942 (IBGE, 2022c).

A região pertence ao bioma Mata Atlântica, na Floresta Ombrófila Mista, e a vegetação original se caracterizava pela presença de araucárias e lauráceas, como imbuia e canela-lajeana. Tal condição impulsionou a indústria madeireira e de papel-celulose no município, que ainda predominam na economia local com o uso de madeiras de reflorestamento. Segundo o SEBRAE (2019), a economia do município é baseada principalmente na indústria e serviços, mais especificamente na produção de móveis de madeira, produção de papel e papelão, além de cerâmica, alimentos, tintas e vernizes. Nos últimos anos, por meio do Consórcio do Quiriri, que envolve Corupá, São Bento do Sul, Campo Alegre e Rio Negrinho, têm-se investido no desenvolvimento do turismo ecológico, aproveitando a paisagem natural, cachoeiras, rios, lagos, trilhas, mirantes, entre outros (Consórcio Quiriri, 2022).

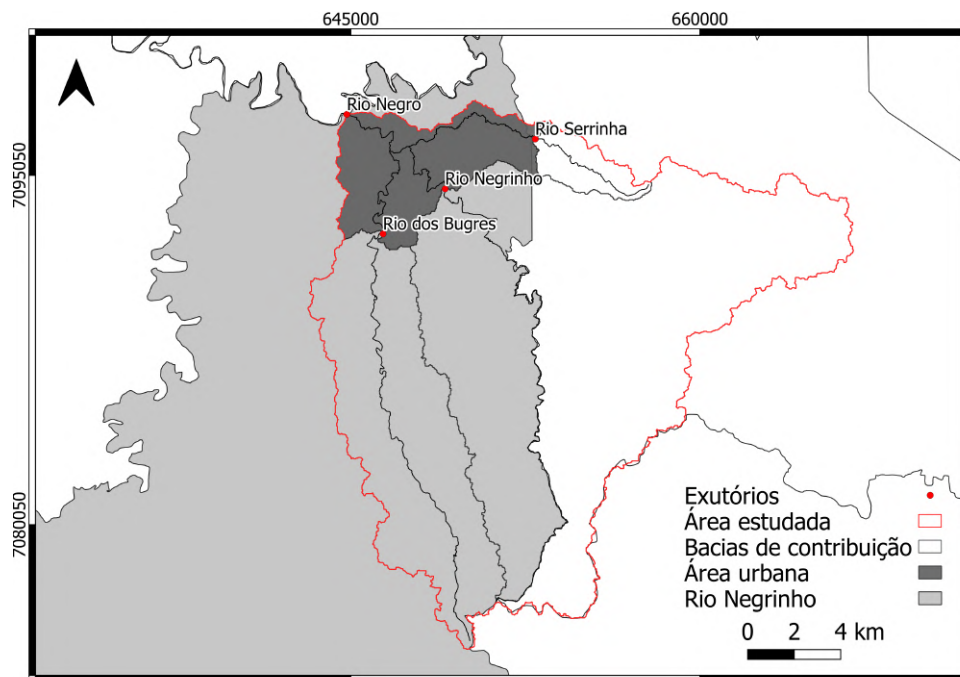
A área urbana do município (Figura 3) possui cerca de 36 km² e concentra mais de 90% dos habitantes de Rio Negrinho. Devido à presença do rio Negrinho, e seus dois principais afluentes, o rio dos Bugres e o rio Serrinha, e da proximidade com o encontro do primeiro com o rio Negro, a área urbana é a região de todo o município que mais sofre perdas com inundações.

2.2 ÁREA DE ESTUDO

Com base nos registros históricos, ocorrem inundações desde 1891 na região equivalente a área urbana do município de Rio Negrinho (GIGLIO; KOBAYAMA, 2011), sendo assim essa região foi delimitada como a área de estudo. A área urbana possui densidade demográfica de aproximadamente 972,4 hab/km² considerando dados censitários de 2010 e está inserida na bacia hidrográfica do rio Negrinho, tendo o rio homônimo como curso principal e os rios Serrinha e dos Bugres como principais afluentes. A área total da bacia hidrográfica estudada possui 305 km² e corresponde a toda a bacia do Rio Negrinho (Figura 3), com ponto de exutório no rio Negro, e abrangendo toda a área urbana do município (área inundável), as bacias de contribuição desta e

parte do município de São Bento do Sul.

Figura 3 – Área de estudo e urbana e rios estudados.



Fonte: Os autores (2023).

As bacias de contribuição utilizadas no estudo são as do rio dos Bugres, rio Serrinha e rio Negrinho, considerando os pontos de exutório nas regiões onde esses rios entram na área urbana do município (Figura 3). A definição dessas bacias fornece os dados de geometria necessários para as simulações que determinarão as vazões de contribuição para a área urbana.

3 ANÁLISE DAS INUNDAÇÕES DE RIO NEGRINHO

A primeira grande inundação registrada na região onde atualmente se localiza o município de Rio Negrinho ocorreu em junho de 1891, com chuvas torrenciais de aproximadamente 15 dias (MÜHLBAUER, 2017). Após este evento, continuamente chuvas severas afetaram a localidade resultando em inundações (GIGLIO; KOBIYAMA, 2011). As inundações recentes com maiores prejuízos registrados, tanto na área urbana como rural, ocorreram nos anos de 1983, 1992 e 2014 (NEGRINHO, 2017). Entre os registros mais recentes de áreas inundadas, principalmente nas regiões urbanas próximas as margens do rio Negrinho, pode-se citar os eventos de maio/junho de 2019 e de novembro/dezembro de 2022.

O presente capítulo tem o objetivo de complementar as análises realizadas por Mühlbauer (2017) ao apresentar uma análise individual de cada evento de inundação observando concomitantemente os dados de chuva e nível em diversas estações. A seguir, são apresentadas as estações utilizadas, sua identificação para o presente trabalho (ID) e as fontes das informações:

- ID: **N-RFr** - Nível do rio Negro na Estação Fragosos: foram adquiridos por contato direto com a COPEL possuindo discretização horária;
- ID: **N-RN** - Nível do rio Negro na Estação Rio Negro: foram adquiridos por contato direto com a COPEL possuindo discretização horária;
- ID: **N-RNh** - Nível do rio Negrinho: existem duas fontes para esta estação, a primeira é a Estação Rio Negrinho Montante da ANA. Esta estação possui dados de 2002 até 2018 com discretização diária e está localizada a montante da área urbana do município na Fazenda Souza (MÜHLBAUER, 2017). A segunda fonte são as réguas linimétricas sob responsabilidade do SAMAE. Funcionários da companhia registraram os dados horários do nível do rio Negrinho na captação da Estação de Tratamento de Água através de leitura das réguas limnimétricas, exclusivamente para os eventos de inundação.

- ID: **N-RNhFoz** - Nível do rio Negrinho aproximadamente a um quilômetro da sua foz no rio Negro, com discretização horária. Esta estação foi instalada em 27/01/2016 e seu último dado disponível foi de 21/05/2021, sendo assim esta estação será utilizada apenas para a análise no evento de 2019.
- ID: **P-SAMAE** - Dados de precipitação provenientes da estação da SAMAE, localizada na Estação de Tratamento de Água da cidade. Dados com discretização horária.
- ID: **P-Alegre** - Dados de precipitação da Estação Pluviométrica denominada "Rio Negrinho Alegre" do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). Dados com discretização de até 10 minutos.
- ID: **P-Industrial** - Dados de precipitação da Estação Pluviométrica denominada "Rio Negrinho Industrial" do CEMADEN. Dados com discretização de até 10 minutos.
- ID: **P-INMET** - Dados de precipitação da Estação Pluviométrica denominada "Rio Negrinho" com código A862 (também denominada de Rio Negrinho/Battistella) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Dados com discretização de uma hora. Esta estação está localizada na latitude -26,2484 e longitude -49,5806, aproximadamente 6 quilômetros de distância do centro da cidade (em linha reta).
- ID: **P-Int** - Foram utilizadas as estações do Hidroweb/ANA localizadas na proximidade de Rio Negrinho¹ e foi realizada uma interpolação pelo método do inverso da distância ao quadrado considerando o centroide da bacia hidrográfica do rio Negrinho.

A utilização dos dados de cada estação depende do ano e mês em que a inundação analisada ocorreu, pois a disponibilidade de dados destas variam bastantes. Os únicos dados que existem para todos os anos analisados são os da P-Int.

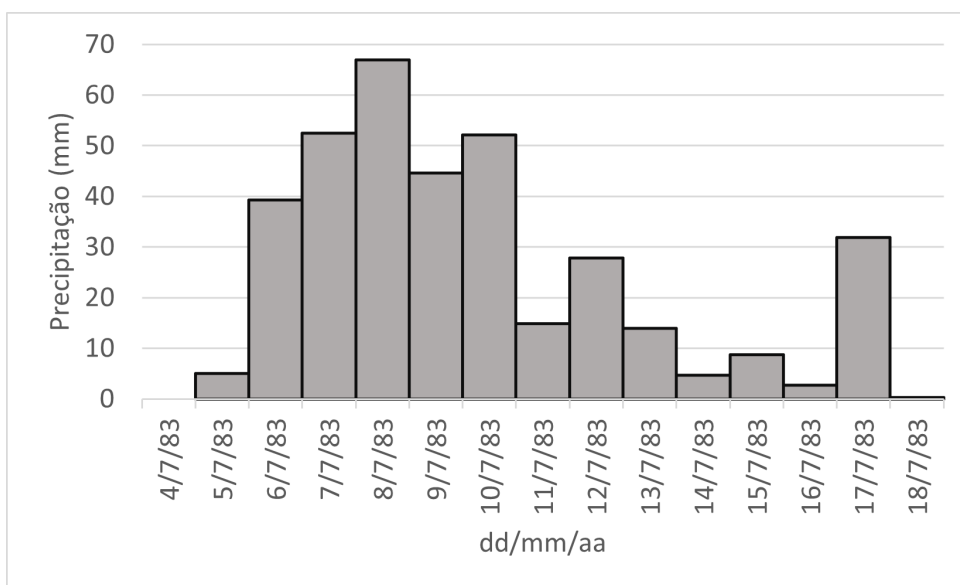
¹ As estações consideradas que possuem dados em algum dos anos analisados foram: 02649073, 02649065, 02649064, 02649062, 02649057, 02649055, 02649048, 02649033, 02649022, 02649018, 02649016, 02649013.

3.1 INUNDAÇÃO DE 1983

De acordo com as antigas marcações na Igreja Matriz Santo Antônio de Pádua que indicavam o nível atingido nas inundações de 1983 e 1992, o dia de pico da inundação de 1983 foi em 11/07/1983. Atualmente, as marcas das inundações foram apagadas, mas ainda é possível identificá-las em fotografias, como a apresentada em Giglio (2010). A cota atingida foi de aproximadamente 792 metros com profundidade de aproximadamente 5 metros na igreja da cidade (RIO NEGRINHO, 2013; GIGLIO, 2010).

A única série histórica utilizada para a avaliação da inundação de 1983 foi P-Int, não existindo dados de vazão ou nível para serem analisados. Embora as estações N-RFr e N-RN já existissem neste ano, exatamente neste evento as duas apresentaram falhas. O hietograma deste evento apresenta o valor máximo diário de 66,91 mm em 08/07/1983 e volumes consideráveis de precipitação se prolongam por quase duas semanas (Figura 4). A soma de precipitação entre os dias 05/07/1983 até 18/07/1983 foi de 365,6 mm. Portanto, o evento total durou aproximadamente duas semanas, sendo que o maior valor precipitado ocorreu no quarto dia.

Figura 4 – Hietograma da Inundação de 1983.



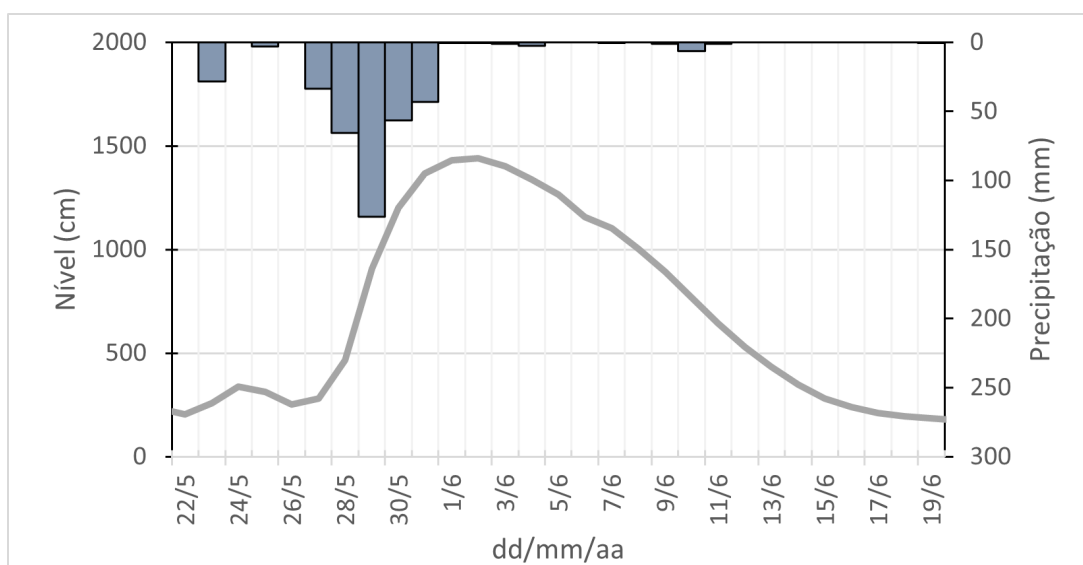
Fonte: Os autores (2023).

3.2 INUNDAÇÃO DE 1992

No ano de 1992 apenas os dados interpolados de chuva (P-Int) e no nível na Estação Rio Negro (N-RN) apresentaram informações para serem analisados. De acordo com as antigas marcas da inundação na Igreja Matriz Santo Antônio de Pádua, o pico de nível da inundação ocorreu no dia 31/05/1992. A cota atingida pela inundação de 1992 é da ordem de 10 cm superior à de 1983, ou seja, novamente aproximadamente 792 metros (GIGLIO, 2010).

O hietograma deste evento se difere bastante da inundação de 1983 (Figura 5). Percebe-se que chuvas consideráveis já estavam ocorrendo anteriormente ao evento chuvoso que provocou a inundação. Cinco dias de volumes precipitados elevados foram suficientes para provocar o pico da inundação no dia 31/05, com o maior volume precipitado de 126,5 mm ocorrendo dia 29/05. Nos dias seguintes, precipitações ainda bastante elevadas de aproximadamente 50 mm/dia fizeram com que o nível da estação N-RN continuasse a se elevar até o dia 02/06/1992, data posterior a da marca do nível máximo em Rio Negrinho. O total precipitado entre os dias 23/05/1992 e 04/06/1992 foi de 359,9 mm, valor muito próximo da precipitação total em 1983 de 365,6 mm.

Figura 5 – Hietograma de P-Int (eixo superior e da direita) e hidrograma de nível de N-RN (eixo inferior e da esquerda) da Inundação de 1992.



Fonte: Os autores (2023).

A variação do nível do rio Negro na Estação N-RN foi de 12 metros atingindo um nível total de 14,39 m. A relação hidrograma-hietograma mostra que o tempo de resposta do nível do rio Negro, na estação N-RN, a chuvas na bacia do rio Negrinho não é imediato. São aproximadamente três dias de defasagem entre os picos de chuva e de nível, e as chuvas elevadas após o dia de pico de chuva fez com que o nível continuasse a subir (Figura 5). Apenas após quase duas semanas o nível do rio Negro voltou ao seu nível inicial do dia 22/06/1992.

O tempo de concentração da bacia hidrográfica de Rio Negrinho é de aproximadamente sete horas (cálculos apresentados no capítulo de Modelagem Hidrológica), ou seja, como a inundação ocorreu no dia 31/05, 2 dias após o maior pico de chuva, temos que um segundo fenômeno, com maior tempo de resposta a chuvas, influenciou na inundação. Assim, fica evidente a hipótese da influência do remanso provocado pelo rio Negro nos fenômenos de inundação e a importância da análise não apenas nos níveis precipitados na região de Rio Negrinho, mas também no rio Negro.

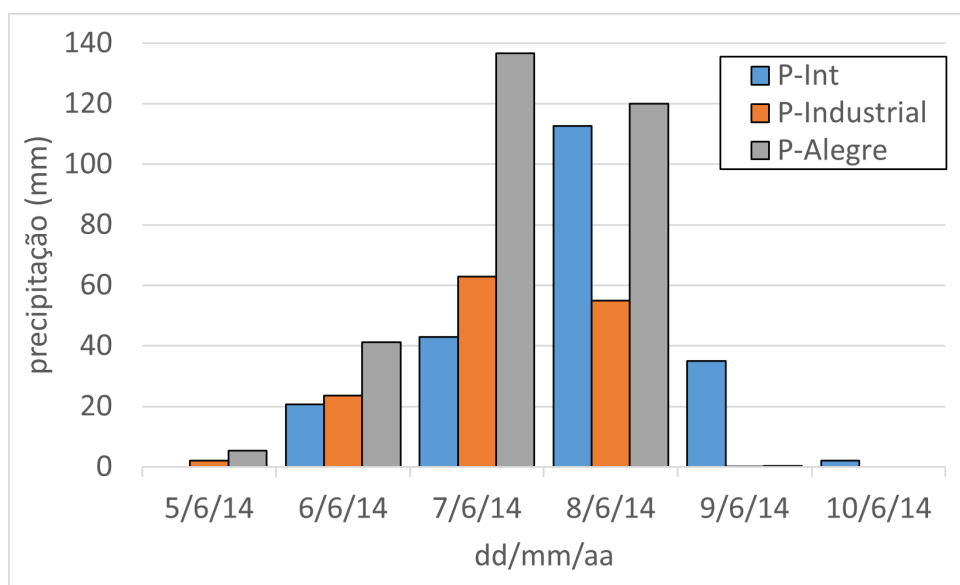
3.3 INUNDAÇÃO DE 2014

Para este ano, foram obtidos os valores de precipitação de diversas origens: P-Alegre; P-Industrial e P-Int. Os valores de nível considerados na análise são provenientes da COPEL (N-RFr e N-RN) e da ANA (N-RNh).

Conforme investigação realizada por Mühlbauer (2017), a inundação de 2014 causou maiores prejuízos do que em 1983 e 1992, assim, esperamos que os dados de nível e de precipitação sejam bastante elevados. Mühlbauer (2017) menciona que a Estação P-INMET e a Estação Pluviométrica localizada em Fragosos não apresentam valores expressivos para o evento de 2014. Percebe-se característica semelhante para a Estação P-Industrial (precipitação total do evento 150,20 mm) (Figura 6), já a P-Int (precipitação total do evento 231,58 mm) e a P-Alegre (precipitação total do evento 314,30 mm) apresentaram dados expressivos de precipitação para o evento de 2014 (Figura 6). Esses dados demonstram que ocorreram severas precipitações em todas as bacias em volta do município, porém no centro do município de Rio Negrinho

ocorreram precipitações ainda mais concentradas. De acordo com a P-Alegre, o evento está associado, principalmente, por dois dias de chuvas severas com mais de 120 mm precipitados em cada um deles. No dia antecedente ao dia de máxima já havia ocorrido uma precipitação de aproximadamente 40 mm diários.

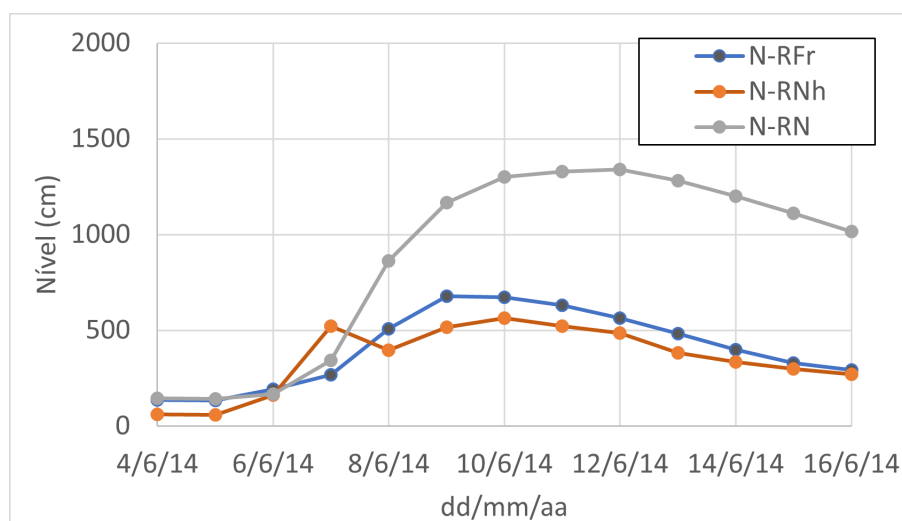
Figura 6 – Hietogramas de P-Int, P-Industrial e P-Alegre para a inundação de 2014.



Fonte: Os autores (2023).

As estações N-RFr, N-RN e N-RNh possuem valores para o evento de 2014 (Figura 7). Observa-se um comportamento atípico na N-RNh, que se justifica por causa de uma falha da estação na época, pois o observador não conseguia chegar ao local para fazer as medições (MÜHLBAUER, 2017), e um preenchimento de falhas foi realizado pela ANA ao consistir os dados. Percebe-se que este preenchimento de falha não condiz com os níveis esperados, que deveriam ser maiores do que o nível do dia da última medição, no dia 07/06/2014. Assim a Estação N-RNh, mesmo que com dados consistidos, não pode ser utilizada para análises desta inundação. Observa-se um aumento de 12 metros na estação N-RN (semelhante ao ocorrido em 1992) atingindo 13,6 m e de 5 metros na estação N-RFr atingindo 6,87 m.

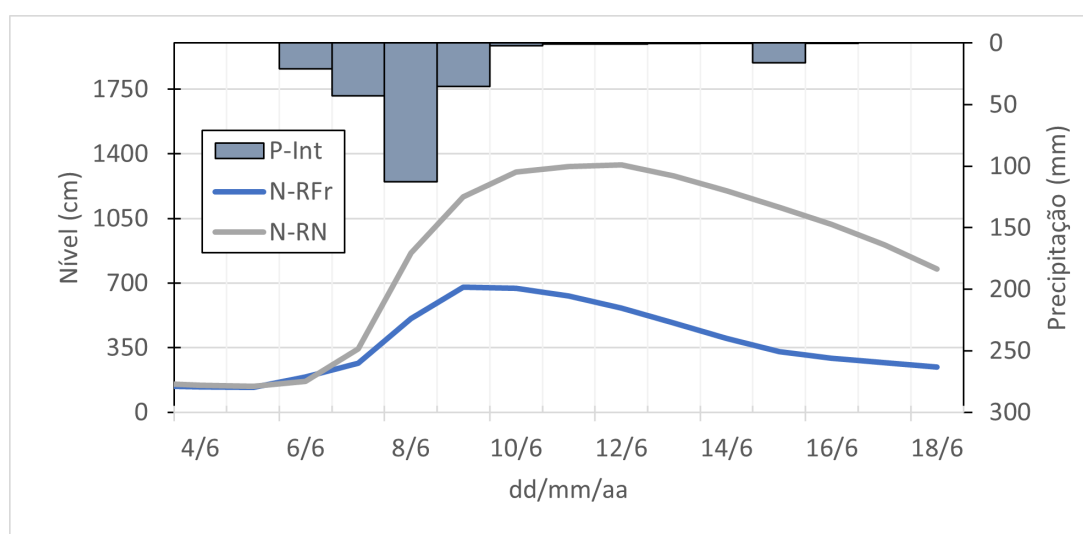
Figura 7 – Hidrogramas de nível de N-RFr, N-RNh e N-RN para a inundação de 2014.



Fonte: Os autores (2023).

Ao analisar a estação P-Int com N-Fr e N-RN, nota-se que a seção de Fragosos teve uma resposta de menos de um dia com relação ao evento chuvoso (Figura 8), enquanto que a seção do rio Negro teve seu pico cinco dias após a precipitação máxima. Outros fenômenos não possíveis de serem observados por esta análise, como contribuição de reservatório, podem ter provocado este retardo no nível de pico, mas, de qualquer forma, ela indica que o nível do rio Negro tem uma resposta mais demorada e persistente (tempo de pico e de recessão maiores), algo já observado na inundação de 1992.

Figura 8 – Hidrogramas de nível de N-RFr e N-RN e hietograma de P-Int da inundação de 2014.



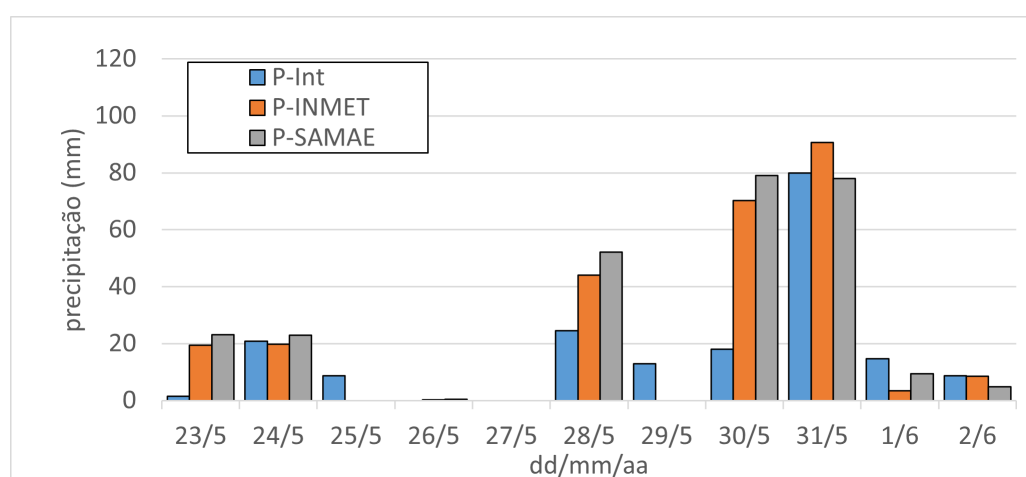
Fonte: Os autores (2023).

3.4 INUNDAÇÃO DE 2019

No ano de 2019, vivenciou-se uma inundação de menores proporções, onde o nível de rio Negrinho atingiu 4,94 m inundando áreas localizadas próximas às margens do mesmo. Este evento será considerado na presente análise, pois existem informações sobre a variação horária do nível do rio Negrinho.

Para este evento, as Estações P-Alegre e P-Industrial do CEMADEN não apresentam valores expressivos para o mês de maio e junho de 2019, percebendo-se uma falha relevante em ambas as estações. Logo, para a presente análise, utilizou-se as séries P-Int, P-INMET e P-SAMAE (Figura 9). Observa-se que as estações não interpoladas possuem valores maiores do que a estação interpolada, o que já é esperado porque pontualmente podemos ter chuvas concentradas e os extremos são atenuados ao considerar um valor interpolado que representa uma média ponderada para o centroide da área. De qualquer forma, observa-se que este evento foi longo, com uma semana bastante chuvosa, com apenas dois dias de chuvas reduzidas em 25 e 26 de maio.

Figura 9 – Hietogramas das estações P-Int, P-INMET e P-SAMAE para 2019.

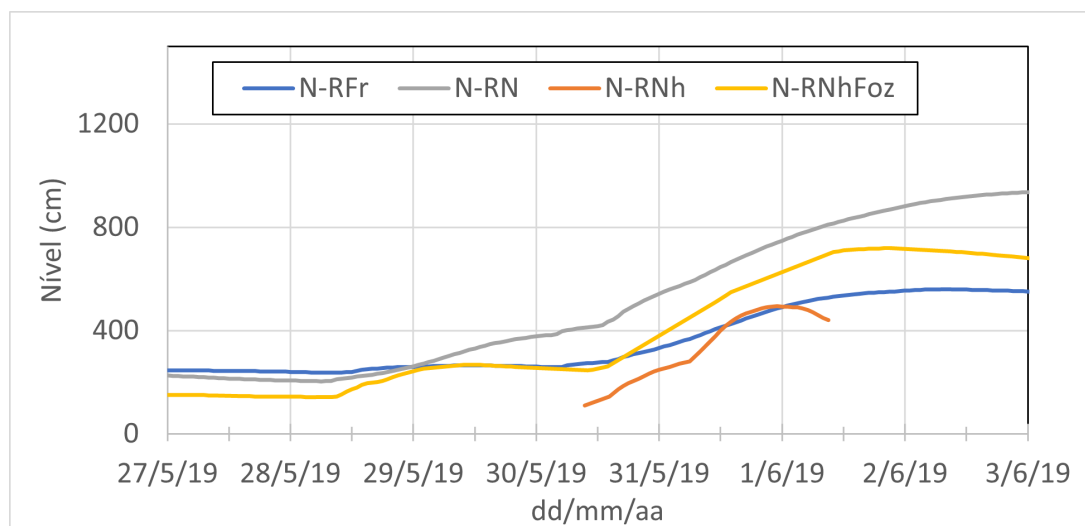


Fonte: Os autores (2023).

Foram considerados para análise os níveis obtidos com discretização horária do evento para as estações N-RN, N-RFr, N-RNh e N-RNhFoz (Figura 10). Ressalta-se que a identificação da estação N-RNh não representa a mesma estação do que em

2014, pois esta não possui valores disponíveis para anos posteriores a 2018, e a nomenclatura N-RNh passou a se referir aos dados do evento obtidos pela SAMAE, como mencionado anteriormente. Observa-se que o nível no rio Negrinho a montante tem um aumento expressivo até 10 horas do dia 31/05/2019, fazendo com que o aumento médio do nível fosse de aproximadamente 10,4 cm/h. Comparando-se a Estação Rio Negrinho Montante com as Estações do rio Negro, o nível tem uma resposta muito mais rápida aos eventos chuvosos em rio Negrinho. Com relação à N-RNhFoz, observa-se que sua ascensão aconteceu em quatro dias com uma taxa média de 5,3 cm/h, um tempo muito menor do que em N-RNh. A recessão de N-RNhFoz aconteceu a uma taxa aproximada de 2,5 cm/h. Este fato apresenta uma necessidade de se observar a montante quando o evento de precipitação estiver acontecendo, mas para a foz depois que ele ocorreu, pois existe a tendência de aumento do nível nas 24 horas após o evento chuvoso.

Figura 10 – Hidrogramas de nível com discretização horária das estações N-RFr, N-RN, N-RNh e N-RNhFoz para 2019.

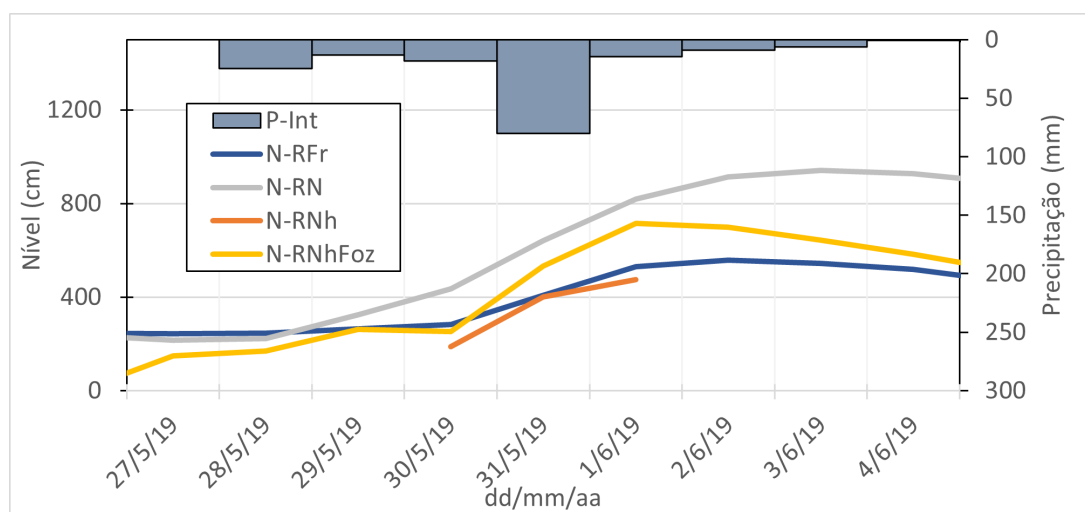


Fonte: Os autores (2023).

Para uma compreensão global do evento chuvoso, observou-se o hietograma interpolado (P-Int) com os níveis médios diários nas estações do rio Negrinho (N-RNh e N-RNhFoz) e do rio Negro (N-RFr e N-RN) (Figura 11). Em poucas horas depois do fim do evento chuvoso as N-RNh e N-RNhFoz pararam de aumentar e o seus níveis se reduziram (Figura 10). O mesmo não acontece com as estações do rio Negro. Assim

os possíveis efeitos de remanso provocados pelo rio Negro em rio Negrinho possuem um deslocamento com relação ao fenômeno de precipitação, maximizando possíveis problemas para eventos de chuva longos (mais do que 3 dias). No presente caso analisado não se observa o efeito de remanso, já que o nível do rio Negrinho consegue reduzir ao longo do tempo, quanto os níveis do rio Negro continuam aumentando. Isso provavelmente se deve a magnitude intermediária deste evento de inundação.

Figura 11 – Hidrogramas de nível e hietograma considerando a discretização diária.



Fonte: Os autores (2023).

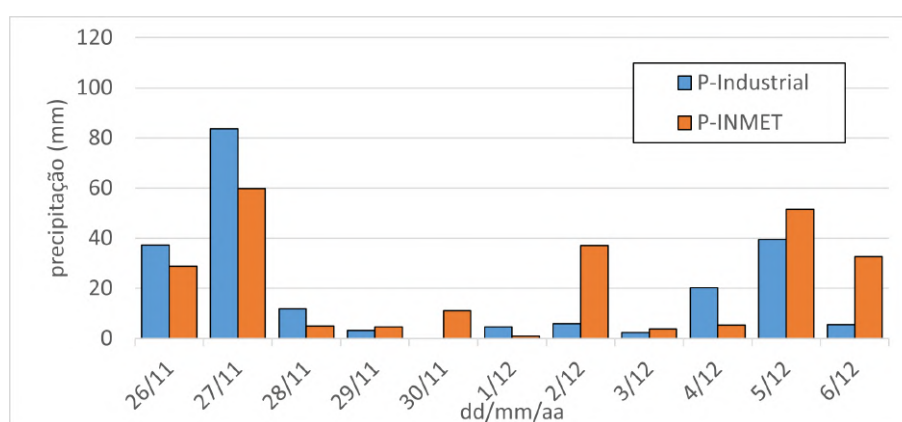
3.5 INUNDAÇÃO DE 2022

De forma semelhante ao evento de 2019, analisamos o evento de 2022, mesmo sendo uma inundação com baixos prejuízos. Novamente, os funcionários da SAMAE fizeram a observação dos dados de nível do rio Negrinho próximo à captação de água. Em 2022, o município implementou um sistema de câmera com transmissão disponível em <<https://defesacivil.rionegrinho.sc.gov.br/>> no item "Câmera Rio Negrinho - SAMAE". Esta iniciativa surgiu do trabalho de funcionários da Prefeitura e SAMAE e tem auxiliado na aquisição de informação e nos alertas a inundação no município.

Com relação aos volumes precipitados, na data em que a presente análise foi realizada, ainda não existiam dados disponibilizados da ANA para novembro e dezembro de 2022, logo, a P-Int não pode ser obtida. A P-Alegre apresentou valores irreais, com precipitação de 100 mm em 10 minutos, sendo assim, esta não foi considerada.

As estações P-Industrial e P-INMET apresentaram valores coerentes com o evento ocorrido (Figura 12). Antes do dia 26 de novembro, não ocorreram chuvas por mais de uma semana. As precipitações iniciaram com uma intensidade moderada no primeiro dia e aumentaram bastante no segundo dia. No terceiro, quarto e quinto dia ocorreram precipitações com menor volume. Nos dias seguintes ocorreram precipitações com maior volume, mas não com intensidade que gerassem prejuízos decorrentes de inundações.

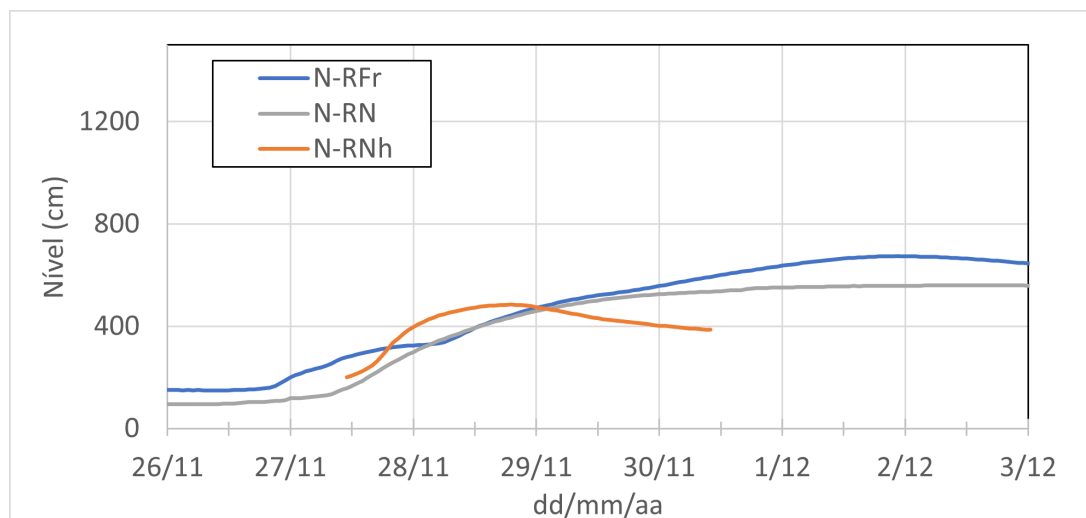
Figura 12 – Hietogramas das estações P-Industrial e P-INMET para 2022.



Fonte: Os autores (2023).

Observa-se que o nível no rio Negrinho teve um aumento expressivo até às 20 horas do dia 28/11/2022, fazendo com que o aumento médio do nível fosse de aproximadamente 9,2 cm/h, um valor menor do que o observado em 2019. Isso pode ter ocorrido por não existir um grande volume antecedente de chuva em 2022, fazendo com que a perda por infiltração e armazenamento reduzisse o volume da precipitação efetiva.

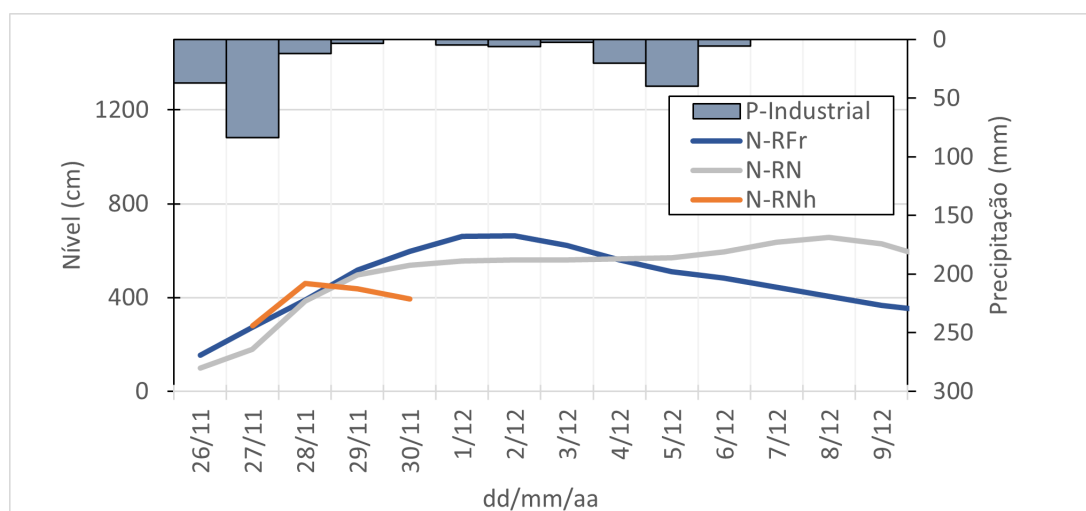
Figura 13 – Hidrogramas de nível com discretização horária das estações N-RFr, N-RN e N-RNh para 2022.



Fonte: Os autores (2023).

Tanto o nível máximo da estação N-RN quanto o da N-RFr foram bastante tardios com relação ao pico de intensidade das precipitações (Figura 14). O tempo de pico foi de aproximadamente 5 dias para N-RFr. A resposta de N-RN foi longa a ponto de eventos de chuva que ocorreram uma semana depois ainda contribuírem para o nível permanecer aumentando. Neste evento também não se observou a relevância do remanso provocado pelo rio Negro para a inundação em Rio Negrinho.

Figura 14 – Hidrogramas de nível e hietograma considerando a discretização diária.



Fonte: Os autores (2023).

3.6 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

A análise dos eventos apresentada possibilita evidenciar diversos pontos importantes a serem levados em consideração no aperfeiçoamento da compreensão dos eventos de inundações locais para viabilizar as melhores tomadas de decisões, sendo eles:

- Existe necessidade de realizar constantes manutenções nas estações existentes. Nos eventos de inundações de 2019 e 2022 que não foram severos, as estações telemétricas do CEMADEN e EPAGRI possuíram falhas. Garantir seu funcionamento é essencial, visto que podem, inclusive, auxiliar no sistema de alerta a ser criado;
- Existe uma grande necessidade de realizar o monitoramento do nível em Rio Negrinho com a aquisição automática dos dados. O formato atual com as imagens de vídeo para alertar o aumento do nível do rio é importante, principalmente para sensibilizar e auxiliar a população, entretanto, para se realizar análises mais profundas e consistentes do evento ocorrido, é necessária uma série temporal. Recomenda-se a reativação das estações localizadas próxima às réguas da SAMAE, gerenciada pelo CEMADEN, Ponte Ipiranga, e da estação próxima a exutória do rio Negrinho (N-RNhFoz), assim como a localizada na fazenda Souza (N-RNh).
- Existe a necessidade de implantação de estações pluviométricas automáticas a montante da bacia hidrográfica do rio Negrinho. Assim, é possível ter uma avaliação mais correta da influência do volume precipitado na bacia. As estações atuais estão muito próximas do meio urbano, faltando informações para a área rural.
- A elevação do rio Negrinho nas réguas limnimétricas da SAMAE aconteceu entre 9,2 cm/h a 10,4 cm/h para 2022 e 2019, respectivamente. Ambos os eventos analisados tiveram intensidade pluviométrica alta, entretanto não causaram

inundações severas. Assim, espera-se que esta taxa de crescimento do nível do rio possa ser maior para volumes pluviométricos maiores. Percebeu-se uma sensibilidade destes valores com relação ao volume precipitado anteriormente, assim, deve-se manter a atenção para o nível do rio em situações de chuvas antecedentes, onde o solo está em condições de saturação (muito úmido).

- As inundações de 1992 e 2014 tiveram um volume acumulado de três dias de aproximadamente 250 e 300 mm, respectivamente. Enquanto que em 2019 e 2022 o valor acumulado de três dias foi aproximadamente de 150 mm. Nos estudos de Mühlbauer (2017), observou-se o acumulado de cinco dias como o valor adequado para a identificação das inundações. Assim, por questão de segurança, aconselha-se avaliar tanto o acumulado de três dias quanto o de cinco dias como indicadores para o alerta a inundações.
- Na inundação de 2014, observa-se que o nível do rio Negrinho teve uma recessão muito lenta, assemelhando-se ao nível da estação de Fragosos, diferente de 2019 e 2022. Isso indica uma possível influência do rio Negro sobre o rio Negrinho, mesmo na estação a montante. Observa-se que o valor atingido em Fragosos para 2014 foi de 6,9 m e em rio Negro de 13,4 m, enquanto que em 2022 Fragosos atingiu um valor elevado de 6,6 m (semelhante a 2014) e o rio Negro de 6,5 m (muito menor do que 2014). De forma complementar, pode ser observado, para o ano de 2019 que contava com os dados de N-RNhFoz, que os valores de nível na foz do rio Negrinho foram dois metros maiores do que a N-RFr para o dia 01/06/2019, quanto que no dia 29/05/2019 ambos possuíam o mesmo nível. Assim, a elevação de nível em Rio Negrinho pode ser expressivamente mais elevada do que em Fragosos. Isso cria uma hipótese que, para avaliar a influência do remanso no rio Negrinho, devemos manter a atenção na estação de Rio Negro e não na de Fragosos.

As estações instaladas nos estudos de Mühlbauer (2017) podem ter papel crucial na obtenção de informações hidrológicas para o município. Estas estações

merecem possuir as devidas manutenções e disponibilização dos dados adquiridos em tempo real. Assim, recomenda-se fortemente que algum órgão municipal/regional se responsabilize por manter este importante e necessário serviço.

4 MODELAGEM HIDROLÓGICA

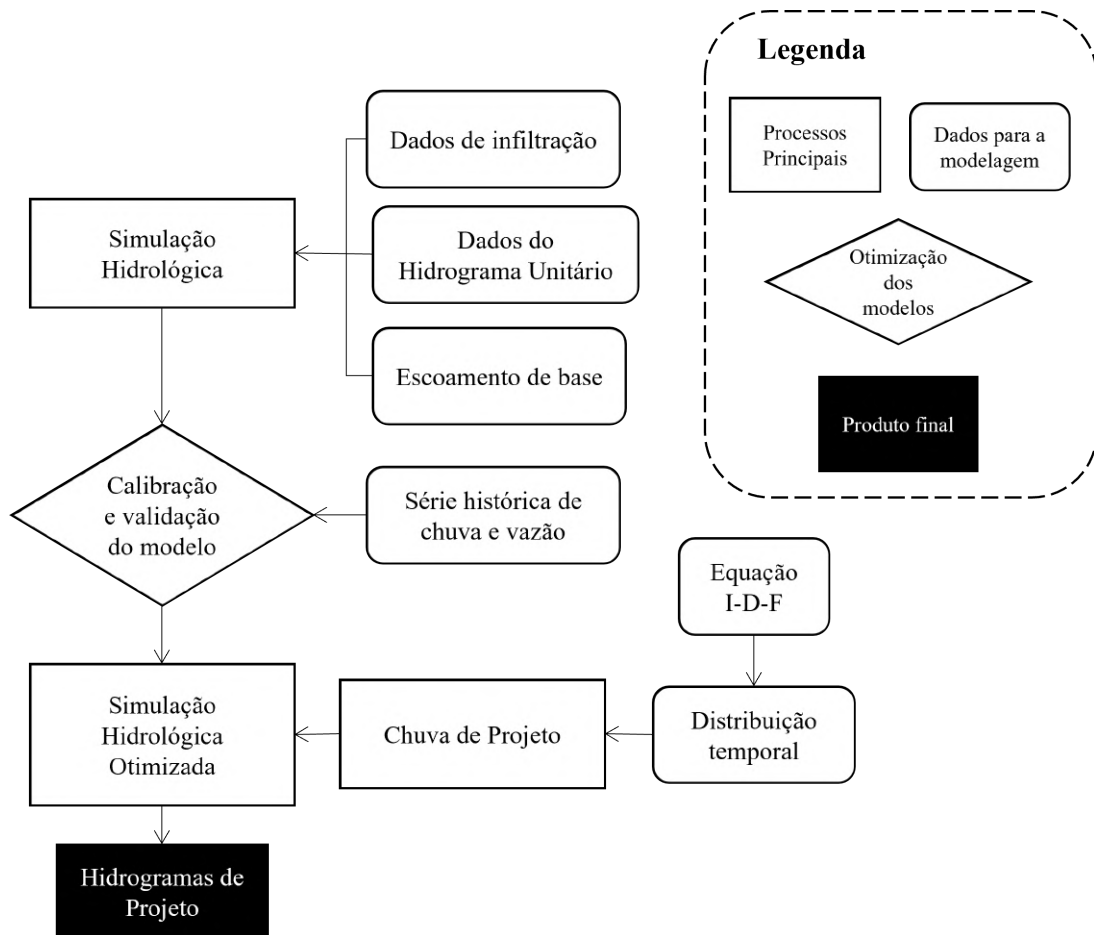
A modelagem hidrológica no presente trabalho foi utilizada para obter os hidrogramas que fornecem as vazões dos principais rios que adentram a área urbana, e que estão diretamente relacionados com as inundações potenciais na localidade. Assim, foi aplicado um Modelo Chuva-Vazão amplamente utilizado denominado HEC-HMS para sub-bacias do rio Negrinho, rio dos Bugres e rio Serrinha. Os dados hidrológicos aqui apresentados também foram inseridos no modelo HEC-RAS para a área inundável e este procedimento é apresentado no capítulo denominado Modelagem Hidrodinâmica.

O modelo hidrológico foi inicialmente submetido a testes de calibração e validação para a otimização dos parâmetros adotados. Posteriormente, ele foi utilizado para a criação de hidrogramas para o evento de 2004, os quais foram utilizados para calibrar o modelo hidrodinâmico posteriormente. Ainda, foram obtidos os hidrogramas de projeto para os períodos de retorno definidos no presente projeto a partir de chuvas de projeto (Figura 15). Os hidrogramas foram utilizados como dados de entrada no modelo hidrodinâmico para criar os mapas de inundação, que compõem o mapa de perigo de inundação.

4.1 HEC-HMS

O *Hydrologic Modeling System* (HMS), sistema de modelagem hidrológica, permite simular processos hidrológicos dentro de bacias hidrográficas (USACE-HEC, 2021) e foi utilizado para determinar as vazões de contribuição da área de estudo para avaliar a inundação nesta região. As simulações são feitas de acordo com os métodos escolhidos para o cálculo de perda da chuva, transformação da chuva em escoamento superficial e escoamento base, sendo esses o *SCS Curve Number* (USDA, 1986), o Hidrograma Unitário de Clark (CLARK, 1945) e o Método Constante por Mês, respectivamente. Os efeitos da evapotranspiração foram desconsiderados da simulação por se tratar de eventos chuvosos com duração de poucos dias.

Figura 15 – Fluxograma do modelo hidrológico.



Fonte: Os autores (2023).

O *SCS Curve Number* (USDA, 1986) estima a precipitação efetiva, que será propagada no escoamento sobre a superfície do solo e pelos seus múltiplos canais (TUCCI, 2012), em função da precipitação acumulada e do parâmetro *Curve Number* (CN). Assim, a precipitação efetiva é resultado da análise das características da cobertura e uso do solo da bacia hidrográfica em conjunto com um evento de precipitação.

O Hidrograma Unitário de Clark (CLARK, 1945) transforma a precipitação efetiva em escoamento superficial através de estratégias de convolução e adição de um hidrograma unitário representativo. Os parâmetros utilizados na sua aplicação são o tempo de concentração e o coeficiente de armazenamento da bacia hidrográfica modelada (MONTEIRO; KOBAYAMA, 2013).

Por fim, o escoamento de base é considerado por um valor constante para cada

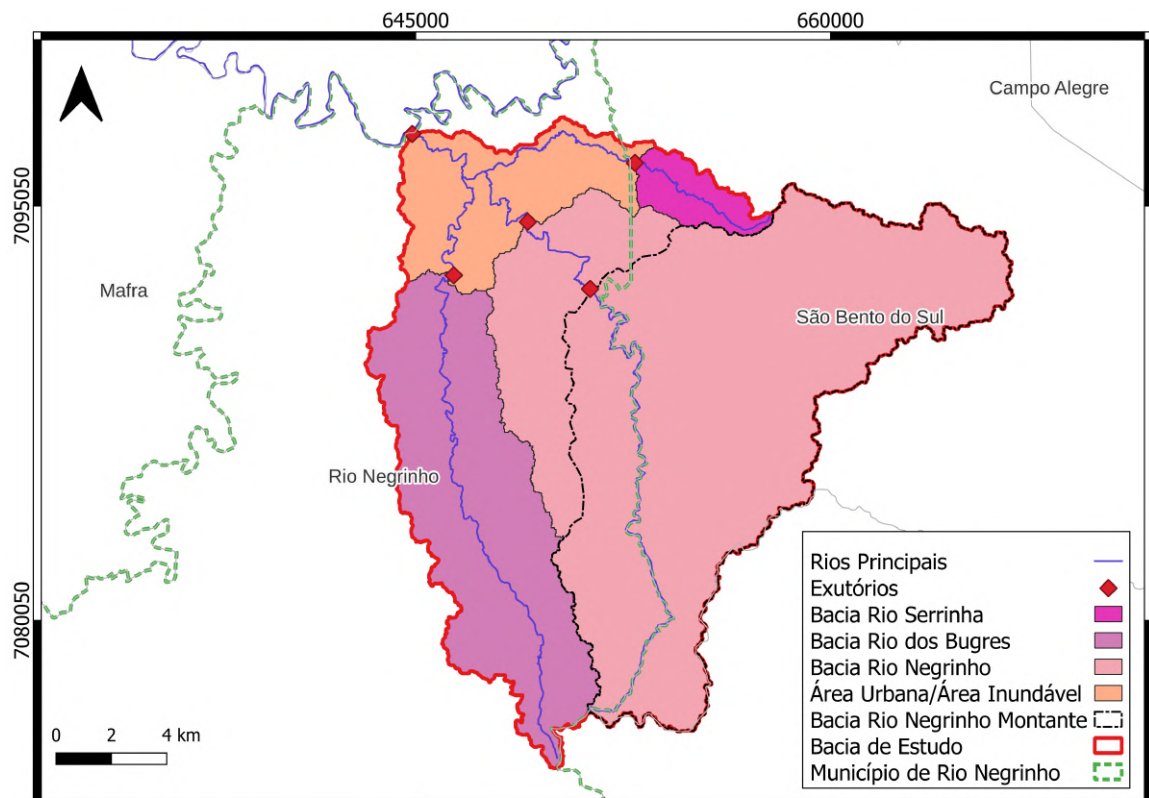
mês do ano. Este método simplificado pode ser considerado quando o escoamento superficial é muito maior que o escoamento de base, como no caso de eventos de inundação em bacias relativamente pequenas, onde o tempo de resposta para um evento chuvoso acontece em poucos dias ou até horas.

4.2 DADOS DE ENTRADA

4.2.1 Propriedades das sub-bacias hidrográficas

Nos seguintes procedimentos serão apresentadas as propriedades das sub-bacias hidrográficas que forneceram as vazões para a área inundável (Rio dos Bugres, Rio Serrinha e Rio Negrinho), e também da sub-bacia utilizada para a calibração e validação do modelo (Rio Negrinho Montante) (Figura 16).

Figura 16 – Organização das sub-bacias para o presente estudo.



Fonte: Os autores (2023).

As propriedades das sub-bacias podem ser separadas em dados de geometria, área, latitude e longitude de seus centroides, cota do exutório e da nascente do

rio principal e comprimento axial (Tabela 1), e dados específicos, CN, tempo de concentração da bacia, coeficiente de armazenamento e escoamento base mensal, resultantes dos dados de geometria e de outras análises, que serão usados diretamente nos cálculos da modelagem hidrológica.

Tabela 1 – Geometria das sub-bacias hidrográficas.

Rio Principal	Rio dos Bugres	Rio Serrinha	Rio Negrinho	Rio Negrinho Montante
Área (km ²)	71,2	8,5	193,4	157,3
Latitude do exutório	S 26°21'19"	S 26°16,57"	S 26°19'5"	S 26°17'08"
Longitude do exutório	O 49°31'24"	O 49°26'52"	O 49°26'41"	O 49°29'03"
Cota do exutório (m)	785,2	807,1	782,9	783,7
Cota da nascente (m)	930,3	916,3	968,9	968,9
Comprimento axial (km)	24,0	6,9	31,3	25,8

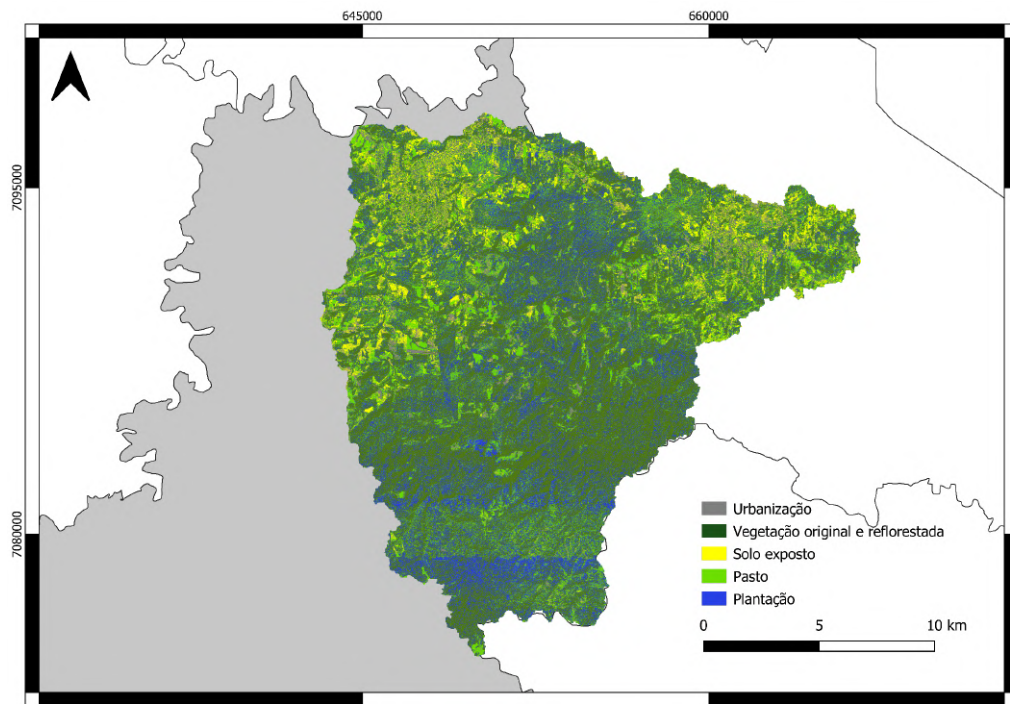
Fonte: Os autores (2023).

A área de estudo se localiza no estado de Santa Catarina, onde sob responsabilidade da Secretaria do Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS). Esse produto, disponível no Sistema de Informações Geográficas do Estado de Santa Catarina (SIGSC) na plataforma eletrônica: <<http://sigsc.sds.sc.gov.br/>>.

Para determinar o valor de CN, foram analisadas as características de uso e ocupação do solo de cada sub-bacia a partir das fotos aéreas disponíveis no Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina (SIGSC) da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS/SC, 2021). O levantamento aerofotogramétrico foi realizado entre os anos de 2010 e 2012. As imagens foram reclassificadas de acordo com seus espectro de cores para identificar os diferentes tipos de uso do solo (Figura 17), sendo esses: urbanização, vegetação original ou reflorestada, solo exposto, pasto ou plantação. Cada uso de solo possui um valor único característico de CN (Tabela). Para isso, utilizou-se o *Semi Automatic Classification plugin* do software

de geoprocessamento QGIS (QGIS, 2021), que permite coletar amostras das imagens aéreas manualmente e classificá-las de acordo com o espectro de cores dominante em cada uma, essas são então processadas e classificadas automaticamente de acordo com as cores.

Figura 17 – Classificação do uso de solo.



Fonte: Os autores (2023).

Tabela 2 – Valores de CN por uso do solo.

Uso do Solo	CN	Uso do Solo	CN
Pasto	75	Solo Exposto	91
Vegetação Original	70	Plantação	84
Urbanização	90		

Fonte: Os autores (2023).

O tempo de concentração, T_c , de uma bacia hidrográfica é aquele necessário para que toda a bacia esteja contribuindo na seção de saída (SILVEIRA, 2005). Para cada bacia do estudo foi utilizado o valor médio dos tempos em horas, calculados a partir das equações empíricas de Kirpich (KIBLER, 1982) (1), Ven te Chow (CHOW,

1962) (2) e Corps Engineers (LINSLEY; KOHLER; PAULHUS, 1977) (3)

$$T_c = 0,0663L^{0,77}S^{-0,385}, \quad (1)$$

$$T_c = 0,160L^{0,64}S^{-0,32}, \quad (2)$$

$$T_c = 0,191L^{0,76}S^{-0,19}, \quad (3)$$

onde L é o comprimento axial da bacia e S a declividade média da bacia.

O coeficiente de armazenamento K_c de uma bacia hidrográfica corresponde a um coeficiente empírico que representa o tempo de armazenamento temporário em horas. Os valores das bacias de estudo foram determinados pela Equação 4 adaptada de (DOOGE, 1973)

$$K_c = 80,7A^{0,23}S^{-0,7} \quad (4)$$

onde A é a área da bacia hidrográfica. O CN , T_c e K_c podem ser observados na Tabela 3 para as sub-bacias hidrográficas.

Tabela 3 – Dados específicos das sub-bacias hidrográficas.

Rio Principal	Rio dos Bugres	Rio Serrinha	Rio Negrinho	Rio Negrinho Montante
CN	88,6	89,8	88,4	88,2
Tempo de concentração (horas)	5,7	1,7	7,0	5,7
Coeficiente de armazenamento (horas)	61,04	19,0	77,8	65,0

Fonte: Os autores (2023).

O escoamento de base mensal para cada sub-bacia estudada foi determinado a partir da relação entre as áreas de drenagem dessas com a das estações fluviométricas códigos 65093000 e 65095000. Para cada estação, foram coletados dados de vazão de três dias consecutivos de cada mês para os anos de 2005 a 2009, sendo esses três dias sem a ocorrência de chuva, ou seja, em que a vazão seja de um escoamento de

base, pois o seu tempo de concentração é de poucas horas. Assim, fez-se uma média do escoamento para cada mês nessas estações e calculou-se os valores ponderados pela área para as sub-bacias estudadas. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Escoamento base mensal das sub-bacias hidrográficas, em m³/s.

Mês	Rio dos Bugres	Rio Serrinha	Rio Negrinho	Rio Negrinho Montante
Janeiro	0,67	0,08	1,82	1,48
Fevereiro	1,52	0,18	4,13	3,36
Março	0,92	0,11	2,51	2,04
Abril	0,87	0,10	2,36	1,92
Maio	0,72	0,09	1,95	1,59
Junho	0,56	0,07	1,53	1,25
Julho	0,58	0,07	1,57	1,28
Agosto	0,74	0,09	2,00	1,63
Setembro	0,42	0,05	1,13	0,92
Outubro	0,63	0,08	1,72	1,40
Novembro	0,50	0,06	1,37	1,11
Dezembro	1,08	0,07	1,33	2,39

Fonte: Os autores (2023).

4.2.2 Chuva

Os dados de chuva utilizados são separados em dois tipos. As **chuvas observadas**, necessárias para a calibração e validação do modelo hidrológico e do modelo hidrodinâmico e as **chuvas de projeto** provenientes de equação I-D-F, utilizadas para criar os mapas de perigo de inundação.

Com relação às **chuvas observadas** elas são provenientes de estações pluviométricas da região de Rio Negrinho e municípios vizinhos presentes na plataforma HIDROWEB (Quadro 1 e Figura 18). Para aproximar os valores de chuva de cada estação a um valor que correspondesse ao precipitado na área de estudo, utilizou-se do método de interpolação ponderada das chuvas considerando o inverso das distâncias ao quadrado de cada estação com relação ao centroide da área de estudo. Nesta etapa de calibração e validação do modelo, considerou-se a sub-bacia formada pelo exutório

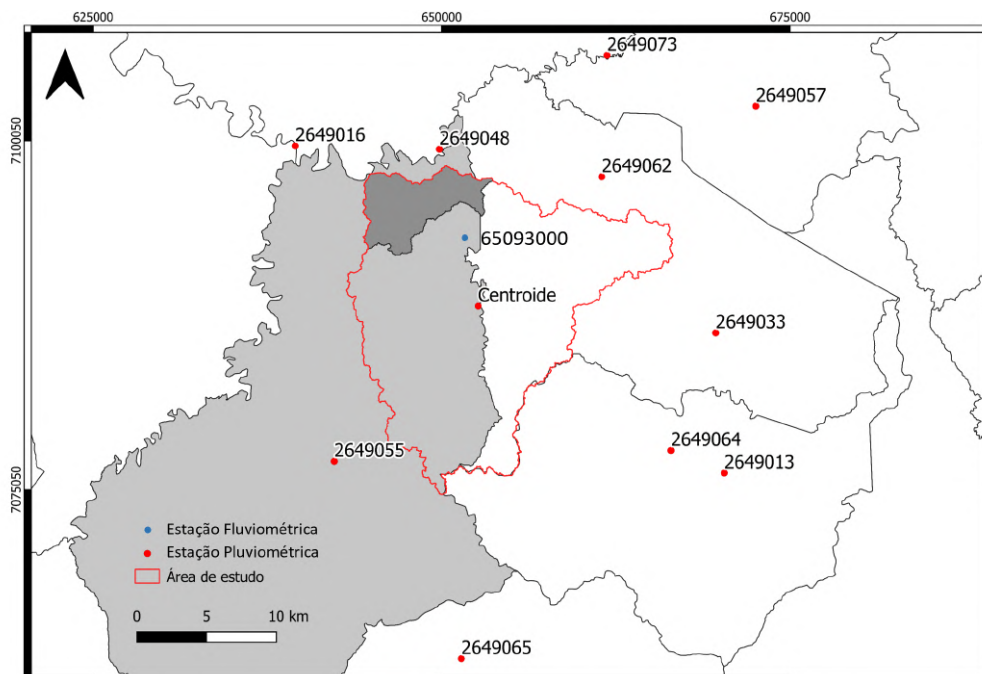
na posição da estação fluviométrica - Rio Negrinho Montante (código 65093000 - ANA).

Quadro 1 – Estações pluviométricas presentes no HIDROWEB.

Código	Nome	Localização	Período de funcionamento	Distância (km)
2649073	Fragosos	Piên	1999 a 2009	20,2
2649065	Barra do Avençal	Rio dos Cedros	1984 a 2015	17,2
2649064	Rio Novo	Corupá	1984 a 2021	12,8
2649062	São Bento do Sul	São Bento do Sul	1976 a 1988	24,5
2649057	Campo Alegre	Campo Alegre	1976 a 2019	15,1
2649055	Corredeira	Rio Negrinho	2019 a 1976	11,5
2649048	Posto Rodrigues	Rio Negro	1975 a 1990	13,8
2649033	Rio Natal	São Bento do Sul	1939 a 1984	20,2
2649018	Fragosos	Piên	1967 a 2015	17,4
2649016	Rio Preto do Sul	Mafra	1950 a 2010	21,3

Fonte: Os autores (2023).

Figura 18 – Estações pluviométricas.



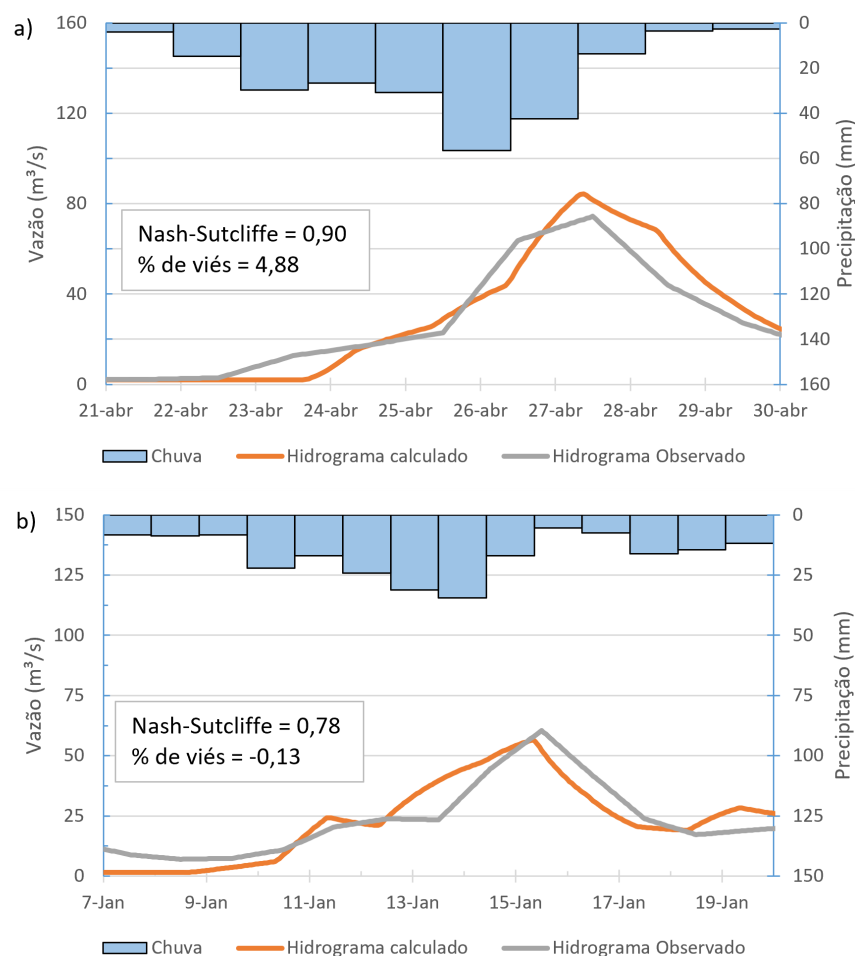
Fonte: Os autores (2023).

De forma distinta, as **chuvas de projeto** para simulação de projeto foram criadas a partir da equação IDF de Back e Bonetti (2014), a ser apresentada posteriormente, e foram aplicadas nas sub-bacias que fornecem vazão para a área inundável de interesse.

4.3 EVENTOS DE CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO

Os dados de vazão da estação Rio Negrinho Montante (código 65093000 - ANA) foram utilizados para realizar a calibração e validação do modelo hidrológico para os períodos de 18 a 30 de abril de 2010 e 3 a 26 de janeiro de 2010. Os parâmetros calibrados foram o tempo de concentração, coeficiente de armazenamento e abstração inicial e o método utilizado foi o *Differential Evolution* com a função objetivo Média dos Quadrados dos Resíduos. Os eventos calibrados e validados apresentaram coeficientes de Nash-Sutcliffe de 0,90 e 0,78 e Porcentagem de Viés de 4,88% e -0,13% (Figura 19). As relações das alterações dos parâmetros calibrados foram aplicadas nas bacias utilizadas para o fornecimento de vazão para a área inundável.

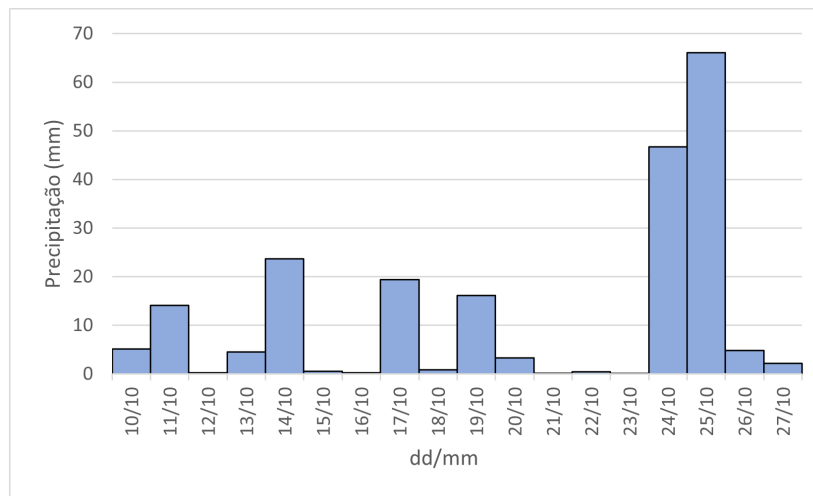
Figura 19 – Hietogramas e hidrogramas para o procedimento de a) calibração e b) validação do modelo hidrológico.



Fonte: Os autores (2023).

Para a validação do conjunto modelo hidrológico e hidrodinâmico utilizou-se os mapas de inundação de 2004 gerados pelo trabalho de Giglio (2010). Este evento ocorreu entre os dias 10 e 27 de outubro de 2004 (Figura 20). Como resultado, obteve-se os dados de escoamento total em m³/s de cada um dos rios principais estudados (APÊNDICE A.1), que serão utilizados para a modelagem hidrodinâmica do evento de validação a ser apresentado no próximo capítulo.

Figura 20 – Precipitação do evento de outubro de 2004.



Fonte: Os autores (2023).

4.4 EVENTOS DE PROJETO

Para as simulações dos eventos de projeto foram criadas as chamadas chuvas de projeto para os tempos de retorno de 5, 20 e 100 anos, obtidas pela Equação 5 de Chuvas Intensas de Rio Negrinho, determinada por Back e Bonetti (2014)

$$I_T = \frac{705,7T^{0,183}}{(t + 8,9)^{0,699}}, \quad (5)$$

sendo I_T a precipitação para um certo tempo de retorno em milímetros, T o tempo de retorno em anos e t o tempo de duração da precipitação em minutos. O tempo de duração da precipitação foi considerada como o tempo de duração crítica da chuva, que, com base nos estudos de Innocente *et al.* (2018), é maior do que o tempo de concentração da bacia. Para respeitar a utilização da Equação IDF de Rio Negrinho optou-se por considerar o tempo de duração da precipitação como aproximadamente o triplo do tempo de concentração da sub-bacia do Rio Negrinho, a maior estudada, resultando no valor de 1200 min.

Com a equação I-D-F são obtidos valores únicos para cada tempo de retorno. Aplicou-se o quarto quartil do método de Huff (HUFF, 1967) para efetivar a distribuição temporal da precipitação nos 1200 minutos, obtendo-se os hietogramas de projeto (Tabela 5).

Tabela 5 – Chuva de projeto.

Tempo (min)	TR5	TR20	TR100
0	0,0	0,0	0,0
60	2,0	2,6	3,5
120	2,0	2,6	3,5
180	1,5	2,0	2,7
240	1,5	2,0	2,7
300	1,5	2,0	2,7
360	1,5	2,0	2,7
420	1,5	2,0	2,7
480	2,0	2,6	3,5
540	2,0	2,6	3,5
600	3,0	3,9	5,3
660	3,0	3,9	5,3
720	3,0	3,9	5,3
780	4,5	5,9	8,0
840	6,0	7,8	10,6
900	8,5	11,1	15,1
960	11,0	14,3	19,5
1020	19,4	25,4	34,6
1080	17,9	23,4	31,9
1140	5,5	7,2	9,8
1200	2,5	3,3	4,4

Fonte: Os autores (2023).

O restante dos parâmetros hidrológicos são os mesmos do evento de validação. Assim como no evento de 2004, como resultado, obteve-se os dados de escoamento total em m³/s de cada um dos rios principais estudados para cada tempo de retorno simulado (APÊNDICE A.2), que serão utilizados para a modelagem hidrodinâmica dos eventos de projeto.

5 MODELAGEM HIDRODINÂMICA

Na modelagem hidrodinâmica foram realizados os cálculos para se obter as inundações na área de interesse de forma numérica. As inundações obtidas desta maneira não representam exatamente o comportamento da inundação na localidade, entretanto, atualmente, é a estratégia mais precisa e exata para se obter virtualmente estes fenômenos. Com a modelagem hidrodinâmica podemos obter com detalhamento espacial e temporal a profundidade da inundação, o nível da inundação, a velocidade da inundação, além de diversas outras características hidrodinâmicas.

No presente trabalho, utilizou-se o HEC-RAS, versão 6.3.1 de forma não permanente e bidimensional. Inicialmente, foi simulado o evento de inundação de 2004 para verificar a aderência do modelo a área inundada de acordo com os estudos de Giglio (2010). Após as adequações no modelo foram simuladas as inundações considerando os hietogramas e hidrogramas de projetos apresentados no Capítulo "Modelagem Hidrológica", obtendo-se as inundações para os tempos de retorno de 10, 20 e 100 anos.

5.1 HEC-RAS

O River Analysis System (sistema de análise de rios) da Hydrologic Engineering Center (HEC-RAS) (USACE-HEC, 2023) é um *software* que permite cálculos de escoamentos permanentes e não permanentes, transporte de sedimentos, qualidade da água, sobre terrenos diversos. No presente projeto, este software foi utilizado para calcular o escoamento não permanente da inundação na área urbana de Rio Negrinho, fornecendo a mancha de inundação, velocidade e profundidade do escoamento, que são utilizados para o mapeamento de perigo e risco.

5.2 DADOS DE ENTRADA

5.2.1 Chuva

Em vista de que a área inundável possui tamanho importante se comparada as áreas das bacias de contribuição, entende-se a necessidade de adicionar a chuva também na área inundável, pelo modelo hidrológico acoplado no modelo hidrodinâmica 2D. Assim, os dados de chuva utilizados são os mesmos das simulações hidrológicas, para o evento de validação e eventos de projeto.

5.2.2 Vazão de entrada para condições de montante

Os dados de vazão de entrada para os rios estudados são resultantes da modelagem hidrológica do evento de 2004 e dos eventos de projeto e foram aplicados nas seções de entrada desses rios no perímetro urbano (Figura 16).

5.2.3 Nível do Rio Negro para condição de jusante

Assim como há dados de entrada aplicados, que são dados de chuva e vazão de cada rio contribuinte, há dados de saída da área estudada, e neste caso são os dados de nível do rio Negrinho, próximo a confluência como rio Negro. Estes dados foram utilizados pela influência do remanso causado pelo Rio Negro.

A Estação Rio Negrinho Foz (EPAGRI), localizada próxima à junção do Rio Negrinho no Rio Negro, foi instalada em janeiro 2016 e teve seu funcionamento encerrado em maio de 2021. Para que esta estação pudesse ser usada diretamente para o presente estudo, ela deveria possuir uma série histórica mais longa. Para viabilizar o presente estudo, obteve-se as informações de nível da Estação Fragosos e Estação Rio Negro, ambas localizadas no rio Negro, respectivamente, a montante e a jusante da confluência com o rio Negrinho e com elas criou-se uma correlação bivariada com a Estação Rio Negrinho Foz. Desta forma, obteve-se a seguinte relação:

$$N_{RNhFoz} = -68.894 + 0.663N_{Frag} + N_{RN}0.305717876 \quad (6)$$

onde N_{RNhFoz} é o nível estimado na Estação Rio Negrinho Foz em centímetros, N_{Frag} é o nível observado na estação Fragosos em centímetros e N_{RN} é o nível observado na Estação Rio Negro em centímetros. O R^2 obtido para este ajuste foi de 0,80 e utilizou-se 1884 dados de nível médio diário de cada uma das três estações para tal. É importante deixar claro que esta relação não substitui as medições em campo, e para realizar estudos explicativos, idealmente, devemos utilizar dados observados.

Com esta equação da regressão, foi possível estimar a série histórica de níveis da localização da Estação Rio Negrinho Foz, onde foram obtidos os níveis para a condição de saída do evento de inundação de 2004, além de se estimar níveis para tempos de retorno de 10, 20 e 100 anos. A estimativa para os tempos de retorno serão apresentadas posteriormente.

5.2.4 Propriedades das sub-bacias e terreno

Para a modelagem hidrodinâmica, as propriedades das bacias hidrográficas são obtidas diretamente pela representação do terreno a partir do Modelo Digital de Terreno (MDT). O MDT foi modificado para considerar a batimetria dos rios, onde foram escavados os leitos dos 3 rios estudados dentro da área urbana de acordo com profundidades determinadas em campo ou digitalmente. Para todo o terreno foram inseridos os valores de Número de Manning, CN, como feito anteriormente para o modelo hidrológico e infiltração (Tabela 4).

5.2.4.1 Pontes

Para que seja possível representar o escoamento da água dos rios na área urbana da forma mais aproximada possível, é necessário também considerar os pontos de singularidade desse escoamento, que neste caso são 19 pontes e travessias (Figura 21). Para cada ponte ou travessia, registrou-se a sua localização, rio que ultrapassa, comprimento, largura, altura, coeficiente de descarga (C_D) e número de Manning (n), no *software* HEC-RAS (Tabela 6). Para obtenção dos valores de comprimento, largura e altura foram utilizados arquivos disponibilizados pela Prefeitura, medições de campo ou

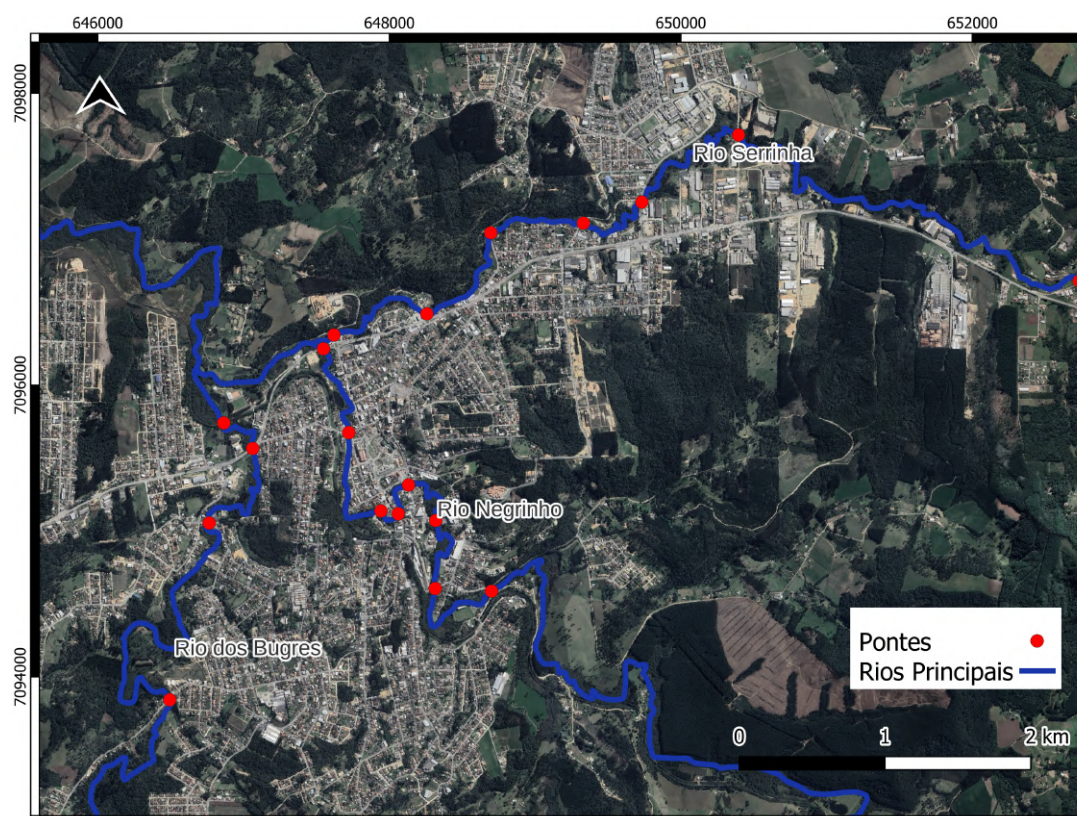
diretamente por mapas, ressalta-se que essas medidas são aproximadas e passíveis de erro devido à dificuldade de encontrá-las ou estimá-las.

Tabela 6 – Dados das pontes e travessias.

Ponte ou travessia	Rio	Compri- mento (m)	Largura (m)	Altura (m)	C_D	n
Ponte Ipiranga	Negrinho	25,0	9,95	0,50	0,63	0,02
Ponte Evaristo	Negrinho	24,6	8,85	0,50	0,63	0,02
Ponte Colégio São José	Negrinho	25,0	10,00	0,50	0,63	0,02
Ponte Cofermaco	Negrinho	25,0	9,95	0,50	0,63	0,02
Ponte Igreja Matriz	Negrinho	16,9	14,60	0,40	0,64	0,02
Ponte Gibaco Arte Ca-seira	Negrinho	26,5	9,25	0,50	0,63	0,02
Ponte Rodovia 280	Negrinho	50,5	11,90	0,50	0,64	0,02
Ponte Pêncil Miner	Negrinho	23,5	2,16	0,10	0,64	0,02
Rua Augusto Gneeding	Serrinha	20,0	8,60	0,50	0,63	0,04
Av. Julieta Simões de Oliveira	Serrinha	25,0	20,30	0,50	0,64	0,04
Rua Martin Schauz	Serrinha	5,0	7,40	0,50	0,63	0,04
Rua Amandus Olsen	Serrinha	6,0	12,00	0,50	0,64	0,04
Rua Carlos Rueckl	Serrinha	20,0	10,00	0,50	0,63	0,04
Rua Wili Jung	Serrinha	30,0	7,90	0,50	0,63	0,04
Rua Joao Munch	Serrinha	6,3	5,80	0,10	0,64	0,04
Rua São Rafael	dos Bugres	50,0	10,60	0,50	0,64	0,04
Rua Dona Francisca	dos Bugres	50,0	10,00	0,50	0,63	0,04
BR 280	dos Bugres	35,0	12,80	0,50	0,64	0,04
Ferrovia	dos Bugres	20,0	4,20	0,50	0,61	0,04

Fonte: Os autores (2023).

Figura 21 – Pontes e travessias da área urbana.



Fonte: Os autores (2023).

5.2.4.2 Coeficiente de Rugosidade e Curve Number

Como no modelo hidrológico, o modelo hidrodinâmico utilizou a classificação de uso do solo apresentadas na Figura 17 e Tabela 2 para a quantificação do CN que age para a perda da precipitação que atinge o solo.

O atrito da superfície sólida que retarda a velocidade do escoamento foi considerado pelo o Número de Manning (n) e foi obtido também através da classificação do uso do solo (Figura 17) de acordo com as especificações da Tabela 7.

Tabela 7 – Valores de n por uso do solo.

Uso do Solo	n	Uso do Solo	n
Pasto	0,035	Solo Exposto	0,03
Vegetação Original	0,100	Plantação	0,04
Urbanização	0,035	Rio	0,04

Fonte: Os autores (2023).

5.2.5 Características computacionais

O *software* permite incluir condições de entrada e saída para o escoamento, sendo assim, as condições de entrada no presente projeto são do tipo *flow hydrograph* (hidrograma de escoamento) para vazões, e as condições de saída são do tipo *stage hydrograph* (hidrograma de nível) para níveis. Ainda, em cada célula de cálculo da área de estudo, adicionou-se o hietograma referente ao evento em questão, fazendo este não apenas um modelo hidrodinâmico, mas sim um modelo hidrodinâmico-hidrológico.

Para os cálculos de escoamento foi escolhido o conjunto de equações chamado de *Shallow Water Equations*, ou Equações de Águas Rasas, de acordo com o Método Euleriano-Lagrangiano. Estas se baseiam na Equação de Conservação de Momento e de Massa para um domínio bidimensional horizontal (USACE-HEC, 2023).

O domínio computacional foi criado a partir de células quadradas com arestas de 15 m. Próximo dos três rios de interesse principal, rio Negrinho, rio dos Bugres e rio Serrinha e das pontes, criou-se um detalhamento para que a malha os representasse mais adequadamente. Próximo aos rios e pontes as células não são necessariamente quadradas, podendo assumir mais faces para realizar os contornos de forma mais adequada, e elas podem ser até 50% mais refinadas para o melhor detalhamento. Para a composição total do terreno foram utilizadas 215 mil células.

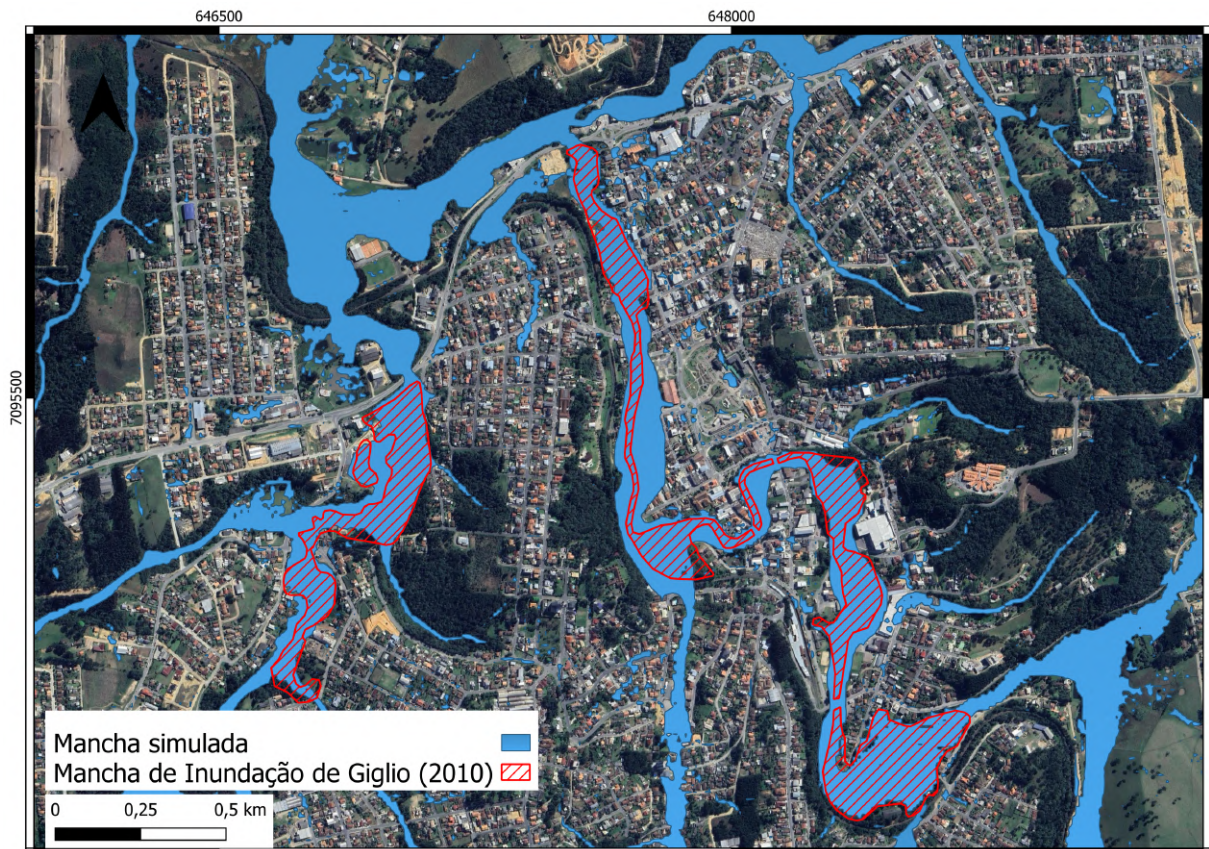
Para a evolução temporal foi utilizado o método do intervalo de tempo adaptativo baseado no Número de Courant. Este método é indicado para realizar um cálculo eficiente, com menor custo computacional ao mesmo tempo que respeita condições de estabilidade. O intervalo de tempo de todas as simulações permaneceram entre 0,5 até 32 segundos. O valor máximo e mínimo para o Número de Courant foram de, respectivamente, 0,7 e 0,3.

5.3 EVENTO DE 2004

Para verificar se o presente modelo é representativo da realidade, este deve resultar em uma mancha de inundação que já se tem conhecimento, neste caso, foi

verificada a correspondência com a mancha obtida por Giglio (2010) para evento de outubro/novembro 2004. Após realizadas as simulações, verificou-se as áreas que deveriam receber mais ou menos água. Com alterações de coeficientes e cotas no terreno obteve-se uma mancha de inundação equivalente à desejada e pode-se prosseguir para os eventos de projeto. O resultado da mancha obtida pela simulação é apresentado na Figura 22 onde também é apresentada a mancha de Giglio (2010) sobreposta para comparação. Percebe-se que na calha do rio Negrinho, próxima à prefeitura e do terminal de ônibus, na Rua Paulo Boehm e parte da Rua Senador Nereu Ramos no modelo apresenta inundação enquanto que o mapa de 2004 não apresenta. Para validar esta informação, verificou-se com representantes da sociedade em reunião, realizada no dia 24 de junho de 2022, se esta região era passível de inundações frequentes, e foi mencionado que sim, esta é uma das primeiras regiões que ocorre transbordamento do rio Negrinho.

Figura 22 – Resultado do evento de 2004.



Fonte: Os autores (2023).

5.4 EVENTOS DE PROJETO

Os eventos de projeto foram criados a partir das chuvas, hidrogramas e níveis de projeto, e resultaram nas inundações utilizadas para a criação do mapa de perigo a partir das velocidades e profundidades do escoamento calculado. As chuvas e hidrogramas de projeto já foram determinados anteriormente e as características das bacias hidrográficas são as mesmas do evento de 2004, faltando apenas definir os níveis da condição de contorno de jusante de projeto.

Como mencionado anteriormente, obteve-se a série histórica criada a partir da regressão bivariada para o nível no ponto da Estação Rio Negrinho Foz. Com esta série histórica, os valores dos níveis para os tempos de retorno foram determinados a partir do método probabilístico de Gumbel, este que é geralmente utilizado para chuva. No presente projeto, este método foi utilizado para determinação de níveis utilizando os valores máximos diários anuais do ano de 1997 até 2022. Assim, foram obtidos os valores de nível para tempos de retorno de 5, 20 e 100 anos (Tabela 8).

Tabela 8 – Valores de nível obtidos para diferentes períodos de retorno para a posição da Estação Rio Negrinho Montante.

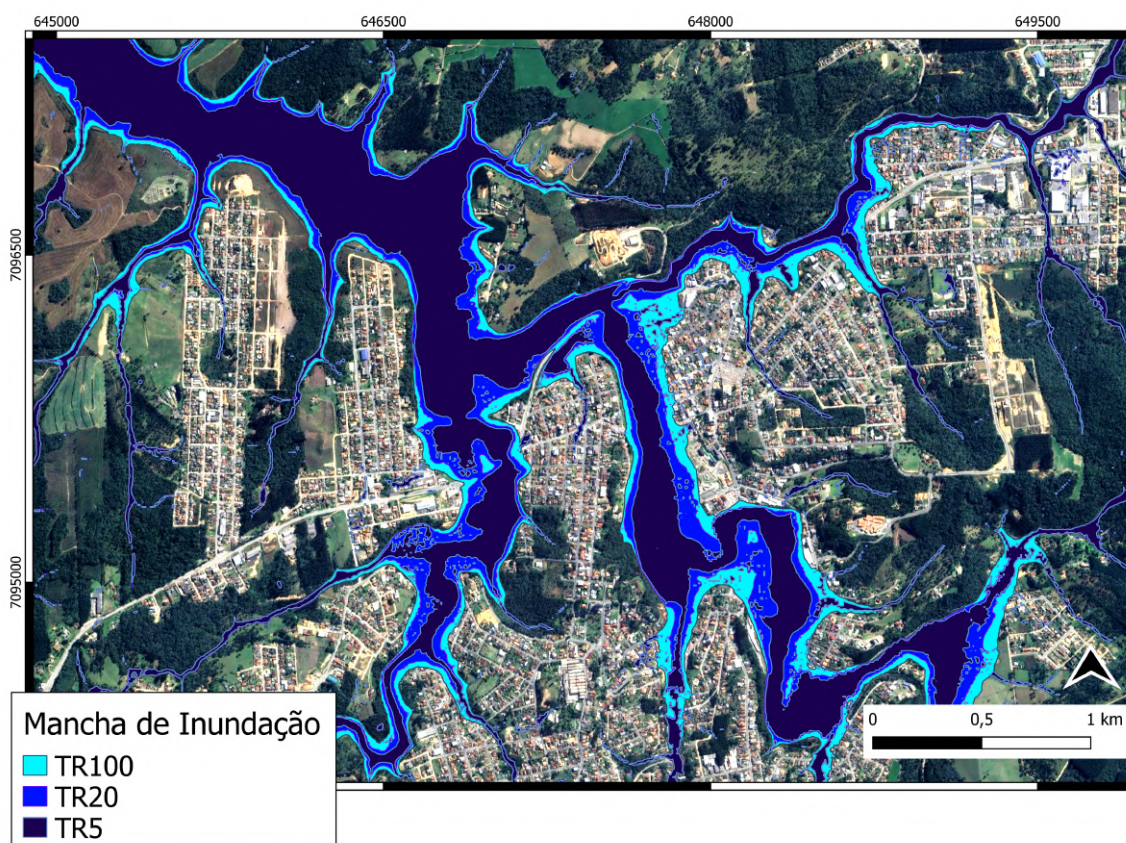
Tempo de Retorno (anos)	Nível no Ponto da Estação Rio Negrinho Montante (m)
5	6,18
20	9,10
100	12,50

Fonte: Os autores (2023).

Após a conclusão das simulações de projeto, obteve-se as inundações de projeto para os tempos de retorno de 5, 20 e 100 anos (Figura 23 e Tabela 9). Pode-se observar que o tempo de retorno de 5 anos já possui uma área expressiva de inundação, aumentando 18% para o de 20 anos e 64% para 100 anos. Essa alta área inicial e aumento relativo pequeno ocorre porque a área urbana de Rio Negrinho encontra-se em região declivosa. Assim, para que uma grande área seja inundada necessariamente teremos um grande aumento de nível também. Construções que estão próximas ao

leito do rio ficarão com muitos metros de baixo da água, podendo ultrapassar oito metros de profundidade.

Figura 23 – Resultado do evento de projeto.



Fonte: Os autores (2023).

Tabela 9 – Valores de área inundada por período de retorno.

Tempo de Retorno (anos)	Área inundada (km ²)	Diferença Relativa
5	3,36	
20	4,24	18%
100	5,30	64%

Fonte: Os autores (2023).

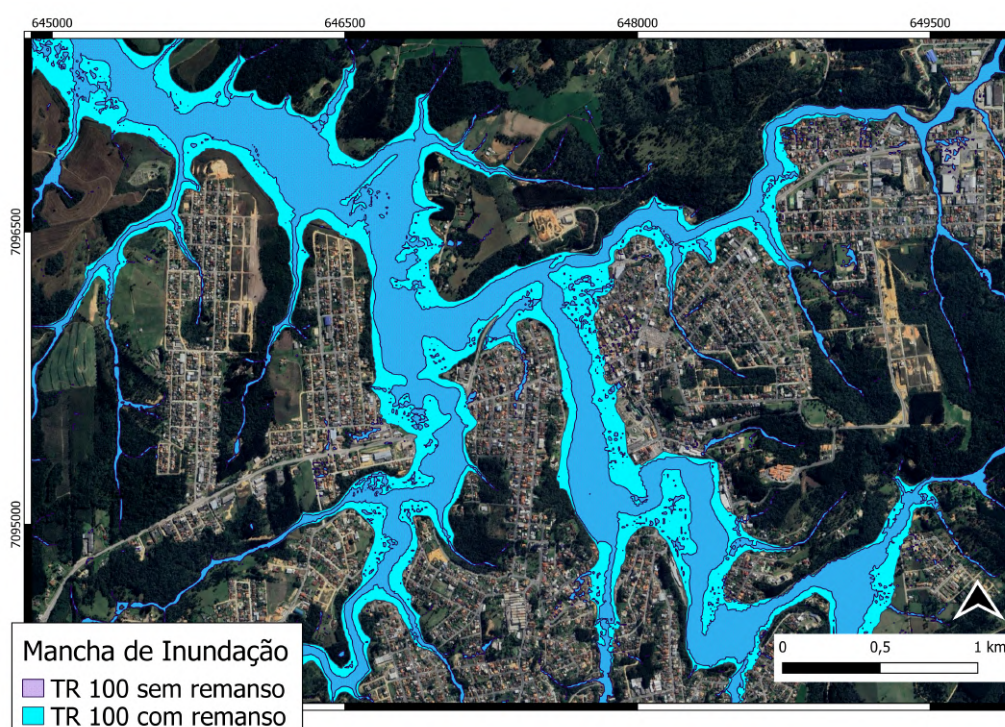
Estas simulações também calcularam os mapas de profundidade de inundação e velocidade de inundação para cada período de retorno (Anexo B). Observando-se a velocidade do escoamento para os diferentes tempo de retorno (Anexo B.2), temos que apenas o rio Serrinha e pequenos tributários próximo a nascente possuem maiores velocidades. Estas velocidades elevadas apresentam um potencial para a criação

de inundações com alta energia de transporte, denominadas inundações bruscas ou enxurradas. Assim, deve-se ter atenção especial nestes pontos, pois estes eventos podem serem formados repentinamente e possuem energia suficiente para danificar construções. Com estas informações, pode-se seguir então para a criação dos mapas de perigo, a serem apresentadas no próximo capítulo.

5.5 IMPORTÂNCIA DO REMANSO PARA GRANDES INUNDAÇÕES

Para se verificar a importância da condição de remanso nas situações mais severas, comparou-se a simulação de tempo de retorno de 100 anos, apresentada anteriormente, com uma nova simulação também considerando as mesmas condições de entrada, entretanto para a condição de saída considerou-se uma condição normal com declividade de 0,001 m/m (Figura 24 e Apêndice: Figura 43). Esta nova condição considera a saída livre, como se não existisse a problemática do remanso. A comparação apresenta que o remanso provoca um aumento de 35% da área inundada e um aumento na profundidade de escoamento de aproximadamente 6 metros.

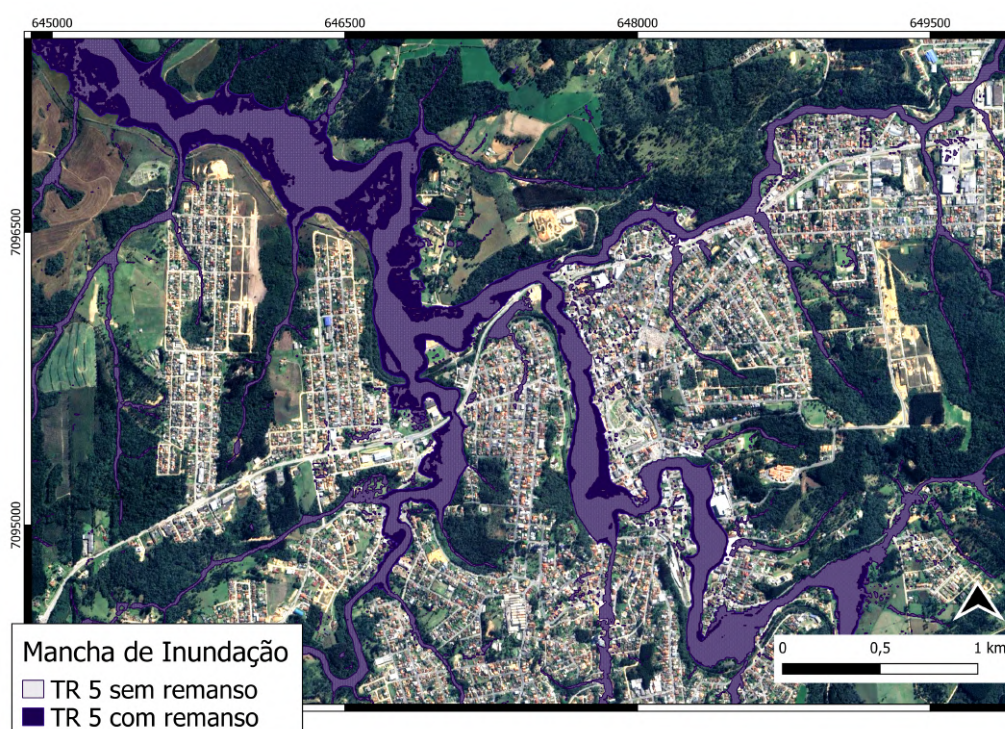
Figura 24 – Comparação entre manchas de inundação para tempo de retorno de 100 anos com e sem a condição de remanso.



Fonte: Os autores (2023).

Para identificar se o mesmo comportamento é percebido para as inundações mais frequentes, realizou-se o mesmo procedimento para o tempo de retorno de 5 anos (Figura 25). Percebe-se um aumento de aproximadamente 2,5 metros na profundidade da inundação por causa do remanso e apenas áreas próximas ao encontro com o rio Negro, parte do centro urbano e a jusante do rio dos Bugres foram afetadas com o aumento da área de inundação de 19%.

Figura 25 – Comparação entre manchas de inundação para tempo de retorno de 5 anos com e sem a condição de remanso.



Fonte: Os autores (2023).

É importante evidenciar que uma barragem (ou dique) de contenção colocada a jusante do rio Negrinho para impedir o avanço do remanso do rio Negro, não possuirá o mesmo efeito do que as análises apresentadas aqui, neste item. É de extrema importância que, caso haja a intenção de se construir qualquer estrutura, os efeitos desta construção no regime hidrodinâmico devem ser verificados por modelagem hidrodinâmica investigando se a obra oferecerá os benefícios desejados.

6 PERIGO DE INUNDAÇÃO

Conforme Schumm (1994), perigo pode ser definido como uma catástrofe ou desastre em potencial, que envolve grandes danos e perda de vidas. Assim, o perigo de inundação indica apenas o potencial de danos em uma região, transcritos pelas características do escoamento da inundação. Desta forma, devemos verificar a magnitude do evento, representado por suas **características físicas**, e a sua frequência, representado por suas **características probabilísticas**.

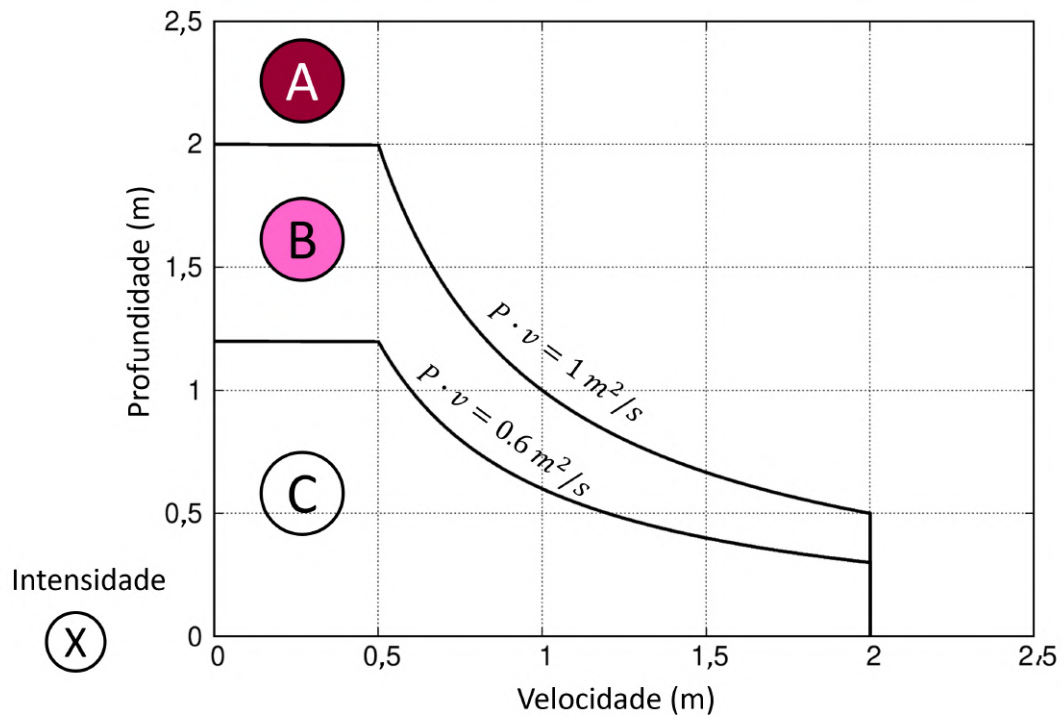
De acordo com Loat e Petrascheck (1997) e revisado por Monteiro et al. (2021), o perigo é definido por três níveis:

6.1 METODOLOGIA PARA O MAPEAMENTO DE PERIGO

- O nível 1 representa o perigo baixo em que adultos estão seguros, mas crianças e pessoas em veículos podem estar em perigo. Em uma pequena probabilidade, adultos podem estar em perigo e construções podem ser danificadas.
- O nível 2 indica o perigo médio e apresenta que fora de casa as pessoas podem sofrer fatalidades e as construções podem sofrer danos ou ser destruídas e crianças e pessoas em veículos podem estar em perigo.
- O nível 3 indica o perigo alto, em que as pessoas estão em perigo dentro e fora de suas casas e a possibilidade das construções serem repentinamente destruídas é alta.

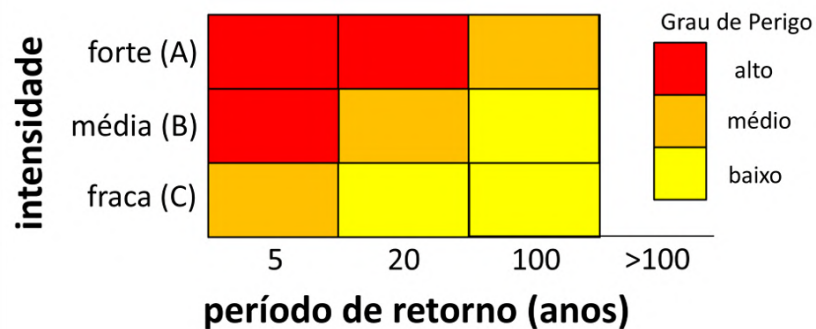
Para se chegar aos Níveis de Perigo, foi levado em consideração o Grau de Perigo pelo diagrama de perigo de inundação (**características física**) (Figura 26) e o tempo de retorno no evento, pelo diagrama de intensidade e frequência (**características probabilísticas**) (Figura 27).

Figura 26 – Grau de Perigo: relação entre velocidade e profundidade com situações adversas onde A indica intensidade alta, B intensidade média e C intensidade fraca.



Fonte: Modificado de Stephenson (2002).

Figura 27 – Relação de Perigo: relação entre o nível de perigo e a probabilidade de ocorrência do mesmo.



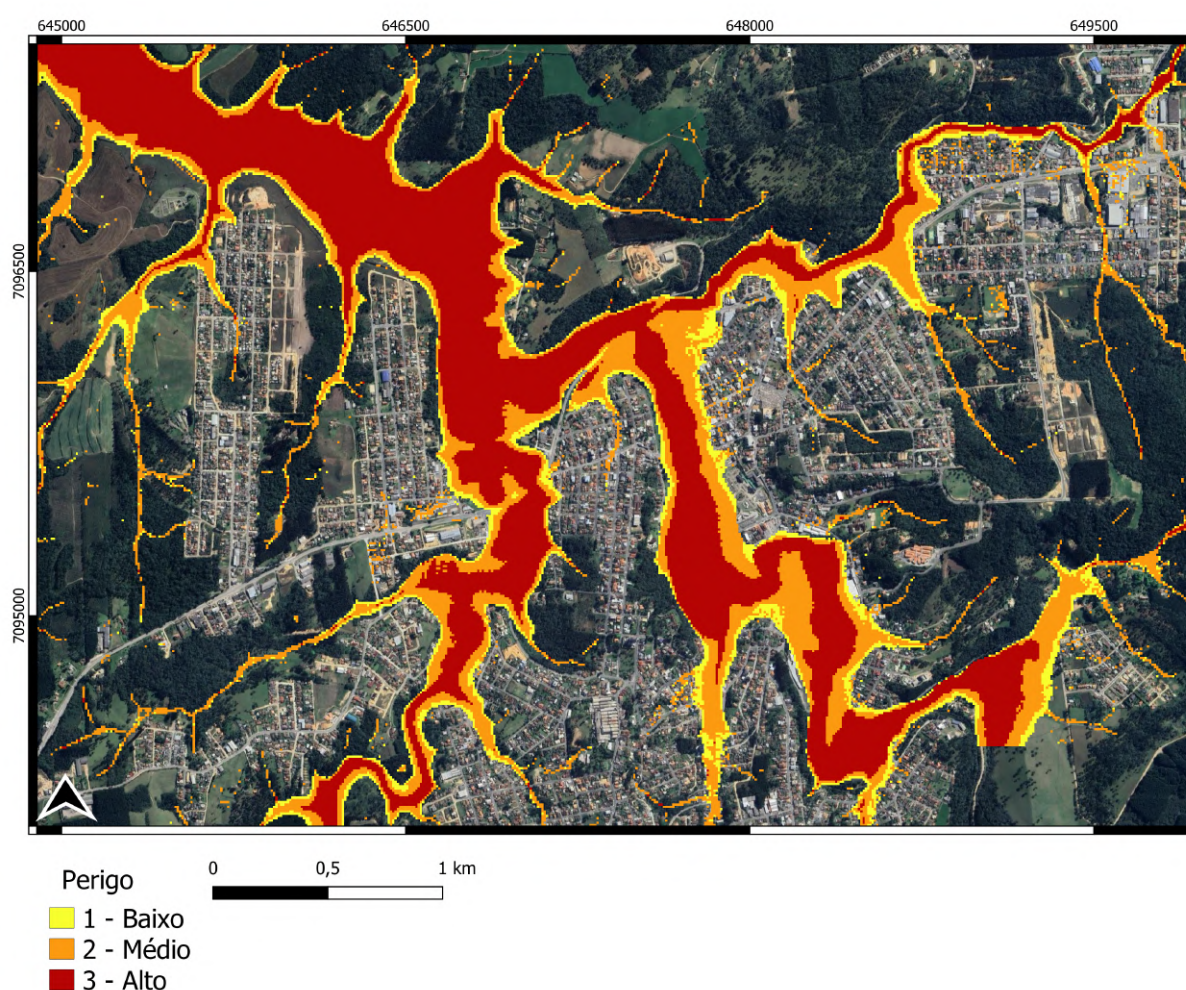
Fonte: Modificado de Loat e Petrascheck (1997).

6.2 MAPAS DE PERIGO

Processando os mapas de velocidade e profundidade para cada tempo de retorno de 5, 20 e 100 anos de acordo com os diagramas supracitados, foi obtido o mapa de perigo de inundação (Figura 28). Percebe-se que a área de perigo alto

possui uma grande abrangência, e as construções nestas regiões estão principalmente localizadas no centro da cidade. Assim, indica-se que as regiões ainda não construídas sejam preservadas ou realizadas obras que possam se harmonizar aos perigos de inundação, como parques. As regiões já ocupadas, devem ser regiões de constante vigília, onde as pessoas nessas ocupações devem possuir **Planos Individuais de Ação para a Autoproteção** em situações de inundações. Mais detalhes sobre as possíveis estratégias serão verificadas nos capítulos a seguir.

Figura 28 – Mapa de perigo de inundação.



Fonte: Os autores (2023).

Do mapa de perigo de inundação temos que 2,42 km² (44%) compõem o perigo alto, 2,32 km² (42%) o médio e 0,75 km² (14%) o baixo. Este tipo de distribuição de perigo, com grande porcentagem de perigo alto ou médio, ocorre principalmente em regiões declivosas onde o rio encontra-se "encaixado" no terreno, com poucas planícies

de inundação próximas ao leito.

6.3 ÁREA DE PROTEÇÃO PERMANENTE = ÁREA DE PERIGO PERMANENTE

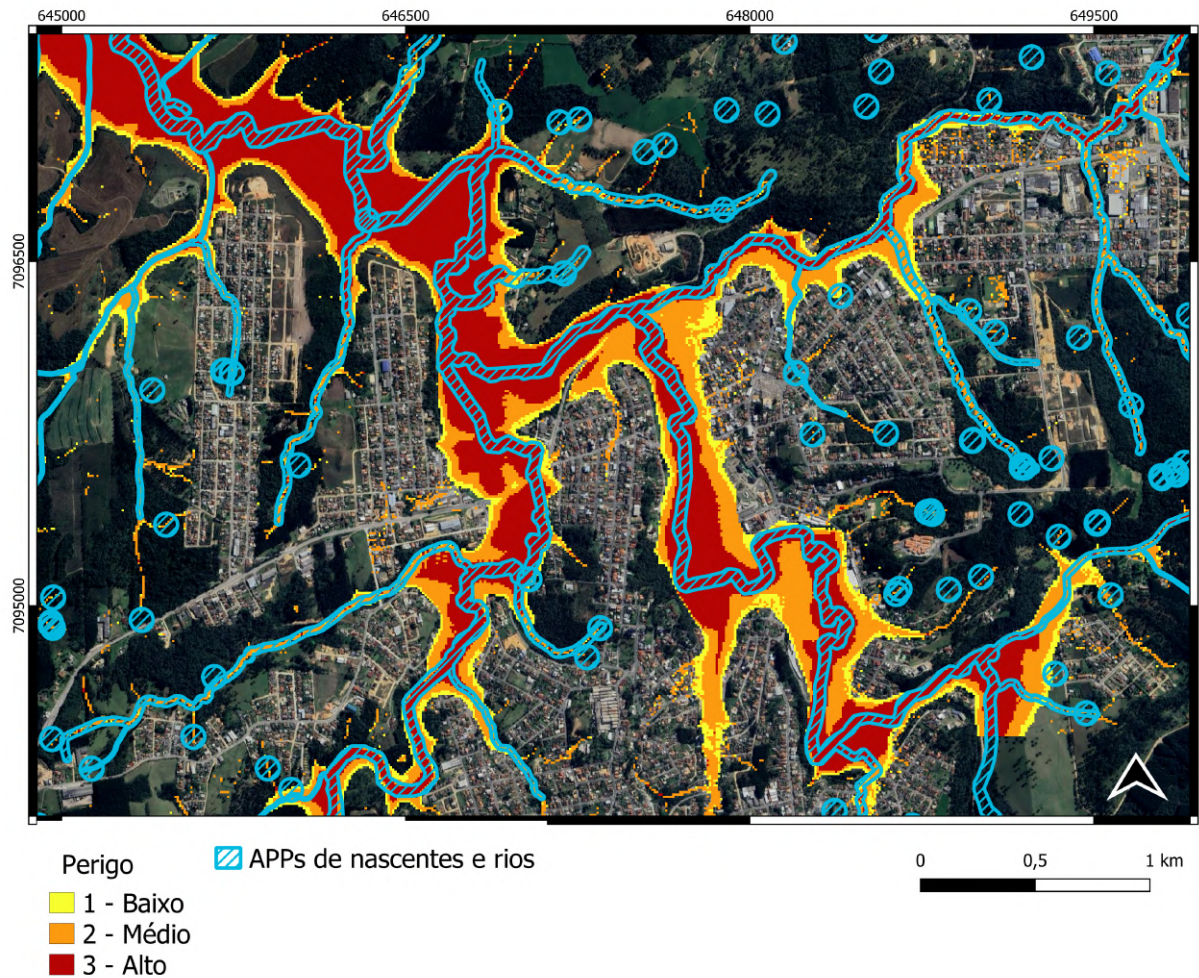
De acordo com (KOBIYAMA et al., 2010), as Áreas de Preservação Permanente (APPs) podem ser vistas como Áreas de Perigo Permanente (também APPs). Lugares próximos a rios são zonas de transporte não apenas de água, mas de detritos e troncos de árvores, entre outros. Assim, construções que estão dentro destas áreas podem sofrer sérios danos estruturais por causa da periculosidade da região. Desta forma, é interessante comparar o mapa de perigo de inundação com um mapa de regiões de APPs.

A Lei Complementar 195 de 2022 (RIO NEGRINHO, 2022) define que a "Área de Preservação Permanente (APP) será constituída por faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura de 15,00 (quinze) metros, a partir da borda da calha do leito regular, para cada lado dos corpos d'água identificados como: trecho de massas de água, e; 5,00 (cinco) metros, a partir da borda da calha do leito regular, para cada lado dos corpos d'água dos demais córregos e ribeirões (nominados ou não)". Ainda esta legislação define que "nos casos de cursos d'água tubulados/canalizados, a faixa não-edificável deverá ser de 5,00 (cinco) metros de cada lado a partir da margem da tubulação, necessário para manutenção sanitária". Ainda, de acordo com a Lei Federal Nº 12.651 (BRASIL, 2012c), "considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para efeito desta Lei: ... IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros".

Podemos verificar o mapa de perigo de acordo com as Áreas de Preservação Permanente (APP) (Figura 29). Nota-se que nos rios tributários, que são afluentes aos rio Negrinho, rio Serrinha e rio dos Bugres, as áreas de APPs se assemelham muito às áreas de grau de perigo médio, mostrando a importância de se respeitar esta legislação. Na região central, existem construções logo nas margens do rio Negrinho, adentrando a

área definida como APP, e coincidindo com uma região que é frequentemente inundada e com perigo alto. Percebe-se que as nascentes localizam-se majoritariamente em regiões preservadas, entretanto existem alguns pontos onde construções adentram às APPs de nascentes, como no Bairro Cruzeiros e São Rafael.

Figura 29 – Mapa de perigo de inundação sobreposto pelas Áreas de Preservação Permanente.



Fonte: Os autores (2023).

7 VULNERABILIDADE

Conforme UNISDR (2009), a vulnerabilidade consiste em condições associadas a fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais, os quais determinam a probabilidade e a escala dos danos causados a um indivíduo ou uma comunidade pelo impacto de um determinado perigo. Assim, podemos entender a vulnerabilidade como um indicador da perda humana e/ou em potencial, sem olharmos ainda para o perigo efetivamente. Existem autores que consideram a vulnerabilidade como função de exposição e suscetibilidade, enquanto outros separam estes conceitos considerando que é possível estar exposto ao desastre, porém não ser vulnerável (MOREIRA; BRITO; KOBİYAMA, 2021). No presente estudo, assumiu-se a vulnerabilidade como função da exposição e da suscetibilidade, logo irão compor o mesmo índice.

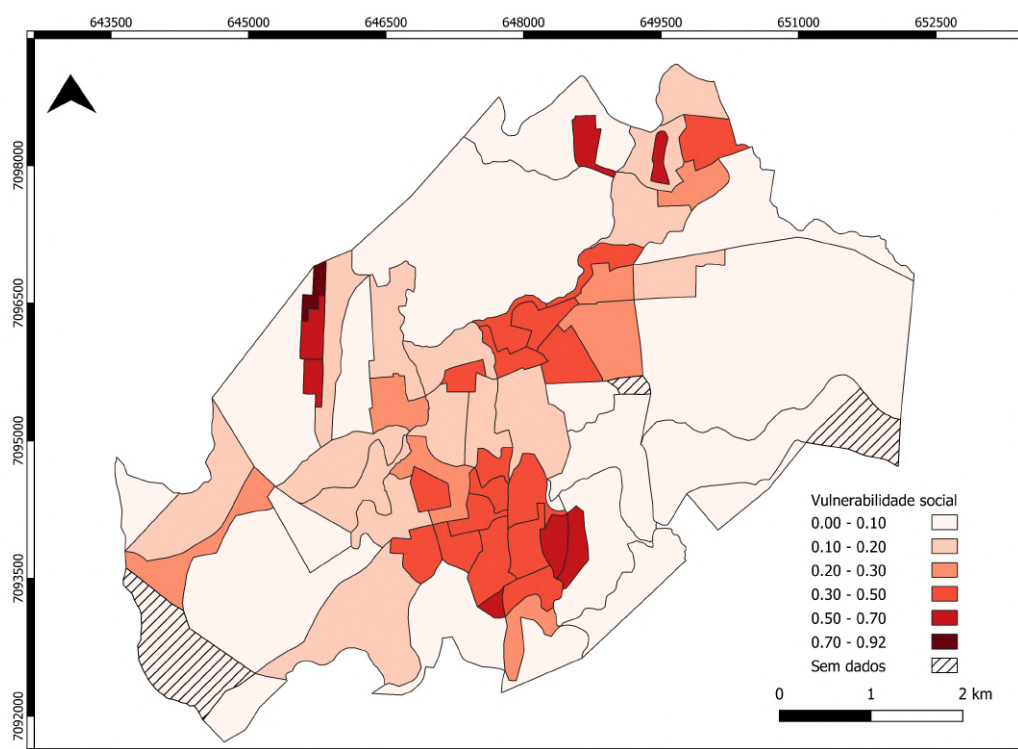
A análise da vulnerabilidade do município de Rio Negrinho foi utilizada para criar um mapa de vulnerabilidade, que, em conjunto com o mapa de perigo, é requisito para se obter o mapa de risco, um dos objetivos principais deste trabalho. Para a criação do mapa de vulnerabilidade, foi elaborado um Índice de Vulnerabilidade, utilizando os dados do censo do IBGE de 2010 com a unidade territorial de análise sendo o setor censitário, que é a menor unidade territorial que compõem o censo, englobando um ou mais bairros. Os indicadores para compor o Índice de Vulnerabilidade foram escolhidos conforme a revisão sistemática realizada por Moreira, Brito e Kobiyama (2021) que foram agrupados em índice social, econômico e de infraestrutura (Quadro 2).

Os valores dos indicadores foram determinados com relação à área de cada setor censitário e normalizados de 0 a 1 pelo método do mínimo e máximo. Assim, calculou-se o valor de cada um dos índices considerando a média aritmética dos indicadores, resultando em mapas dos índices social (Figura 30), econômico (Figura 31) e de infraestrutura (Figura 32).

Quadro 2 – Indicadores de vulnerabilidade considerados.

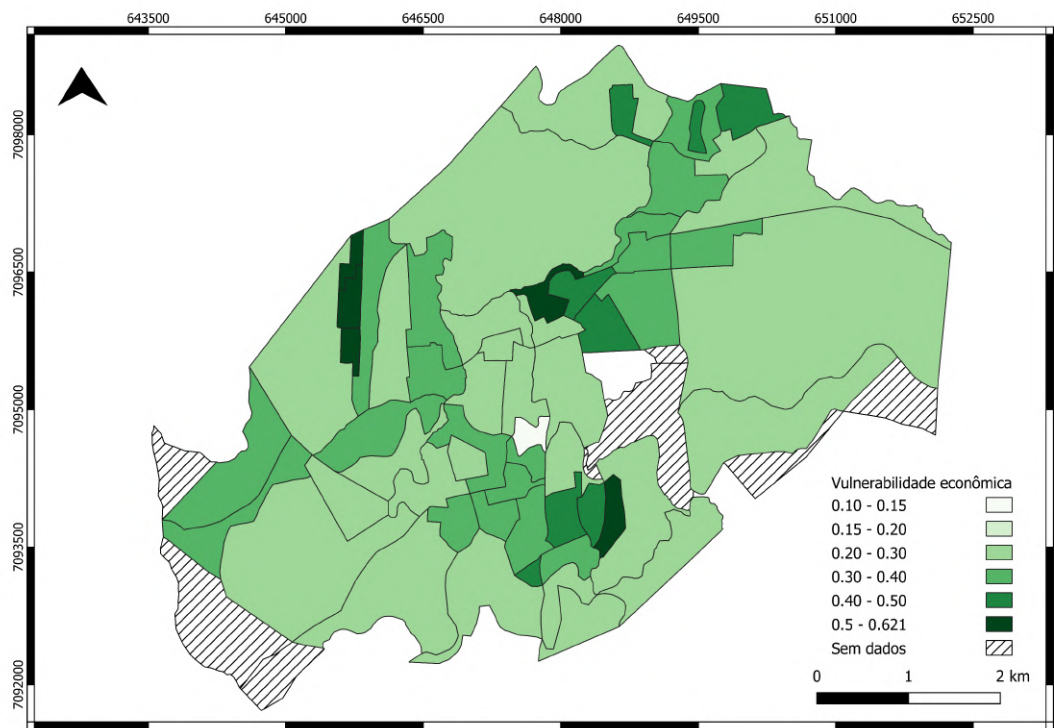
Índice	Indicador	Unidade
Social	Densidade populacional	hab/km ²
	Densidade mulheres	hab/km ²
	Densidade dos domicílios com mais de 5 pessoas	domicílios/km ²
	Densidade de pessoas com idade entre 0 e 4 anos	hab/km ²
	Densidade de pessoas com 65 anos ou mais	hab/km ²
	Densidade de pessoas analfabetas	hab/km ²
Econômico	Renda per capita por área	R\$/hab/km ²
	Densidade de pessoas desempregadas	hab/km ²
	Densidade de domicílios alugados	domicílios/km ²
	Densidade de domicílios sem renda nominal mensal	domicílios/km ²
Infraestrutura	Densidade de domicílios sem tratamento de esgoto	domicílios/km ²
	Densidade de domicílios sem coleta de resíduo sólido	domicílios/km ²
	Densidade de domicílios sem acesso à eletricidade	domicílios/km ²

Figura 30 – Mapa do Índice Social.



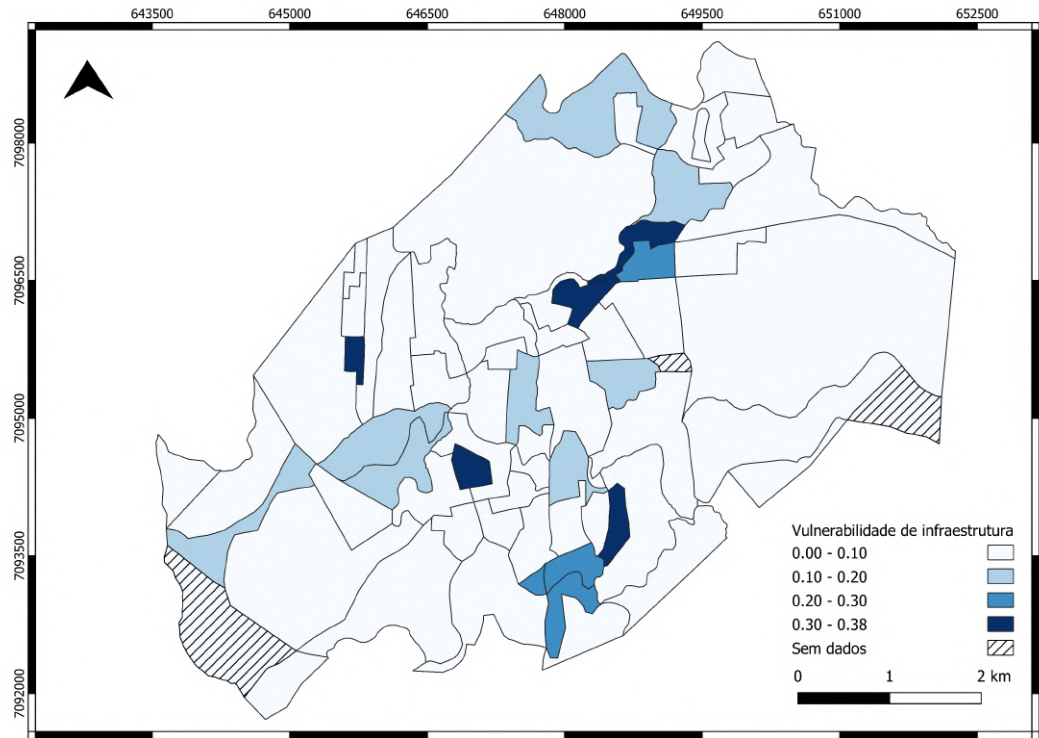
Fonte: Os autores (2023).

Figura 31 – Mapa do Índice Econômico.



Fonte: Os autores (2023).

Figura 32 – Mapa do Índice de Infraestrutura.



Fonte: Os autores (2023).

A partir da média desses índices, calculou-se então o Índice de Vulnerabilidade de cada setor censitário. A partir desse valor final para cada setor, pode-se criar um mapa da vulnerabilidade (Figura 33), que será utilizado para o mapeamento de risco.

Figura 33 – Mapa de Vulnerabilidade Socioeconômica.



Fonte: Os autores (2023).

O valor de vulnerabilidade máximo é 0,52 no setor censitário localizado no Bairro Vista Alegre. Os demais valores igual ou acima a 0,35 estão associados aos bairros São Rafael, Alegre/Cruzeiro, Vila Nova, Campo Lençol, Industrial Norte e Ceramarte. Alguns setores censitários não possuíam dados, sendo desconsiderados na presente análise. Para se ter mais confiança nos resultados encontrados pela análise, foi realizado um grupo focal no município. Os resultados de vulnerabilidade foram apresentados à comunidade para sua verificação. Embora alguns dos participantes tenham salientado a relevância de atualizar os resultados, após a divulgação dos dados censitários completos coletados em 2022, houve concordância em relação aos setores censitários indicados como mais vulneráveis.

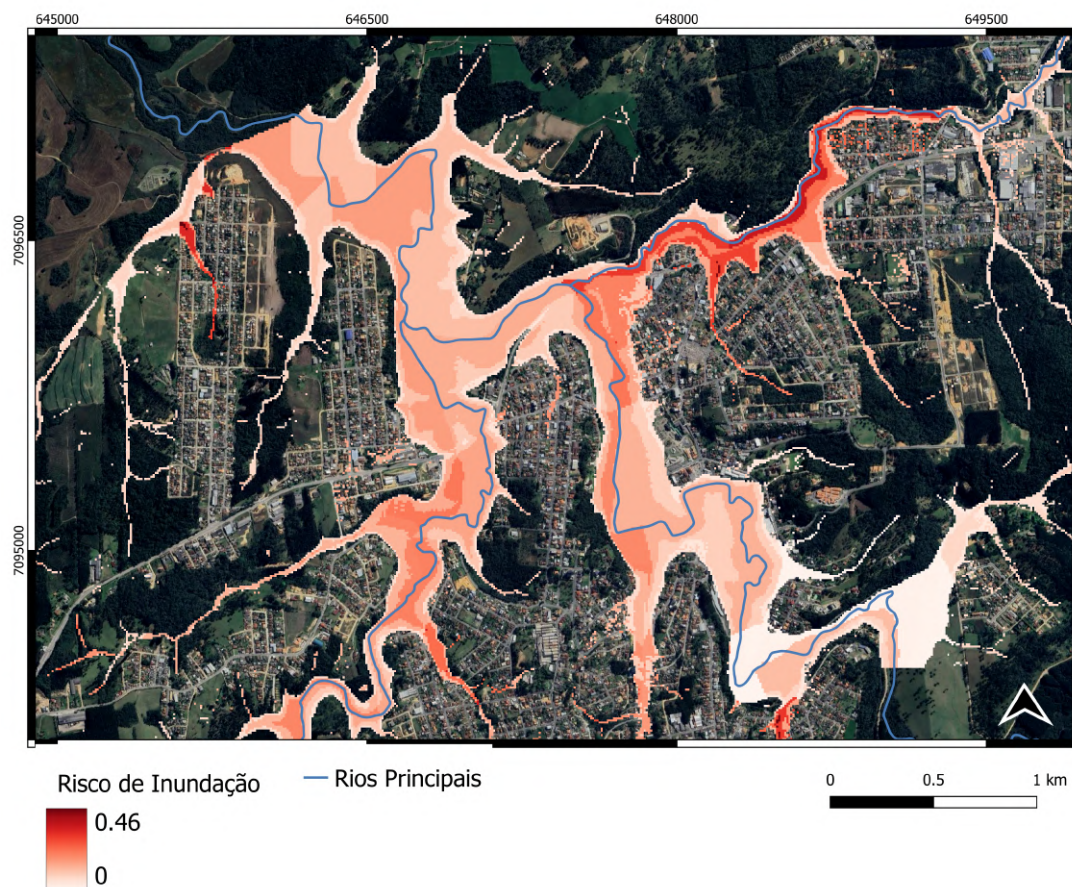
8 RISCO DE INUNDAÇÃO

De acordo com UNISDR (2009), o risco corresponde às consequências ou perdas resultantes da interação entre perigos naturais e os sistemas humanos, ou seja, são delimitados conceitualmente como o potencial de efetivação do perigo, seja este de origem natural ou tecnológico, causar danos à vida humana, ao ambiente ou aos bens materiais. Assim, o risco é dito como uma função entre o perigo (aspecto físico) e a vulnerabilidade (aspecto social), e neste trabalho foi determinado por

$$R = IP \times IV \quad (7)$$

onde, R corresponde ao risco, IP ao índice de perigo e IV ao índice de vulnerabilidade, ambos normalizados e determinados nas etapas anteriores. O resultado obtido do mapeamento de risco é apresentado na Figura 34.

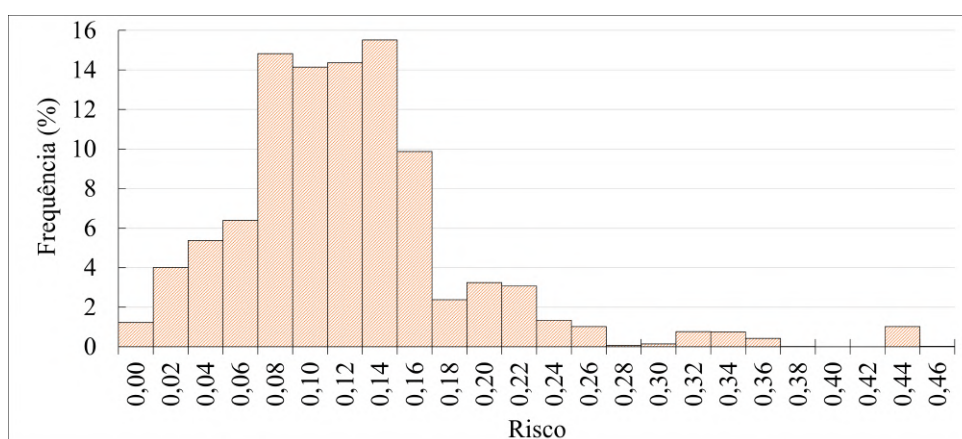
Figura 34 – Mapa de Risco.



Fonte: Os autores (2023).

De acordo com o mapa gerado, os valores de risco variam de 0,00 a 0,46. Ao analisar o histograma dos resultados (Figura 35), identificou-se que 76% da frequência está associada a valores de risco entre 0 e 0,14, enquanto 21% variam entre 0,15 e 0,28 e 3% se referem a valores de risco igual ou superior a 0,29. A região com uma área de risco de inundação mais extensa ocorre nas margens do rio Serrinha nos bairros Centro e Vila Nova, que como verificado anteriormente, é a região onde se concentram as inundações bruscas. Em dois outros pontos há ocorrência de valores mais elevados de risco a inundação, principalmente em decorrência dos maiores valores de vulnerabilidade de seus setores censitários: entre os bairros Alegre e Cruzeiro nas margens de um tributário do rio Negrinho e no Jardim Hantschel nas margens de um tributário do rio dos Bugres.

Figura 35 – Histograma do mapa de risco.



Fonte: Os autores (2023).

Para uma análise mais completa do risco, as áreas de risco e as infraestruturas críticas foram sobrepostas. As infraestruturas críticas são instalações, serviços, bens e sistemas cuja interrupção ou destruição, total ou parcial, provoque sério impacto social, ambiental, econômico, político, internacional ou à segurança do Estado e da sociedade (BRASIL, 2018). A análise de risco deve se atentar às infraestruturas críticas, pois a disponibilidade dessas infraestruturas, tais como provimento de água, energia, alimentos, e tecnologias de informação e comunicação, são benéficas à sociedade, porém podem ser fisicamente danificadas na ocorrência de desastres, afetando os serviços fornecidos por elas dificultando na superação do próprio desastre, além de

expor a sociedade a novos riscos.

A partir de dados secundários provenientes de documentos oficiais, foram identificadas a localização de infraestruturas críticas, seja pelo papel relevante a ser desempenhado na Gestão de Risco de Desastres (GRD) ou pelas características de vulnerabilidade do público envolvido. Posteriormente, munícipes, por meio da realização de um grupo focal (Figura 36), foram consultados sobre os locais listados e da necessidade de complementação.

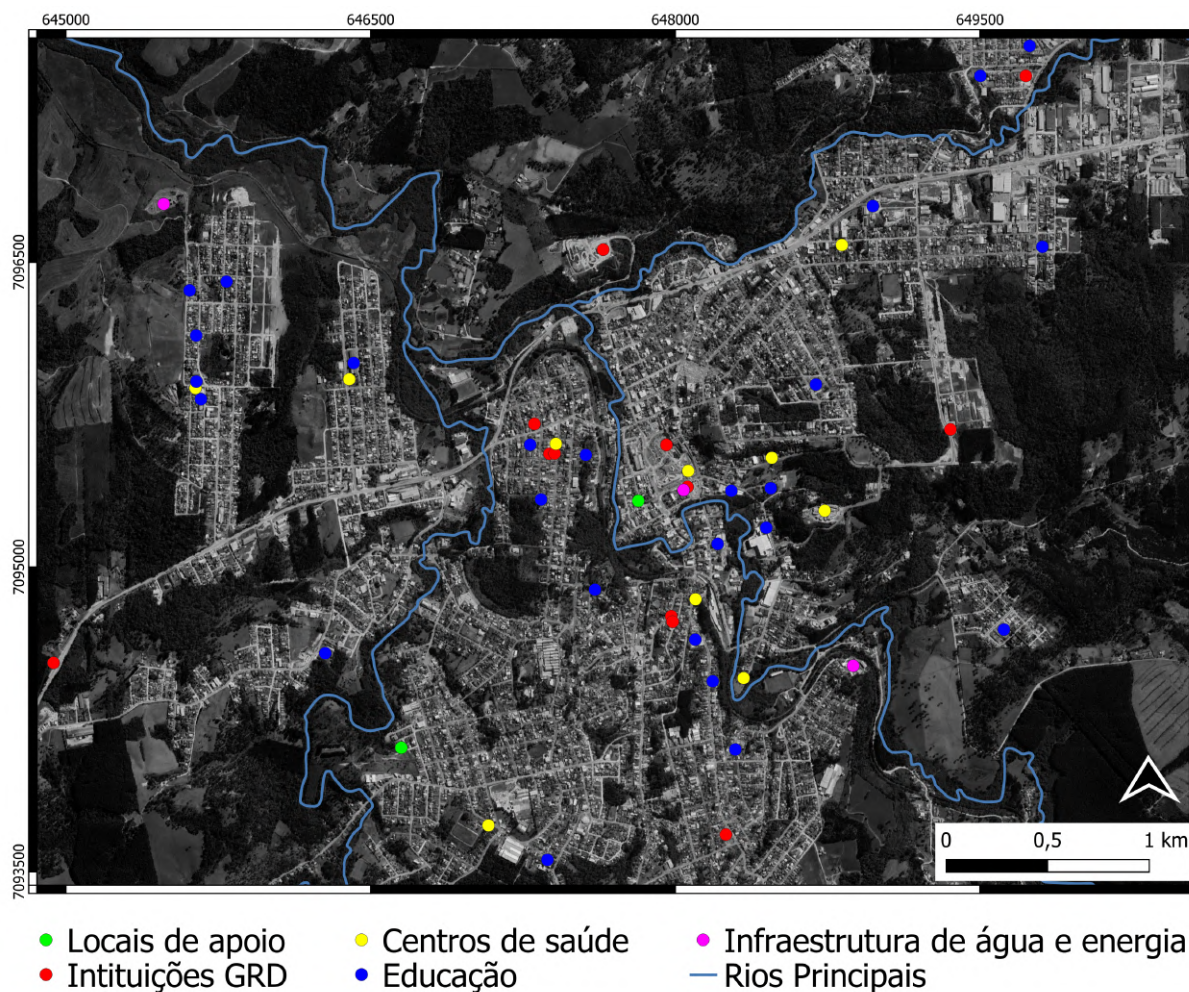
Figura 36 – Realização do grupo focal para consulta com munícipes.



Fonte: Os autores (2023).

As seguintes infraestruturas críticas foram listadas: as escolas públicas e particulares de ensino básico e médio, os centros de educação infantil e para pessoas excepcionais, os centros de saúde, o lar de idosos, as sedes de Prefeitura, Polícia Civil, Militar e Rodoviária, Corpo de Bombeiros, Defesa Civil, as duas estações de tratamento de esgoto (ETE), a estação de tratamento de água (ETA), as duas subestações de energia elétrica, os ginásios que servem como alojamento, uma casa de proteção para crianças e os dois fóruns do município (Figura 37). A análise foi realizada considerando as infraestruturas inseridas na área de estudo (intersecção entre área urbana e bacia hidrográfica de rio Negrinho), desse modo os locais analisados são apresentados na (Figura 37) e listadas a seguir:

Figura 37 – Infraestruturas críticas analisadas.



Fonte: Os autores (2023).

Educação

- APAE Rio Negrinho
- Centro de Atendimento ao Estudante (CAE - Vista Alegre)
- Centro De Educação Infantil Arco-íris
- Centro De Educação Municipal Infantil Flor Do Campo
- Centro De Educação Municipal Infantil Jardim Primavera
- Centro De Educação Municipal Infantil Vila Nova
- Centro Municipal De Educação Infantil Algodão Doce

- Centro Municipal de Educação Infantil Clara Luz
- Centro Municipal de Educação Infantil Espaço Criança
- Centro Municipal De Educação Infantil João E Maria
- Centro Municipal De Educação Infantil Mundo Encantado
- Centro Municipal De Educação Infantil Tempo Feliz
- Colégio Caminho Do Saber
- Colégio Cenecista São José
- Escola de Ensino Básico Jorge Zipperer
- Escola Ensino Médio Manuel Da Nobrega
- Escola Municipal De Educação Básica Lucinda Maros Pscheidt
- Escola Municipal De Educação Básica Menino Jesus
- Escola Municipal De Educação Básica Padre Cláudio Longen
- Escola Municipal De Educação Básica Prof. Arnaldo Almeida Oliveira
- Escola Municipal De Educação Básica Prof. Aurora S Jablonski
- Escola Municipal De Educação Básica Prof. Marta Tavares
- Escola Municipal De Educação Básica Prof. Quiliano Martins
- Escola Municipal De Educação Básica Ricardo Hoffmann
- Escola Municipal de Educação de Jovens e Adultos Professor Alberto Tomelin
- Escola Municipal Educação Básica Pref. Henrique Liebl
- Escola Municipal Educação Básica Selma Teixeira Graboski
- Seminário São José

Locais de apoio

- Casa Lar para Crianças
- Instituição de longa permanência para idosos Sênior Qualidade De Vida

Centros de saúde

- Centro de Atenção CAPS Psicossocial (CAPS) – Rua Otília Virmond
- Centro de Atenção Psicossocial (CAPS) – Rua da Paz
- Centro de Atenção Psicossocial (CAPS) – Rua José Maria Cardoso da Veiga
- Centro Integrado de Saúde (CIS)
- Fundação Hospitalar Rio Negrinho - Hospital Rio Negrinho
- Posto de Saúde Rio Negrinho
- Unidade Básica de Saúde Jardim Hantschel
- Unidade de Saúde da Família São Rafael
- Unidade de Saúde da Família Vila Nova
- Unidade de Saúde da Família Vista Alegre

Instituições de apoio a Gestão de Riscos e de Desastres (GRD)

- Prefeitura Municipal de Rio Negrinho
- Polícia Rodoviária Federal Rio Negrinho
- Polícia Militar
- 8ª Superintendência de Polícia Rodoviária Federal
- Delegacia de Polícia Civil, Ciretran e da Comarca de Rio Negrinho
- Corpo de Bombeiros Militar de Rio Negrinho

- Sede da Defesa Civil
- Fórum da Comarca de Rio Negrinho 1ª Vara Cível
- Fórum da Comarca de Rio Negrinho 2ª Vara
- Ginásio de Esporte Ginásio de Esportes Ratinho
- Ginásio de Esportes Luiz Cavalheiro de Almeida
- Ginásio de Esportes José Brusky Jr.

Infraestruturas de água, esgoto e energia ¹

- Subestação Celesc Rio Negrinho
- Estação de Tratamento de Água

Primeiramente, o valor do risco foi analisado no próprio local das infraestruturas críticas. Caso o local não estivesse em uma área inundada, avaliou-se os valores do risco em um raio de 50 m, e ainda, em um raio de 100 m ou 150 m, caso não houvesse risco de inundação nos casos anteriores. Caso houvesse valores distintos no raio analisado, o valor era definido com base no valor predominante.

Os resultados dessa análise apontam que as infraestruturas de água e energia analisadas estão afastadas em mais de 150 m de raio das áreas de risco a inundação. No local de captação de água bruta já foram realizadas algumas modificações no sistema elétrico para que não fosse afeta por inundações.

As infraestruturas críticas localizadas em área de risco a inundação em um raio de até 100 m estão listadas abaixo.

Centros de educação próximos de área de risco em um raio de até 100 m

- Centro De Educação Municipal Infantil Flor Do Campo

¹ Com relação às infraestruturas de esgoto, ambas as Estações de Tratamento de Esgoto não foram analisadas, pois estavam fora da área de estudo.

- Centro De Educação Municipal Infantil Jardim Primavera
- Centro Municipal De Educação Infantil Algodão Doce
- Colégio Caminho Do Saber
- Colégio Cenecista São José
- Escola Ensino Médio Manuel Da Nobrega
- Escola Municipal De Educação Básica Prof. Aurora S Jablonski
- Escola Municipal De Educação Básica Prof. Quiliano Martins
- Escola Municipal de Educação de Jovens e Adultos Professor Alberto Tomelin
- Seminário São José

Entre esses locais, o Colégio Cenecista São José está inserido em uma área de risco com valor de 0,09. Por estar em uma região plana próxima às margens do rio Negrinho, recomenda-se o estabelecimento de plano de atuação e implementação de medidas que minimizem os riscos. Em virtude do público atendido, ações de educação e treinamento podem contribuir para redução dos riscos.

Entre os demais centros de educação localizados em uma distância de até 100 m das áreas de risco a inundação, o maior valor de risco está associado ao Centro De Educação Municipal Infantil Flor Do Campo e Centro De Educação Municipal Infantil Jardim Primavera, em virtude do alto índice de vulnerabilidade do setor censitário onde se localizam. Ambos os locais não possuem potencial de serem diretamente afetados, no entanto o entorno pode ser afetado e em decorrência da vulnerabilidade, a criação de planos de ação pode ser importante para dar suporte à comunidade.

As escolas Manuel Da Nobrega e Caminho do Saber, bem como o Seminário São José são locais não diretamente afetados pela inundação em decorrência do relevo, porém eventualmente podem ficar total ou parcialmente isolados pela inundação. Salienta-se que o presente estudo enfoca em eventos de inundação, portanto

alagamentos decorrentes de insuficiência do sistema de microdrenagem urbana podem agravar os cenários apresentados. Além disso, podem ocorrer processos erosivos e movimentos de massa nas regiões adjacentes, sendo recomendado a realização de estudos sobre essa temática.

Locais de apoio próximos de área de risco em um raio de até 100 m

- Casa Lar para Crianças
- Instituição de longa permanência para idosos Sênior Qualidade De Vida

A Instituição de Longa Permanência para idosos está em área direta de risco a inundação (risco=0,13) em virtude das características fisiográficas. Assim, recomenda-se que o estabelecimento de planos de atuação em caso de inundação, focando principalmente no levantamento de necessidades especiais para deslocamento do público atendido. A Casa Lar para crianças está localizada próxima a um dos meandros do rio dos Bugres e, embora não esteja diretamente em uma área de risco, requer atenção.

Centros de saúde próximos de área de risco em um raio de até 100 m

- Centro de Atenção Psicossocial (CAPS) – Rua da Paz
- Centro de Atenção Psicossocial (CAPS) – Rua José Maria Cardoso da Veiga
- Unidade de Saúde da Família São Rafael
- Unidade de Saúde da Família Vila Nova

Dos centros de saúde próximos a áreas de risco de inundação, observou-se que potencialmente não seriam afetados em decorrência da declividade do terreno proporcionar o escoamento. Embora algumas vias de acesso possam ser impossibilitadas de uso, não seriam locais que ficariam isolados. Sugere-se a criação de planos principalmente considerando rotas para deslocamento seguro de modo a garantir a prestação dos serviços.

Instituições de apoio a Gestão de Riscos e de Desastres (GRD) próximos de área de risco em um raio de até 100 m

- Prefeitura Municipal de Rio Negrinho
- Polícia Rodoviária Federal Rio Negrinho
- Polícia Militar
- 8ª Superintendência de Polícia Rodoviária Federal
- Delegacia de Polícia Civil, Ciretran e da Comarca de Rio Negrinho
- Corpo de Bombeiros Militar de Rio Negrinho
- Fórum da Comarca de Rio Negrinho 1ª Vara Cível
- Fórum da Comarca de Rio Negrinho 2ª Vara
- Ginásio de Esporte Ginásio de Esportes Ratinho
- Ginásio de Esportes Luiz Cavalheiro de Almeida

O Corpo de Bombeiros Militar foi apontado como um local em risco de inundação (risco = 0,18,) pois se trata de um ponto de convergência das águas em decorrência do relevo. Tal fato é evidenciado pela análise que o prédio da Polícia Militar localizado ao lado, porém em terreno levemente mais alto e não está em área de risco.

Em relação às demais Instituições de apoio a Gestão de Riscos e de Desastres, as infraestruturas não são diretamente afetadas. Entretanto, de modo geral, é necessário estabelecer rotas para deslocamento seguro, visto que no entorno desses locais podem ter vias parcial ou totalmente inundadas.

Quanto aos ginásios que servem como alojamento para os desabrigados, o Ginásio de Esportes Ratinho está em um raio próximo a áreas de riscos, no entanto esses pontos são nascentes e em decorrência do relevo não seria afetado. Deve-se atentar para o deslocamento em vias que podem estar inundadas e oferecer risco. Já

o Ginásio de Esportes Luiz Cavaleiro de Almeida (Camiseta) não seria diretamente afetado, mas as pessoas podem ter dificuldade em cruzar o rio.

Embora esteja próxima a áreas de risco de inundação, a Polícia Rodoviária Federal do Rio Negrinho está em um ponto mais elevado, onde pelo relevo, o escoamento seria em sentido oposto ao que está localizado. As demais infraestruturas não seriam diretamente afetadas, mas precisam avaliar rotas de deslocamento, visto que algumas passagens podem ficar inundadas e oferecer risco.

Como grandes eventos de inundação ocorreram recentemente, como por exemplo 2014, os resultados da presente análise de risco devem coincidir com áreas já afetadas anteriormente. Assim, de forma geral, salienta-se que as áreas mesmo de baixo risco devem receber atenção do Poder Público e também de seus moradores. Algumas ações prioritárias são descritas no capítulo 10.

9 ANÁLISE DOCUMENTAL

A análise documental tem por objetivo identificar como o tema "inundações" é apresentado nos documentos oficiais e se os diferentes setores municipais abordam a temática de forma correlacionada em seus documentos. A partir dessa análise crítica, algumas sugestões foram feitas visando correlacionar os resultados do presente estudo com esses documentos oficiais.

A partir da página eletrônica da Prefeitura Municipal de Rio Negrinho, acessada em novembro de 2022 (Prefeitura de Rio Negrinho, 2022), foram identificados os documentos oficiais relacionados ao planejamento em todas as Secretarias Municipais, bem como documentos relacionados a gestão de riscos e de desastres. Ressalta-se que a análise foi além dos documentos diretamente relacionados a inundações e desastres, justamente por entender que os setores como de turismo e de mobilidade também devem abordar essa temática, visto que também se relacionam a esses eventos.

Os documentos identificados na busca são apresentados no Quadro 3. Posteriormente, os documentos foram analisados na íntegra com foco em compreender como as inundações são consideradas e identificar a correlação da temática entre os documentos. Nessa análise, evidenciou-se que não há intersetorialidade entre os documentos oficiais existentes. Sendo assim, foi avaliado como o presente estudo pode contribuir para reduzir a distância entre os setores do município no âmbito das inundações e foram sugeridos os pontos que poderiam ser aperfeiçoados perante esta perspectiva.

Quadro 3 – Documentos analisados perante a perspectiva da redução de risco de inundação.

Secretaria	Identificação do documento	Ano de publicação
Planejamento e Meio Ambiente	Plano Diretor: consolidação	2022
	Plano de Macrodrenagem	2019
	Plano de Mobilidade	2019
Desenvolvimento Econômico e Turismo	Plano de Desenvolvimento Integrado do Turismo Sustentável	2017
Defesa Civil	Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil	2021

Fonte: Os autores (2022).

A implementação e a revisão do Plano Diretor são previstas pela Lei Federal nº 10.257/2001 (BRASIL, 2012a). No caso do município de Rio Negrinho, o Plano Diretor Municipal, publicado em 2015 (SEPLAN, 2015), esteve em processo de revisão ao longo de 2022 (SEPLAN, 2022). Ressalta-se que o Plano Municipal de Mobilidade Urbana (SEPLAN, 2019a) e o Plano Municipal de Macrodrenagem (SEPLAN, 2019b) são planos setoriais e instrumentos complementares ao Plano Diretor Municipal. Portanto, a temática referente à inundação deve ser explorada com maior detalhamento no Plano de Macrodrenagem, mas para uma abordagem intersetorial, esta temática deve ser verificada em todos os documentos, pois a situação de inundação é relevante para todas as atividades do Município.

Os resultados da análise do Plano Diretor Municipal são apresentados no Quadro 4. De forma complementar à análise, identificou-se que o Plano Diretor Municipal define as Zonas de estruturação urbana para implantação de parques, o que contribui para o aumento de áreas não residenciais e comerciais em regiões onde a inundação é mais frequente. Assim, este já fornece subsídio para a possibilidade da criação de áreas de contenção de inundação na forma de parques.

Quadro 4 – Análise do Plano Diretor: consolidação 2022.

Documento	Análise do documento	Sugestão
Plano Diretor: Consolidação 2022	<p>Art. 109 - Fica vetado o parcelamento do solo, para fins urbanos:</p> <p>I - em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas ou a proteção contra as cheias e inundações;</p> <p>XI - imóveis não protegidos de cheias e inundações, localizados na quota de nível inferior a 792,00 m (setecentos e noventa e dois metros) do nível do mar.</p> <p>Art. 132-D Ficam vetados os condomínios de lotes: a) Em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, exceto nas situações em que as edificações e acessos não se localizem em área inundável;</p>	<p>Como demonstrado nesses artigos, o Plano Diretor traz diretrizes relacionadas à ocupação de áreas suscetíveis à inundação. A frequência de ocorrência da inundação deve ser considerada nestes casos. Os resultados produzidos pelo presente estudo apontam as áreas com perigo de inundação e também com risco de inundação de modo que podem embasar estudos de como essas áreas podem ser ocupadas.</p>

Os resultados da análise do Plano de Macrodrenagem são apresentados nos Quadros 5 e 6. O presente trabalho pode ser compreendido como um complemento do Plano de Macrodrenagem. Os pontos considerados como importantes de serem desenvolvidos foram: análise individual de diversos eventos de inundação (Capítulo 3), análises das velocidades e efeito do remanso nas inundações (Capítulo 5), desenvolvimento do grau de perigo de inundação (Capítulo 6), do índice de vulnerabilidade (Capítulo 7), e de risco de inundação (Capítulo 8), além de uma análise dos principais documentos do município (Capítulo 9). Estes pontos convergem para uma visão mais ampla, criando ferramentas que podem auxiliar os gestores públicos e a população, além de apresentarem mais elementos para discutir as ações prioritárias não-estruturais, que resultam em uma melhor convivência com as inundações (Capítulo 10).

Quadro 5 – Análise do Plano de Macrodrenagem (continua).

Documento	Análise do documento	Sugestão
Plano de Macrodrenagem	As medidas de mitigação (item 10.2, pg. 158) consideram o risco somente pela avaliação da lâmina d'água em relação ao nível do terreno	- O risco deve avaliar, além da profundidade e tempo de retorno, a velocidade do escoamento e aspectos sociais. Portanto, os resultados apresentados no presente estudo se referem mais adequadamente ao risco, contribuindo para uma análise holística para proposição das medidas de mitigação.
	As medidas estruturais propostas (um dique e duas barragens) envolvem desapropriações e elevados custos de manutenção, além do investimento de implantação das obras. Não se considerou o custo com manutenção no Plano e nem realizou-se uma simulação apresentando a diferença da mancha de inundação com estas estruturas.	- A implementação de medidas estruturais pode criar uma falsa sensação de segurança diante de eventos extremos, visto que tais obras são capazes de reduzir os impactos dos eventos de baixa magnitude e alta frequência, e para cenários de maior magnitude podem falhar. Assim, essas obras devem ser bem fundamentadas e, se de fato forem consideradas essenciais, devem ser realizadas de modo concomitante com medidas não-estruturais.
	As principais diretrizes que compõem as medidas não-estruturais (item 11, pg. 164) incluem: planejamento para o desenvolvimento e uso das áreas sujeitas à inundação, sistema de alerta de enchentes, zoneamento de áreas de inundação, capacitação de gestores públicos, participação da população, educação ambiental, legislação apropriada, fiscalização do uso e ocupação do solo, manutenção regular dos elementos estruturais, entre outros	- Os resultados de perigo de inundação, vulnerabilidade e risco apresentadas no presente trabalho podem subsidiar o planejamento urbano.
		- Atividades de educação ambiental podem ser desenvolvidas no ensino básico e médio em consonância com o Programa Estadual “Defesa Civil na Escola”.
		- Para tornar o rio mais presente na vida da população, ações como caminhadas pelas margens, coleta de resíduos sólidos e navegação pelo rio poderiam ser promovidas de forma periódica e com a participação ativa de diferentes representações locais, a exemplo de ações já realizadas.
		- O custo de manutenção das obras não-estruturais devem ser considerados para reduzir a chance de ocorrência de falhas.

Quadro 6 – Análise do Plano de Macrodrenagem (finalização).

Documento	Análise do documento	Sugestão
Plano de Macrodrenagem	Em audiência pública (item 15, pg. 203), os participantes votaram pela adoção das medidas estruturais para tempo de retorno de 100 anos. Dentre as propostas a serem votadas, essa é a mais conservadora, pois prevê a construção de grandes estruturas.	- Medidas estruturais podem ser necessárias, no entanto estudos aprofundados devem ser realizados antes da implantação, como uma simulação das situações de inundações com estas estruturas em funcionamento. É compreensível que a população escolha uma medida mais conservadora onde a tendência seria “as inundações desaparecerem”. Entretanto, a população precisa ser esclarecida que as inundações vão continuar ocorrendo mesmo com a obra de engenharia realizada. Além disso, deve-se atentar a possibilidade de falha das estruturas.
	Em objetivos e metas associados às medidas não-estruturais (tabela 16.5, pg. 214) de curto prazo, há a proposição de mapeamento das áreas de inundação considerando apenas o tempo de retorno para disciplinamento do uso do solo.	- O novo mapa de risco pode auxiliar no disciplinamento do solo em áreas já habitadas, enquanto o mapa de perigo, por combinar profundidade, velocidade do escoamento e tempo de retorno, fornece subsídios para áreas ainda não ocupadas e, portanto, apresentam o potencial de risco.

Os resultados da análise do Plano Plano de Mobilidade Urbana são apresentados no Quadro 7. O Plano de Mobilidade Urbana de Rio Negrinho traz elementos importantes para lidar com a inundação e os resultados deste estudo podem contribuir para efetivação de algumas das proposição visando aprimorar a mobilidade urbana minimizando danos e transtornos durante as inundações. Por exemplo, em relação ao transporte público, em situações de inundação os comerciantes ou pessoas que caminham na cidade podem ter prejuízos em decorrência das ondas criadas pelos ônibus ao passarem em áreas inundadas em alta velocidade, como apresentado no estudo realizado em Joinville (DEQUÊCH, 2022). A partir dos mapeamentos do presente estudo associados a estudos de tráfego podem subsidiar a elaboração de rotas mais seguras, a exemplo do que foi apresentado no produto da Prefeitura de Joinville

(JOINVILLE, 2012), onde todos tem acesso a informação a qualquer momento.

Quadro 7 – Análise do Plano de Mobilidade Urbana.

Documento	Análise do documento	Sugestão
Plano de Mobilidade Urbana	As proposições do Plano de Ação (<i>itens “4.1 IV - Promover a conectividade do sistema viário em períodos de inundação, de modo a não interromper os fluxos e os serviços de transporte coletivo; 4.5 IV - Garantir a continuidade do serviço de transporte coletivo durante os períodos de inundação; 4.7 I - Otimizar o uso da infraestrutura existente (cidade compacta); e II - Promover a integração entre as partes da cidade que ficam isoladas em períodos de inundação”</i>) não se referem à frequência das inundações que devem ser consideradas para realização das ações.	- Os resultados do presente estudo contribuem para definição do tempo de retorno das inundações para a implantação das ações.
	Ações relacionadas ao item 4.1-IV (pg. 35)	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar os locais isolados a partir do mapa do perigo de inundação. - Priorizar a execução de obras de engenharia em áreas com locais isolados com maior recorrência (Tempo de retorno de 5 anos). - Implementar placas indicativas da possibilidade de inundação que possibilitassem ao motorista ou pedestre inferir sobre a altura da lâmina da água.
	Ações relacionadas ao item 4.5-IV (pg. 41)	<ul style="list-style-type: none"> - A partir do mapa do perigo de inundação conjuntamente com estudos de tráfego podem ser traçadas rotas alternativas mais seguras e apresentá-las para a sociedade. - Como ações de conscientização, recomenda-se a realização de cursos focados na capacitação, bem como o treinamento periódico de motoristas do transporte público sobre como agir em situações de inundação (de pequena a grande magnitude).

A elaboração de Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil é previsto na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), instituída pela Lei Federal nº 12.608/2012. Na análise desse documento relativo ao município de Rio Negrinho, foram identificados potenciais melhorias e complementações que o presente estudo pode contribuir (Quadro 8). O principal produto criado pelo presente trabalho que auxilia no Plano de Contingência é o mapa de risco, pois ele leva em consideração o índice de perigo da inundação e a exposição e a suscetibilidade da sociedade, traduzidas pelo índice da vulnerabilidade.

Quadro 8 – Análise do Plano de Contingência.

Documento	Análise do documento	Sugestão
Plano de Contingência	Não há ações prioritárias para as áreas de risco	<ul style="list-style-type: none"> - Atuar prioritariamente com vistas a minimizar possíveis impactos em infraestruturas críticas localizadas em áreas de risco. - O mapa de risco pode ser utilizado para organizar as ações em momento do evento. As áreas de maior risco devem ser as primeiras a terem auxílio, por se tratar de áreas mais vulneráveis e com maior perigo.
	Não há proposições focadas na autoproteção.	- Incentivar a elaboração de Plano Individual de Ação para a Autoproteção em residências, áreas de comércio e serviço e Plano Institucional de Ação para a Proteção das infraestruturas críticas em áreas de perigo de inundação por meio de cursos de capacitação.

O município de Rio Negrinho integra o Consórcio Intermunicipal Quiriri conjuntamente com os municípios de São Bento do Sul, Campo Alegre e Corupá. Juntos, os municípios criaram a marca “Destinos Quiriri” com o intuito de fomentar o turismo sustentável na região. Conforme identificado na análise do documento, os eventos de inundação ocorridos no passado não são abordados no Plano de Desenvolvimento Integrado do Turismo Sustentável. No entanto, estes eventos de inundação fazem parte da história de Rio Negrinho além de serem impactantes por sua profundidade, assim

estabelecer passeios com rotas que relembrem essa história pode ser um diferencial para o turismo no município. Além disso, passeios nas margens e atividades de lazer no rio Negrinho podem ser atrativos ao ecoturismo. Também foram apresentadas sugestões baseadas na análise do documento pelo Quadro 9.

Quadro 9 – Análise do Plano de Desenvolvimento Integrado do Turismo Sustentável.

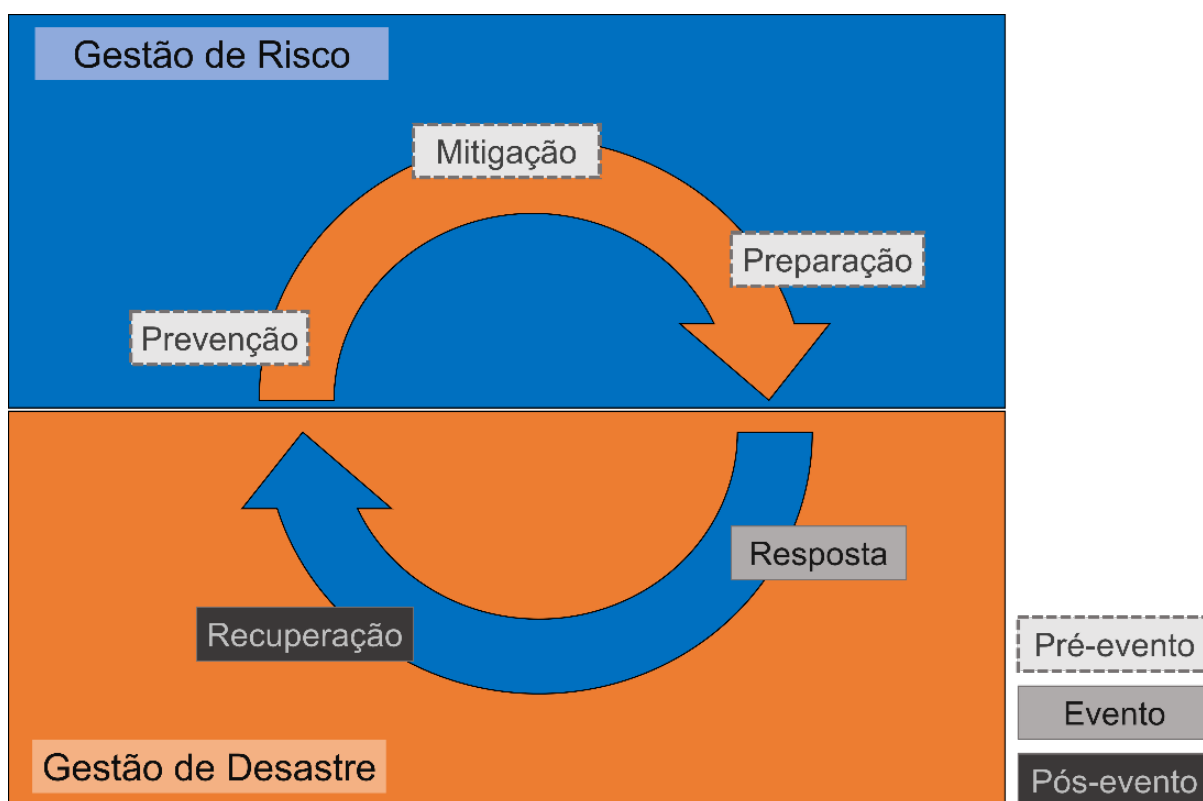
Documento	Análise do documento	Sugestão
Plano de Desenvolvimento Integrado do Turismo Sustentável	Não traz discussões sobre os eventos de inundação.	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar monumentos históricos referentes aos grandes eventos de inundação ocorridos (1983, 1992, 2014); - Criar um museu para preservação da história de Rio Negrinho e as inundações, com fotografias e vídeo com relatos de pessoas que vivenciaram esses eventos, maquete do município; - Implementar rotas turísticas com enfoque na história das inundações e a realização de caminhadas ("Walking tour"), onde é possível caminhar por diversos pontos da cidade e conhecer a história dos eventos; - Assegurar que os turistas tenham informações nos pontos de informação ao turista sobre os rios, sobre o histórico de inundações e sobre como agir diante de um evento extremo; - As placas com rotas e informações são essenciais para garantir a locomoção dos turistas mediante a ocorrência de eventos

A análise destes documentos viabiliza a proposição de ações prioritárias para redução de riscos a inundação de maneira intersetorial. Posteriormente, as sugestões do presente estudo serão discutidas com representantes da sociedade, para que além de intersetorialidade, ocorra o envolvimento da população.

10 AÇÕES PRIORITÁRIAS

Define-se na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) que o gerenciamento de risco e de desastre deve ter uma abordagem sistêmica considerando ações de: prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação (BRASIL, 2012b). Essas ações são interligadas e se referem ao pré-evento, evento e pós-evento (Figura 38). Portanto, pode-se considerar que a gestão para proteção e defesa civil de desastres ocorre como **gestão do risco de desastre**, onde se enfoca em prevenir e mitigar os riscos de desastres e na preparação considerando a possibilidade de ocorrência do desastre; e como **gestão do desastre** quando as ações são direcionadas para lidar com a ocorrência do desastre.

Figura 38 – Fluxograma da gestão de Risco e de Desastre



Fonte: Adaptado de (VANELLI; KOBIYAMA, 2021)

A **prevenção** se refere a evitar a existência do risco, enquanto a **mitigação** tem por objetivo minimizar os riscos existentes. A **preparação** consiste em implementar ações de desenvolvimento das pessoas e de materiais otimizando a resposta ao de-

sastre (LOPES et al., 2009). A etapa de **resposta** se dá a partir da concretização do desastre, sendo necessário realizar ações de socorro, de assistência humanitária aos afetados e reabilitação de cenários. Já no pós-evento, a etapa de **reconstrução/recuperação** busca restabelecer a normalidade da comunidade, ou seja, a plenitude dos serviços essenciais, a economia da área atingida e o moral e bem-estar da população (LOPES et al., 2009).

As ações preventivas devem ser priorizadas com vistas à redução dos riscos de desastres (BRASIL, 2012b). Existem dois tipos de medidas preventivas: as estruturais que envolvem obras de engenharia, como as realizadas para a contenção de cheias como barragens, diques, alargamento de rios, reflorestamento, e; as não-estruturais que envolvem ações de planejamento e gerenciamento, como sistemas de alerta e zoneamento ambiental (UNISDR, 2009).

Os próprios resultados do presente estudo por meio do mapeamento das áreas suscetíveis a inundação, do perigo de inundação, da vulnerabilidade e do risco de inundação podem se enquadrar como ações de prevenção do tipo não-estrutural. No entanto, neste caso, esses resultados serão analisados com maior profundidade, a fim de embasar a proposição de ações voltadas para a gestão de risco, para que essas sejam posteriormente efetivadas.

A proposição de ações prioritárias deste estudo enfoca na etapa do pré-evento, ou seja, em ações de prevenção, minimização e preparação. Ressalta-se que as propostas são baseadas nos resultados do presente estudo e em estudos de caso citados na literatura científica. Segue lista das ações prioritárias recomendadas:

- **Criação e manutenção de rede de monitoramento hidrológico:** a implementação de novas estações de monitoramento de chuva e de nível do rio, bem como a manutenção das já existentes, priorizando a transmissão dos dados adquiridos de forma automática (estações telemétricas) e com ampla disponibilização. As estações pluviométricas devem ser posicionadas estrategicamente, priorizando a instalação de estações pluviométricas a montante da bacia hidro-

gráfica do rio Negrinho. Deve se viabilizar a reativação das estações existentes no exutório do rio Negrinho e na Fazenda Souza, pois elas são importantes para compreendermos o comportamento do rio na entrada e saída da área urbana.

- **Planejamento e efetivação de parques lineares:** os parques lineares devem ser multifuncionais, de modo que possam ser utilizados como áreas de lazer pela população e, em situações de inundações, promovem o armazenamento temporário das águas pluviais contribuindo para a redução da vazão máxima. No dia 18 de agosto de 2021 a Associação Empresarial de Rio Negrinho promoveu uma palestra intitulada "Parque Linear: Integrando rio Negrinho com a Comunidade" contando como palestrantes os arquitetos Birgitta Hofstaeffer e Willian Jorge Pscheidt que esclarece a possibilidade da implantação de parques lineares em Rio Negrinho (ACIRNE, 2021). A Lei Municipal nº 3436/2020 (RIO NEGRINHO, 2020) e o próprio Plano Diretor Municipal (SEPLAN, 2022), que define a Zona de estruturação urbana de implantação de parques, podem dar subsídios para tal fim.
- **Limpeza do rio Negrinho:** Neste caso, a limpeza do rio consiste na prática periódica de retirar os resíduos sólidos que se encontram no rio, principalmente no trecho entre o centro urbano e a sua foz no rio Negro (Figura 39). Atividades de conscientização para a correta e adequada disposição dos resíduos são indicadas, a fim de que a longo prazo a prática de retirada de resíduos por equipes especializadas seja reduzida ou até mesmo desnecessária. Também, pode ser interessante a retirada de árvores caídas ou obstáculos que reduzem a capacidade de escoamento do rio Negrinho e também tendem a acumular os resíduos que flutuam.
- **Estudo e divulgação das rotas seguras:** Devem ser definidas as rotas mais seguras em situação de inundação e realizada a divulgação por placas indicativas de rotas seguras, ou ainda arquivos digitais que possuam a informação, a exemplo de JOINVILLE (2012).

Figura 39 – Exemplo de lixos encontrados no rio Negrinho em novembro de 2022.



Fonte: Os autores, 2022

- **Capacitação da população:** Indica-se a capacitação da população com relação a ações de resposta a inundações, principalmente a que esteja presente rotineiramente em áreas de perigo de inundação. Uma dos conteúdos que deve compor a capacitação se refere a criação de Plano Individual de Ação para a Autoproteção (PIAA). A partir de diretrizes básicas, cada pessoa deve elaborar o seu próprio PIAA, pois ele varia de acordo com a localidade de sua moradia e trabalho e relações interpessoais.
- **Plano Institucional de Ação:** Os resultados do mapeamento de risco, além de serem considerados no Plano de Contingência, podem basear a elaboração de estratégias para assegurar o adequado funcionamento das infraestruturas

críticas minimizando os riscos a inundação a partir da criação e efetivação de Plano Institucional de Ação.

- **Estruturação da Defesa Civil Municipal:** Atualmente, está sendo construída a sede da Defesa Civil com investimentos do Governo do Estado de Santa Catarina. Para adequado funcionamento, é fundamental a contratação de pessoas para atuarem continuamente, ou seja, o estabelecimento de uma equipe de profissionais nesse setor. Além disso, é necessário verificar a necessidade de adquirir equipamentos para auxiliar nas etapas de pré-evento, tais como computadores, bem como na resposta ao evento: barcos, cordas, coletes salva-vidas, dentre outros.
- **Sistema de alerta:** Com a rede hidrológica funcionando adequadamente, é possível criar um protocolo de alerta para que as pessoas se preparem para o evento. O sistema de alerta deve ser composto por ações das instituições locais e dos moradores. Assim, cada cidadão, de acordo com a sua localização de moradia e de trabalho, deve possuir o PIAA, que será seguido em situação de alerta.
- **Fomento às Memórias das inundações:** Similarmente ao que se tem adotado em outros locais, tais como Tubarão/SC, Lajeado/RS, indica-se a criação de memoriais de inundações na cidade. As inundações fazem parte da história de Rio Negrinho e é importante que as grandes inundações não sejam esquecidas para que a população esteja sempre atenta a possibilidade de novas ocorrências. A primeira sugestão de memorial se refere a um monumento no centro da cidade, próximo a igreja, com a altura suficiente para representar as inundações históricas de 1983, 1992 e 2014. Também, indica-se a criação de um museu de inundações em um local já atingido pelas inundações, como por exemplo a antiga Fundação Hospitalar, onde a história destes eventos pode ser revivida com o uso de tecnologias como Realidade Virtual. Assim, o local teria novamente uma função social e em casos de alertas de inundação, o local não

receberia visitação, evitando problemas. O museu, como ponto turístico, pode se tornar uma referência em como manter a memória das inundações ao fazer uso de tecnologias como a Realidade Virtual. Integrando um roteiro turístico e também de conscientização dos mais jovens, recomenda-se a implementação de atividades como a Caminhada Turística das Inundações (“Walking tour”), passando pelos diversos pontos da cidade apresentando a história dos eventos. Essa caminhada pode ser assistida com a tecnologia de Realidade Aumentada, para que as pessoas tenham uma ideia mais real de como era a situação da inundação. Essa sugestão contribui para que a população compreenda que as inundações são fenômenos naturais que ocorrem no município e é necessário aprender a conviver e é ser referência em um turismo que valorize a história é inovador.

- **Estudo sobre alteração da foz do rio Negrinho:** A formação atual da confluência do rio Negrinho no rio Negro propicia maior atuação do efeito de remanso. Por meio de estudos aprofundados, pode-se investigar diferentes configurações do canal nesse trecho, visando identificar se a alteração da foz do rio Negrinho no rio Negro reduz o efeito de remanso. A alteração na foz é uma obra mais barata e menos complexa do que as obras de barragens, mas também necessita de manutenção constante.

Entende-se que princípios de integração entre diferentes setores (intersectorialidade), entre profissionais de diferentes áreas do conhecimento (interdisciplinaridade) e a participação social desde o planejamento até a execução são fundamentais para a efetivação das ações prioritárias mencionadas.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo do presente trabalho foi a promoção de medidas não-estruturais visando a redução de riscos a inundações para a área urbana de Rio Negrinho. Para isso, foi realizado o mapeamento de risco de inundação a partir dos mapeamentos de perigo e vulnerabilidade. O desenvolvimento do presente estudo apresenta as técnicas utilizadas para a obtenção das informações, fazendo com que qualquer especialista possa verificar como o trabalho foi realizado.

Ao longo do desenvolvimento do estudo, a comunidade local demonstrou interesse nos valores de nível e de precipitação dos eventos ocorridos no passado. Assim, visando também compreender mais sobre os processos hidrológicos e hidrodinâmicos já ocorridos, no Capítulo 3 foi realizada uma análise detalhada, que não estava inicialmente prevista, para as inundações de 1983, 1992 e 2014 e duas inundações mais recentes de menor magnitude (2019 e 2022). Também foram apresentadas discussões sobre situações específicas, como a verificação do efeito de remanso do rio Negro por meio da modelagem hidrodinâmica considerando a saída livre do escoamento do rio Negrinho no rio Negro. Valores quantitativos sobre o efeito de remanso foram obtidos e estão disponíveis para melhor compreensão dos agentes físicos envolvidos e suas interações auxiliando na busca de melhores soluções para os problemas.

O mapa de perigo de inundação, o mapa de vulnerabilidade e o mapa de risco a inundação são instrumentos que devem ser utilizados pelos gestores do município e pela própria população. O mapa de perigo indica a capacidade de destrutiva que a inundação possui. Os interessados podem utilizar este mapa para identificar regiões mais seguras para construir as suas casa ou empreendimentos. Este mapa também pode auxiliar a encontrar as rotas mais seguras para se locomover com automóveis ou a pé. O mapa de vulnerabilidade é uma ótima ferramenta para basear a decisão dos gestores em relação às áreas que devem receber atenção especial, não apenas para a redução de risco de inundação, mas para o próprio desenvolvimento da cidade. Por fim, o mapa de risco é importante indicativo das áreas prioritárias a serem consideradas

para o planejamento visando a redução dos riscos a inundação.

Além das ações prioritárias propostas com enfoque, principalmente, em medidas não-estruturais para a redução do risco de inundação, o presente trabalho ainda realizou uma análise documental do Plano Diretor e correlatos. Foram apresentadas discussões específicas para os documentos avaliados, indicando sugestões de como os resultados deste estudo poderiam utilizados para efetivá-los ou complementá-los.

As proposições e discussões foram realizadas com vistas a reiterar a integração entre o rio Negrinho e o município de Rio Negrinho, que se desenvolveu em suas margens e recebeu compartilha o mesmo nome. As inundações são fenômenos naturais e assim sendo é necessário compreender que a redução de seus impactos depende de medidas que atuem tanto em aspectos físicos quanto aspectos sociais. Dessa forma, fomentar uma convivência harmoniosa com o rio e valorizar o ambiente de seu entorno pode tornar o rio Negrinho uma dádiva. As leis da física demonstram que toda ação tem uma reação, sendo assim ao tentar controlar as forças do rio, esse irá reagir de diferentes formas, inclusive formas inesperadas.

REFERÊNCIAS

- ACIRNE. **Parque Linear: Integrando rio Negrinho com a Comunidade**. 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=aVUdbRrGN_c>. Citado na página 83.
- AMORIN, P. B. et al. Desempenho dos modelos de clima cmip5 integrados no modelo hidrológico swat para estimativa de chuva e vazão na bacia do rio negrinho. In: **XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Associação Brasileira de Recursos Hídricos**. [S.l.: s.n.], 2017. Citado na página 10.
- Atlas Brasil. **Rio Negrinho**. 2022. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/perfil/municipio/421500>>. Citado na página 14.
- BACK, Á. J.; BONETTI, A. V. Chuva de projeto para instalações prediais de águas pluviais de santa catarina. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 4, p. 260–267, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 40.
- BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF**. 2012. Citado na página 74.
- BRASIL. **Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF**. 2012. Citado 2 vezes nas páginas 81 e 82.
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF**. 2012. Citado na página 56.
- BRASIL. **Decreto nº 9.573, de 22 de novembro de 2018. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF**. 2018. Citado na página 63.
- BRIGHENTI, T. M.; BONUMÁ, N. B; CHAFFE, P. L. B. Calibração hierárquica do modelo swat em uma bacia hidrográfica catarinense. **RBRH, SciELO Brasil**, v. 21, 2016. Citado na página 10.
- CHOW, Ven Te. **Hydrologic determination of waterway areas for the design of drainage structures in small drainage basins**. [S.l.], 1962. Citado na página 36.
- CLARK, C. O. Storage and the unit hydrograph. **Transactions of the American Society of Civil Engineers**, American Society of Civil Engineers, v. 110, n. 1, p. 1419–1446, 1945. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.
- Consórcio Quiriri. **Página de Apresentação**. 2022. Disponível em: <<https://www.quiriri.com.br/>>. Citado na página 14.
- DEQUÊCH, J. **Análise Socio-hidrológica das Inundações e Alagamentos Ocorridos na Região do Terminal Central de Joinville/SC**. Dissertação (Mestrado) — Curso de Engenharia Civil, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2022. Citado na página 77.
- DOOGE, James. **Linear theory of hydrologic systems**. [S.l.]: Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, 1973. Citado na página 36.

GIGLIO, J. N. **Caracterização das Áreas de Inundação em Rio Negrinho - SC**. Dissertação (Mestrado) — Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Citado 5 vezes nas páginas 18, 19, 40, 42 e 48.

GIGLIO, J. N.; KOBIYAMA, M. Uso de registros históricos para análise de inundações: estudo de caso do município de rio negrinho. In: **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. [S.l.: s.n.], 2011. Citado 3 vezes nas páginas 10, 14 e 16.

HUFF, F. A. Time distribution of rainfall in heavy storms. v. 3, n. 4, p. 1007–1019, 1967. Citado na página 41.

IBGE. **Cidades: Rio Negrinho**. 2022. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/rio-negrinho/panorama>>. Citado na página 13.

IBGE. **Prévia da População dos Municípios com base nos dados do Censo Demográfico 2022 coletados até 25/12/2022**. 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html?=&t=resultados>>. Citado na página 13.

IBGE. **Índice de Gini da renda domiciliar per capita – Santa Catarina**. 2022. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/ibge/censo/cnv/ginisc.def>>. Citado na página 14.

INNOCENTE, C. et al. Análise do tempo de concentração em quatro bacias experimentais. In: **XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Associação Brasileira de Recursos Hídricos**. [S.l.: s.n.], 2017. Citado na página 10.

JOINVILLE. **Mapa de rotas seguranças em casos de inundações em Joinville (SC), edição de 2012**. 2012. Disponível em: <<https://www.joinville.sc.gov.br/publicacoes/mapas-de-rotas-seguranças-em-casos-de-inundacao/>>. Citado 2 vezes nas páginas 78 e 83.

KIBLER, David F. Desk-top methods for urban stormwater calculation. **Outdoor Recreation and Water Resources Planning**, Wiley Online Library, 1982. Citado na página 35.

KOBIYAMA, M. et al. Hydrological disasters reduction: lessons from hydrology. In: **Science and Technology for Environmental Studies: Experiences from Brazil, Portugal and Germany**. [S.l.]: UFSC, 2010. p. 49–72. Citado na página 56.

LINSLEY, R. K.; KOHLER, M. A.; PAULHUS, J. L. H. **Hidrología para ingenieros**. [S.l.], 1977. Citado na página 36.

LOAT, R.; PETRASCHECK, A. **Prise en compte des dangers dus aux crues dans le cadre des activités de l'aménagement du Territoire**. [S.l.], 1997. Citado 2 vezes nas páginas 53 e 54.

LOPES, D. C. et al. **Construindo Comunidades mais Seguras: Preparando para a ação cidadã em Defesa Civil**. [S.l.]: UFSC/CEPED: Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2009. Citado na página 82.

MONTEIRO, L. R.; KOBIYAMA, M. Proposta de metodologia de mapeamento de perigo de inundação. **Rega**, v. 10, n. 2, p. 13–25, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 32.

MONTEIRO, Leonardo Romero et al. Effects of return periods on flood hazard mapping: an analysis of the ufsc campus basin, florianópolis city, brazil. **RBRH**, SciELO Brasil, v. 26, 2021. Citado na página 53.

MOREIRA, L. L.; BRITO, M. M. de; KOBIYAMA, M. A systematic review and future prospects of flood vulnerability indices. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, Copernicus GmbH, v. 21, n. 5, p. 1513–1530, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 58.

MÜHLBAUER, R. **Metodologia para mitigação de problemas de inundação em cidades – estudo de caso: Rio Negrinho - SC**. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, Institutos Lactec, Curitiba, 2017. Citado 4 vezes nas páginas 16, 20, 21 e 29.

NEGRINHO, Rio. **Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil - PLANCON Rio Negrinho**. [S.l.], 2017. Citado na página 16.

Prefeitura de Rio Negrinho. **Página Inicial**. 2022. Disponível em: <<https://www.rionegrinho.sc.gov.br/>>. Citado na página 73.

QGIS. **QGIS Geographic Information System**. [S.l.], 2021. Citado na página 35.

RIO NEGRINHO. **Lei Complementar Nº 77, de 04 de junho de 2013, Gabinete do Prefeito Municipal de Rio Negrinho**. 2013. Citado na página 18.

RIO NEGRINHO. **Lei Nº 3436, de 15 de dezembro de 2020, Gabinete do Prefeito Municipal de Rio Negrinho**. 2020. Citado na página 83.

RIO NEGRINHO. **Lei Complementar Nº 195, de 29 de novembro de 2022, Gabinete do Prefeito Municipal de Rio Negrinho**. 2022. Citado na página 56.

SCHUMM, SA. Erroneous perceptions of fluvial hazards. In: **Geomorphology and Natural Hazards**. [S.l.]: Elsevier, 1994. p. 129–138. Citado na página 53.

SDS/SC. **Sistema de Informação Geográfica**. 2021. Disponível em: <<http://sigsc.sc.gov.br/>>. Citado na página 34.

SEBRAE. **Caderno de Desenvolvimento de Santa Catarina – Rio Negrinho**. Local de publicação: SEBRAE/SC, 2019. Citado na página 14.

SEPLAN. **Plano Diretor de Desenvolvimento Ambiental Urbano e Rural de Rio Negrinho**. [S.l.], 2015. Citado na página 74.

SEPLAN. **Plano de Mobilidade Urbana - Rio Negrinho**. [S.l.], 2019. Citado na página 74.

SEPLAN. **Plano Diretor de Macrodrenagem do Município de Rio Negrinho**. [S.l.], 2019. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 74.

SEPLAN. **Plano Diretor de Desenvolvimento Ambiental Urbano e Rural de Rio Negrinho**. [S.l.], 2022. Citado 2 vezes nas páginas 74 e 83.

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de formulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 1, p. 5–23, 2005. Citado na página 35.

STEPHENSON, D. Integrated flood plain management strategy for the vaal. v. 4, p. 425–430, 2002. Citado na página 54.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2012. Citado na página 32.

UNISDR. **Terminology on Disaster Risk Reduction (2009)**. [S.l.], 2009. Citado 3 vezes nas páginas 58, 62 e 82.

USACE-HEC. **HEC-HMS - User's Manual**. [S.l.], 2021. Citado na página 31.

USACE-HEC. **HEC-RAS - User's Manual**. [S.l.], 2023. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 47.

USDA. **Urban hydrology for small watersheds**. [S.l.], 1986. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.

VANELLI, Franciele Maria; KOBIYAMA, Masato. How can socio-hydrology contribute to natural disaster risk reduction? **Hydrological Sciences Journal**, Taylor & Francis, v. 66, n. 12, p. 1758–1766, 2021. Citado na página 81.

WREGE, Marcos Silveira et al. **Atlas climático da região sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. [S.l.]: Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012., 2012. Citado na página 13.

APÊNDICE A – DADOS DO MODELO HIDROLÓGICO

A.1 HIDROGRAMAS DO EVENTO DE INUNDAÇÃO DE 2004

Tabela 10 – Hidrograma do Rio dos Bugres: inundação de 2004 do dia 17 ao 23.

dia e hora	Q (m³/s)	dia e hora	Q (m³/s)	dia e hora	Q (m³/s)
17/10/2004 12:00	0,6	19/10/2004 12:00	2,7	21/10/2004 12:00	3,8
17/10/2004 13:00	0,6	19/10/2004 13:00	2,9	21/10/2004 13:00	3,7
17/10/2004 14:00	0,6	19/10/2004 14:00	3,1	21/10/2004 14:00	3,6
17/10/2004 15:00	0,7	19/10/2004 15:00	3,3	21/10/2004 15:00	3,5
17/10/2004 16:00	0,7	19/10/2004 16:00	3,5	21/10/2004 16:00	3,4
17/10/2004 17:00	0,7	19/10/2004 17:00	3,7	21/10/2004 17:00	3,3
17/10/2004 18:00	0,8	19/10/2004 18:00	3,9	21/10/2004 18:00	3,2
17/10/2004 19:00	0,9	19/10/2004 19:00	4,1	21/10/2004 19:00	3,2
17/10/2004 20:00	1,0	19/10/2004 20:00	4,3	21/10/2004 20:00	3,1
17/10/2004 21:00	1,2	19/10/2004 21:00	4,4	21/10/2004 21:00	3,0
17/10/2004 22:00	1,3	19/10/2004 22:00	4,6	21/10/2004 22:00	2,9
17/10/2004 23:00	1,5	19/10/2004 23:00	4,8	21/10/2004 23:00	2,8
18/10/2004 00:00	1,6	20/10/2004 00:00	5	22/10/2004 00:00	2,8
18/10/2004 01:00	1,8	20/10/2004 01:00	5,1	22/10/2004 01:00	2,7
18/10/2004 02:00	2,0	20/10/2004 02:00	5,3	22/10/2004 02:00	2,6
18/10/2004 03:00	2,1	20/10/2004 03:00	5,5	22/10/2004 03:00	2,5
18/10/2004 04:00	2,3	20/10/2004 04:00	5,6	22/10/2004 04:00	2,5
18/10/2004 05:00	2,5	20/10/2004 05:00	5,8	22/10/2004 05:00	2,4
18/10/2004 06:00	2,7	20/10/2004 06:00	6	22/10/2004 06:00	2,4
18/10/2004 07:00	2,9	20/10/2004 07:00	6,1	22/10/2004 07:00	2,3
18/10/2004 08:00	3,1	20/10/2004 08:00	6,2	22/10/2004 08:00	2,3
18/10/2004 09:00	3,2	20/10/2004 09:00	6,2	22/10/2004 09:00	2,2
18/10/2004 10:00	3,1	20/10/2004 10:00	6,2	22/10/2004 10:00	2,2
18/10/2004 11:00	3,1	20/10/2004 11:00	6	22/10/2004 11:00	2,1
18/10/2004 12:00	3,0	20/10/2004 12:00	5,9	22/10/2004 12:00	2,1
18/10/2004 13:00	2,9	20/10/2004 13:00	5,8	22/10/2004 13:00	2,0
18/10/2004 14:00	2,8	20/10/2004 14:00	5,7	22/10/2004 14:00	2,0
18/10/2004 15:00	2,8	20/10/2004 15:00	5,6	22/10/2004 15:00	2,0
18/10/2004 16:00	2,7	20/10/2004 16:00	5,5	22/10/2004 16:00	1,9
18/10/2004 17:00	2,7	20/10/2004 17:00	5,4	22/10/2004 17:00	1,9
18/10/2004 18:00	2,6	20/10/2004 18:00	5,3	22/10/2004 18:00	1,9
18/10/2004 19:00	2,5	20/10/2004 19:00	5,2	22/10/2004 19:00	1,8
18/10/2004 20:00	2,5	20/10/2004 20:00	5,1	22/10/2004 20:00	1,8
18/10/2004 21:00	2,4	20/10/2004 21:00	5	22/10/2004 21:00	1,8
18/10/2004 22:00	2,4	20/10/2004 22:00	5	22/10/2004 22:00	1,7
18/10/2004 23:00	2,3	20/10/2004 23:00	4,9	22/10/2004 23:00	1,7
19/10/2004 00:00	2,3	21/10/2004 00:00	4,8	23/10/2004 00:00	1,7
19/10/2004 01:00	2,3	21/10/2004 01:00	4,7	23/10/2004 01:00	1,7
19/10/2004 02:00	2,2	21/10/2004 02:00	4,7	23/10/2004 02:00	1,6
19/10/2004 03:00	2,2	21/10/2004 03:00	4,6	23/10/2004 03:00	1,6
19/10/2004 04:00	2,1	21/10/2004 04:00	4,5	23/10/2004 04:00	1,6
19/10/2004 05:00	2,1	21/10/2004 05:00	4,5	23/10/2004 05:00	1,6
19/10/2004 06:00	2,1	21/10/2004 06:00	4,4	23/10/2004 06:00	1,5
19/10/2004 07:00	2,0	21/10/2004 07:00	4,3	23/10/2004 07:00	1,5
19/10/2004 08:00	2,0	21/10/2004 08:00	4,3	23/10/2004 08:00	1,5
19/10/2004 09:00	2,1	21/10/2004 09:00	4,2	23/10/2004 09:00	1,5
19/10/2004 10:00	2,3	21/10/2004 10:00	4,1	23/10/2004 10:00	1,4
19/10/2004 11:00	2,5	21/10/2004 11:00	4	23/10/2004 11:00	1,4

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 11 – Hidrograma do Rio dos Bugres: inundação de 2004 do dia 23 ao 29.

dia e hora	Q (m³/s)	dia e hora	Q (m³/s)	dia e hora	Q (m³/s)
23/10/2004 12:00	1,4	25/10/2004 12:00	23,7	27/10/2004 12:00	17,0
23/10/2004 13:00	1,4	25/10/2004 13:00	24,7	27/10/2004 13:00	16,5
23/10/2004 14:00	1,3	25/10/2004 14:00	25,6	27/10/2004 14:00	16,0
23/10/2004 15:00	1,3	25/10/2004 15:00	26,5	27/10/2004 15:00	15,5
23/10/2004 16:00	1,3	25/10/2004 16:00	27,4	27/10/2004 16:00	15,1
23/10/2004 17:00	1,3	25/10/2004 17:00	28,2	27/10/2004 17:00	14,6
23/10/2004 18:00	1,3	25/10/2004 18:00	29,1	27/10/2004 18:00	14,2
23/10/2004 19:00	1,2	25/10/2004 19:00	29,9	27/10/2004 19:00	13,8
23/10/2004 20:00	1,2	25/10/2004 20:00	30,7	27/10/2004 20:00	13,4
23/10/2004 21:00	1,2	25/10/2004 21:00	31,4	27/10/2004 21:00	13,0
23/10/2004 22:00	1,2	25/10/2004 22:00	32,1	27/10/2004 22:00	12,6
23/10/2004 23:00	1,2	25/10/2004 23:00	32,8	27/10/2004 23:00	12,3
24/10/2004 00:00	1,1	26/10/2004 00:00	33,5	28/10/2004 00:00	11,9
24/10/2004 01:00	1,1	26/10/2004 01:00	34,2	28/10/2004 01:00	11,6
24/10/2004 02:00	1,1	26/10/2004 02:00	34,8	28/10/2004 02:00	11,3
24/10/2004 03:00	1,1	26/10/2004 03:00	35,5	28/10/2004 03:00	11,0
24/10/2004 04:00	1,1	26/10/2004 04:00	36,1	28/10/2004 04:00	10,7
24/10/2004 05:00	1,1	26/10/2004 05:00	36,7	28/10/2004 05:00	10,4
24/10/2004 06:00	1,0	26/10/2004 06:00	37,2	28/10/2004 06:00	10,1
24/10/2004 07:00	1,0	26/10/2004 07:00	37,8	28/10/2004 07:00	9,8
24/10/2004 08:00	1,2	26/10/2004 08:00	38,1	28/10/2004 08:00	9,6
24/10/2004 09:00	1,7	26/10/2004 09:00	37,8	28/10/2004 09:00	9,3
24/10/2004 10:00	2,5	26/10/2004 10:00	36,8	28/10/2004 10:00	9,0
24/10/2004 11:00	3,5	26/10/2004 11:00	35,7	28/10/2004 11:00	8,7
24/10/2004 12:00	4,5	26/10/2004 12:00	34,6	28/10/2004 12:00	8,4
24/10/2004 13:00	5,5	26/10/2004 13:00	33,5	28/10/2004 13:00	8,1
24/10/2004 14:00	6,4	26/10/2004 14:00	32,5	28/10/2004 14:00	7,9
24/10/2004 15:00	7,4	26/10/2004 15:00	31,5	28/10/2004 15:00	7,6
24/10/2004 16:00	8,2	26/10/2004 16:00	30,6	28/10/2004 16:00	7,4
24/10/2004 17:00	9,1	26/10/2004 17:00	29,7	28/10/2004 17:00	7,1
24/10/2004 18:00	10,0	26/10/2004 18:00	28,8	28/10/2004 18:00	6,9
24/10/2004 19:00	10,8	26/10/2004 19:00	27,9	28/10/2004 19:00	6,7
24/10/2004 20:00	11,6	26/10/2004 20:00	27,1	28/10/2004 20:00	6,5
24/10/2004 21:00	12,4	26/10/2004 21:00	26,3	28/10/2004 21:00	6,3
24/10/2004 22:00	13,2	26/10/2004 22:00	25,6	28/10/2004 22:00	6,1
24/10/2004 23:00	13,9	26/10/2004 23:00	24,8	28/10/2004 23:00	5,9
25/10/2004 00:00	14,7	27/10/2004 00:00	24,1	29/10/2004 00:00	5,7
25/10/2004 01:00	15,4	27/10/2004 01:00	23,4	29/10/2004 01:00	5,5
25/10/2004 02:00	16,1	27/10/2004 02:00	22,8	29/10/2004 02:00	5,4
25/10/2004 03:00	16,7	27/10/2004 03:00	22,1	29/10/2004 03:00	5,2
25/10/2004 04:00	17,4	27/10/2004 04:00	21,5	29/10/2004 04:00	5,0
25/10/2004 05:00	18,0	27/10/2004 05:00	20,9	29/10/2004 05:00	4,9
25/10/2004 06:00	18,6	27/10/2004 06:00	20,3	29/10/2004 06:00	4,7
25/10/2004 07:00	19,2	27/10/2004 07:00	19,8	29/10/2004 07:00	4,6
25/10/2004 08:00	19,9	27/10/2004 08:00	19,2	29/10/2004 08:00	4,4
25/10/2004 09:00	20,7	27/10/2004 09:00	18,7	29/10/2004 09:00	4,3
25/10/2004 10:00	21,7	27/10/2004 10:00	18,1	29/10/2004 10:00	4,2
25/10/2004 11:00	22,7	27/10/2004 11:00	17,6	29/10/2004 11:00	4,1

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 12 – Hidrograma do Rio Negrinho: inundação de 2004 do dia 17 ao 23.

dia e hora	Q (m³/s)	dia e hora	Q (m³/s)	dia e hora	Q (m³/s)
17/10/2004 12:00	1,7	19/10/2004 12:00	6,6	21/10/2004 12:00	10,6
17/10/2004 13:00	1,7	19/10/2004 13:00	7,1	21/10/2004 13:00	10,3
17/10/2004 14:00	1,7	19/10/2004 14:00	7,5	21/10/2004 14:00	10,1
17/10/2004 15:00	1,8	19/10/2004 15:00	7,9	21/10/2004 15:00	9,9
17/10/2004 16:00	1,8	19/10/2004 16:00	8,4	21/10/2004 16:00	9,7
17/10/2004 17:00	1,9	19/10/2004 17:00	8,8	21/10/2004 17:00	9,5
17/10/2004 18:00	2,1	19/10/2004 18:00	9,3	21/10/2004 18:00	9,3
17/10/2004 19:00	2,3	19/10/2004 19:00	9,7	21/10/2004 19:00	9,1
17/10/2004 20:00	2,5	19/10/2004 20:00	10,1	21/10/2004 20:00	8,9
17/10/2004 21:00	2,8	19/10/2004 21:00	10,5	21/10/2004 21:00	8,7
17/10/2004 22:00	3,1	19/10/2004 22:00	11,0	21/10/2004 22:00	8,5
17/10/2004 23:00	3,4	19/10/2004 23:00	11,4	21/10/2004 23:00	8,3
18/10/2004 00:00	3,7	20/10/2004 00:00	11,8	22/10/2004 00:00	8,1
18/10/2004 01:00	4,1	20/10/2004 01:00	12,2	22/10/2004 01:00	8,0
18/10/2004 02:00	4,5	20/10/2004 02:00	12,6	22/10/2004 02:00	7,8
18/10/2004 03:00	4,9	20/10/2004 03:00	13,0	22/10/2004 03:00	7,6
18/10/2004 04:00	5,3	20/10/2004 04:00	13,4	22/10/2004 04:00	7,5
18/10/2004 05:00	5,8	20/10/2004 05:00	13,8	22/10/2004 05:00	7,3
18/10/2004 06:00	6,2	20/10/2004 06:00	14,2	22/10/2004 06:00	7,2
18/10/2004 07:00	6,7	20/10/2004 07:00	14,5	22/10/2004 07:00	7,0
18/10/2004 08:00	7,1	20/10/2004 08:00	14,9	22/10/2004 08:00	6,9
18/10/2004 09:00	7,3	20/10/2004 09:00	15,0	22/10/2004 09:00	6,8
18/10/2004 10:00	7,3	20/10/2004 10:00	15,0	22/10/2004 10:00	6,6
18/10/2004 11:00	7,2	20/10/2004 11:00	14,8	22/10/2004 11:00	6,5
18/10/2004 12:00	7,1	20/10/2004 12:00	14,6	22/10/2004 12:00	6,4
18/10/2004 13:00	7,0	20/10/2004 13:00	14,4	22/10/2004 13:00	6,3
18/10/2004 14:00	6,9	20/10/2004 14:00	14,2	22/10/2004 14:00	6,2
18/10/2004 15:00	6,8	20/10/2004 15:00	14,0	22/10/2004 15:00	6,1
18/10/2004 16:00	6,6	20/10/2004 16:00	13,8	22/10/2004 16:00	6,0
18/10/2004 17:00	6,5	20/10/2004 17:00	13,6	22/10/2004 17:00	5,9
18/10/2004 18:00	6,4	20/10/2004 18:00	13,4	22/10/2004 18:00	5,8
18/10/2004 19:00	6,3	20/10/2004 19:00	13,3	22/10/2004 19:00	5,7
18/10/2004 20:00	6,2	20/10/2004 20:00	13,1	22/10/2004 20:00	5,6
18/10/2004 21:00	6,1	20/10/2004 21:00	13,0	22/10/2004 21:00	5,6
18/10/2004 22:00	6,0	20/10/2004 22:00	12,8	22/10/2004 22:00	5,5
18/10/2004 23:00	6,0	20/10/2004 23:00	12,6	22/10/2004 23:00	5,4
19/10/2004 00:00	5,9	21/10/2004 00:00	12,5	23/10/2004 00:00	5,3
19/10/2004 01:00	5,8	21/10/2004 01:00	12,4	23/10/2004 01:00	5,2
19/10/2004 02:00	5,7	21/10/2004 02:00	12,2	23/10/2004 02:00	5,2
19/10/2004 03:00	5,6	21/10/2004 03:00	12,1	23/10/2004 03:00	5,1
19/10/2004 04:00	5,5	21/10/2004 04:00	12,0	23/10/2004 04:00	5,0
19/10/2004 05:00	5,5	21/10/2004 05:00	11,8	23/10/2004 05:00	5,0
19/10/2004 06:00	5,4	21/10/2004 06:00	11,7	23/10/2004 06:00	4,9
19/10/2004 07:00	5,3	21/10/2004 07:00	11,6	23/10/2004 07:00	4,8
19/10/2004 08:00	5,3	21/10/2004 08:00	11,5	23/10/2004 08:00	4,8
19/10/2004 09:00	5,4	21/10/2004 09:00	11,3	23/10/2004 09:00	4,7
19/10/2004 10:00	5,7	21/10/2004 10:00	11,1	23/10/2004 10:00	4,6
19/10/2004 11:00	6,2	21/10/2004 11:00	10,8	23/10/2004 11:00	4,5

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 13 – Hidrograma do Rio Negrinho: inundação de 2004 do dia 23 ao 29.

dia e hora	Q (m³/s)	dia e hora	Q (m³/s)	dia e hora	Q (m³/s)
23/10/2004 12:00	4,5	25/10/2004 12:00	54,5	27/10/2004 12:00	49,6
23/10/2004 13:00	4,4	25/10/2004 13:00	56,9	27/10/2004 13:00	48,4
23/10/2004 14:00	4,3	25/10/2004 14:00	59,1	27/10/2004 14:00	47,3
23/10/2004 15:00	4,3	25/10/2004 15:00	61,4	27/10/2004 15:00	46,2
23/10/2004 16:00	4,2	25/10/2004 16:00	63,5	27/10/2004 16:00	45,1
23/10/2004 17:00	4,1	25/10/2004 17:00	65,6	27/10/2004 17:00	44,0
23/10/2004 18:00	4,1	25/10/2004 18:00	67,7	27/10/2004 18:00	43,0
23/10/2004 19:00	4,0	25/10/2004 19:00	69,7	27/10/2004 19:00	41,9
23/10/2004 20:00	3,9	25/10/2004 20:00	71,7	27/10/2004 20:00	41,0
23/10/2004 21:00	3,9	25/10/2004 21:00	73,6	27/10/2004 21:00	40,0
23/10/2004 22:00	3,8	25/10/2004 22:00	75,5	27/10/2004 22:00	39,1
23/10/2004 23:00	3,8	25/10/2004 23:00	77,3	27/10/2004 23:00	38,2
24/10/2004 00:00	3,7	26/10/2004 00:00	79,1	28/10/2004 00:00	37,3
24/10/2004 01:00	3,7	26/10/2004 01:00	80,9	28/10/2004 01:00	36,5
24/10/2004 02:00	3,6	26/10/2004 02:00	82,6	28/10/2004 02:00	35,6
24/10/2004 03:00	3,6	26/10/2004 03:00	84,3	28/10/2004 03:00	34,8
24/10/2004 04:00	3,5	26/10/2004 04:00	85,9	28/10/2004 04:00	34,0
24/10/2004 05:00	3,5	26/10/2004 05:00	87,5	28/10/2004 05:00	33,3
24/10/2004 06:00	3,4	26/10/2004 06:00	89	28/10/2004 06:00	32,5
24/10/2004 07:00	3,4	26/10/2004 07:00	90,5	28/10/2004 07:00	31,8
24/10/2004 08:00	3,6	26/10/2004 08:00	91,6	28/10/2004 08:00	31,1
24/10/2004 09:00	4,4	26/10/2004 09:00	91,7	28/10/2004 09:00	30,4
24/10/2004 10:00	5,9	26/10/2004 10:00	90,5	28/10/2004 10:00	29,6
24/10/2004 11:00	8,0	26/10/2004 11:00	88,5	28/10/2004 11:00	28,8
24/10/2004 12:00	10,1	26/10/2004 12:00	86,4	28/10/2004 12:00	28,1
24/10/2004 13:00	12,2	26/10/2004 13:00	84,4	28/10/2004 13:00	27,4
24/10/2004 14:00	14,3	26/10/2004 14:00	82,4	28/10/2004 14:00	26,7
24/10/2004 15:00	16,3	26/10/2004 15:00	80,4	28/10/2004 15:00	26,0
24/10/2004 16:00	18,3	26/10/2004 16:00	78,6	28/10/2004 16:00	25,3
24/10/2004 17:00	20,3	26/10/2004 17:00	76,7	28/10/2004 17:00	24,7
24/10/2004 18:00	22,2	26/10/2004 18:00	74,9	28/10/2004 18:00	24,0
24/10/2004 19:00	24,1	26/10/2004 19:00	73,2	28/10/2004 19:00	23,4
24/10/2004 20:00	26,0	26/10/2004 20:00	71,5	28/10/2004 20:00	22,8
24/10/2004 21:00	27,8	26/10/2004 21:00	69,9	28/10/2004 21:00	22,2
24/10/2004 22:00	29,6	26/10/2004 22:00	68,3	28/10/2004 22:00	21,7
24/10/2004 23:00	31,4	26/10/2004 23:00	66,8	28/10/2004 23:00	21,1
25/10/2004 00:00	33,1	27/10/2004 00:00	65,3	29/10/2004 00:00	20,6
25/10/2004 01:00	34,8	27/10/2004 01:00	63,8	29/10/2004 01:00	20,0
25/10/2004 02:00	36,4	27/10/2004 02:00	62,4	29/10/2004 02:00	19,5
25/10/2004 03:00	38,1	27/10/2004 03:00	61	29/10/2004 03:00	19,0
25/10/2004 04:00	39,6	27/10/2004 04:00	59,6	29/10/2004 04:00	18,6
25/10/2004 05:00	41,2	27/10/2004 05:00	58,3	29/10/2004 05:00	18,1
25/10/2004 06:00	42,7	27/10/2004 06:00	57,1	29/10/2004 06:00	17,7
25/10/2004 07:00	44,2	27/10/2004 07:00	55,8	29/10/2004 07:00	17,2
25/10/2004 08:00	45,8	27/10/2004 08:00	54,6	29/10/2004 08:00	16,8
25/10/2004 09:00	47,6	27/10/2004 09:00	53,4	29/10/2004 09:00	16,4
25/10/2004 10:00	49,8	27/10/2004 10:00	52,1	29/10/2004 10:00	16,0
25/10/2004 11:00	52,2	27/10/2004 11:00	50,9	29/10/2004 11:00	15,6

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 14 – Hidrograma do Rio Serrinha: inundação de 2004 do dia 17 ao 23.

dia e hora	Q (m³/s)	dia e hora	Q (m³/s)	dia e hora	Q (m³/s)
17/10/2004 12:00	0,1	19/10/2004 12:00	0,5	21/10/2004 12:00	0,3
17/10/2004 13:00	0,1	19/10/2004 13:00	0,6	21/10/2004 13:00	0,2
17/10/2004 14:00	0,1	19/10/2004 14:00	0,6	21/10/2004 14:00	0,2
17/10/2004 15:00	0,1	19/10/2004 15:00	0,7	21/10/2004 15:00	0,2
17/10/2004 16:00	0,1	19/10/2004 16:00	0,7	21/10/2004 16:00	0,2
17/10/2004 17:00	0,1	19/10/2004 17:00	0,8	21/10/2004 17:00	0,2
17/10/2004 18:00	0,2	19/10/2004 18:00	0,8	21/10/2004 18:00	0,2
17/10/2004 19:00	0,2	19/10/2004 19:00	0,9	21/10/2004 19:00	0,2
17/10/2004 20:00	0,2	19/10/2004 20:00	0,9	21/10/2004 20:00	0,2
17/10/2004 21:00	0,3	19/10/2004 21:00	0,9	21/10/2004 21:00	0,1
17/10/2004 22:00	0,3	19/10/2004 22:00	0,9	21/10/2004 22:00	0,1
17/10/2004 23:00	0,4	19/10/2004 23:00	1	21/10/2004 23:00	0,1
18/10/2004 00:00	0,4	20/10/2004 00:00	1	22/10/2004 00:00	0,1
18/10/2004 01:00	0,5	20/10/2004 01:00	1	22/10/2004 01:00	0,1
18/10/2004 02:00	0,5	20/10/2004 02:00	1	22/10/2004 02:00	0,1
18/10/2004 03:00	0,6	20/10/2004 03:00	1,1	22/10/2004 03:00	0,1
18/10/2004 04:00	0,6	20/10/2004 04:00	1,1	22/10/2004 04:00	0,1
18/10/2004 05:00	0,7	20/10/2004 05:00	1,1	22/10/2004 05:00	0,1
18/10/2004 06:00	0,7	20/10/2004 06:00	1,1	22/10/2004 06:00	0,1
18/10/2004 07:00	0,7	20/10/2004 07:00	1,1	22/10/2004 07:00	0,1
18/10/2004 08:00	0,7	20/10/2004 08:00	1,1	22/10/2004 08:00	0,1
18/10/2004 09:00	0,7	20/10/2004 09:00	1	22/10/2004 09:00	0,1
18/10/2004 10:00	0,6	20/10/2004 10:00	0,9	22/10/2004 10:00	0,1
18/10/2004 11:00	0,6	20/10/2004 11:00	0,9	22/10/2004 11:00	0,1
18/10/2004 12:00	0,5	20/10/2004 12:00	0,8	22/10/2004 12:00	0,1
18/10/2004 13:00	0,5	20/10/2004 13:00	0,8	22/10/2004 13:00	0,1
18/10/2004 14:00	0,4	20/10/2004 14:00	0,7	22/10/2004 14:00	0,1
18/10/2004 15:00	0,4	20/10/2004 15:00	0,7	22/10/2004 15:00	0,1
18/10/2004 16:00	0,4	20/10/2004 16:00	0,6	22/10/2004 16:00	0,1
18/10/2004 17:00	0,3	20/10/2004 17:00	0,6	22/10/2004 17:00	0,1
18/10/2004 18:00	0,3	20/10/2004 18:00	0,6	22/10/2004 18:00	0,1
18/10/2004 19:00	0,3	20/10/2004 19:00	0,6	22/10/2004 19:00	0,1
18/10/2004 20:00	0,3	20/10/2004 20:00	0,5	22/10/2004 20:00	0,1
18/10/2004 21:00	0,3	20/10/2004 21:00	0,5	22/10/2004 21:00	0,1
18/10/2004 22:00	0,2	20/10/2004 22:00	0,5	22/10/2004 22:00	0,1
18/10/2004 23:00	0,2	20/10/2004 23:00	0,5	22/10/2004 23:00	0,1
19/10/2004 00:00	0,2	21/10/2004 00:00	0,5	23/10/2004 00:00	0,1
19/10/2004 01:00	0,2	21/10/2004 01:00	0,4	23/10/2004 01:00	0,1
19/10/2004 02:00	0,2	21/10/2004 02:00	0,4	23/10/2004 02:00	0,1
19/10/2004 03:00	0,2	21/10/2004 03:00	0,4	23/10/2004 03:00	0,1
19/10/2004 04:00	0,2	21/10/2004 04:00	0,4	23/10/2004 04:00	0,1
19/10/2004 05:00	0,2	21/10/2004 05:00	0,4	23/10/2004 05:00	0,1
19/10/2004 06:00	0,2	21/10/2004 06:00	0,4	23/10/2004 06:00	0,1
19/10/2004 07:00	0,2	21/10/2004 07:00	0,4	23/10/2004 07:00	0,1
19/10/2004 08:00	0,2	21/10/2004 08:00	0,4	23/10/2004 08:00	0,1
19/10/2004 09:00	0,3	21/10/2004 09:00	0,3	23/10/2004 09:00	0,1
19/10/2004 10:00	0,4	21/10/2004 10:00	0,3	23/10/2004 10:00	0,1
19/10/2004 11:00	0,4	21/10/2004 11:00	0,3	23/10/2004 11:00	0,1

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 15 – Hidrograma do Rio Serrinha: inundação de 2004 do dia 23 ao 29.

dia e hora	Q (m³/s)	dia e hora	Q (m³/s)	dia e hora	Q (m³/s)
23/10/2004 12:00	0,1	25/10/2004 12:00	4,8	27/10/2004 12:00	0,6
23/10/2004 13:00	0,1	25/10/2004 13:00	5	27/10/2004 13:00	0,6
23/10/2004 14:00	0,1	25/10/2004 14:00	5,1	27/10/2004 14:00	0,6
23/10/2004 15:00	0,1	25/10/2004 15:00	5,2	27/10/2004 15:00	0,5
23/10/2004 16:00	0,1	25/10/2004 16:00	5,3	27/10/2004 16:00	0,5
23/10/2004 17:00	0,1	25/10/2004 17:00	5,4	27/10/2004 17:00	0,5
23/10/2004 18:00	0,1	25/10/2004 18:00	5,5	27/10/2004 18:00	0,4
23/10/2004 19:00	0,1	25/10/2004 19:00	5,6	27/10/2004 19:00	0,4
23/10/2004 20:00	0,1	25/10/2004 20:00	5,7	27/10/2004 20:00	0,4
23/10/2004 21:00	0,1	25/10/2004 21:00	5,7	27/10/2004 21:00	0,4
23/10/2004 22:00	0,1	25/10/2004 22:00	5,8	27/10/2004 22:00	0,4
23/10/2004 23:00	0,1	25/10/2004 23:00	5,9	27/10/2004 23:00	0,4
24/10/2004 00:00	0,1	26/10/2004 00:00	5,9	28/10/2004 00:00	0,4
24/10/2004 01:00	0,1	26/10/2004 01:00	6	28/10/2004 01:00	0,3
24/10/2004 02:00	0,1	26/10/2004 02:00	6	28/10/2004 02:00	0,3
24/10/2004 03:00	0,1	26/10/2004 03:00	6	28/10/2004 03:00	0,3
24/10/2004 04:00	0,1	26/10/2004 04:00	6,1	28/10/2004 04:00	0,3
24/10/2004 05:00	0,1	26/10/2004 05:00	6,1	28/10/2004 05:00	0,3
24/10/2004 06:00	0,1	26/10/2004 06:00	6,1	28/10/2004 06:00	0,3
24/10/2004 07:00	0,1	26/10/2004 07:00	6,1	28/10/2004 07:00	0,3
24/10/2004 08:00	0,3	26/10/2004 08:00	5,9	28/10/2004 08:00	0,3
24/10/2004 09:00	0,7	26/10/2004 09:00	5,3	28/10/2004 09:00	0,3
24/10/2004 10:00	1,0	26/10/2004 10:00	4,8	28/10/2004 10:00	0,2
24/10/2004 11:00	1,3	26/10/2004 11:00	4,3	28/10/2004 11:00	0,2
24/10/2004 12:00	1,6	26/10/2004 12:00	3,9	28/10/2004 12:00	0,2
24/10/2004 13:00	1,9	26/10/2004 13:00	3,5	28/10/2004 13:00	0,2
24/10/2004 14:00	2,1	26/10/2004 14:00	3,2	28/10/2004 14:00	0,2
24/10/2004 15:00	2,3	26/10/2004 15:00	2,9	28/10/2004 15:00	0,2
24/10/2004 16:00	2,5	26/10/2004 16:00	2,6	28/10/2004 16:00	0,2
24/10/2004 17:00	2,7	26/10/2004 17:00	2,4	28/10/2004 17:00	0,1
24/10/2004 18:00	2,8	26/10/2004 18:00	2,2	28/10/2004 18:00	0,1
24/10/2004 19:00	3,0	26/10/2004 19:00	2	28/10/2004 19:00	0,1
24/10/2004 20:00	3,1	26/10/2004 20:00	1,9	28/10/2004 20:00	0,1
24/10/2004 21:00	3,2	26/10/2004 21:00	1,7	28/10/2004 21:00	0,1
24/10/2004 22:00	3,3	26/10/2004 22:00	1,6	28/10/2004 22:00	0,1
24/10/2004 23:00	3,4	26/10/2004 23:00	1,5	28/10/2004 23:00	0,1
25/10/2004 00:00	3,5	27/10/2004 00:00	1,4	29/10/2004 00:00	0,1
25/10/2004 01:00	3,6	27/10/2004 01:00	1,3	29/10/2004 01:00	0,1
25/10/2004 02:00	3,7	27/10/2004 02:00	1,2	29/10/2004 02:00	0,1
25/10/2004 03:00	3,7	27/10/2004 03:00	1,1	29/10/2004 03:00	0,1
25/10/2004 04:00	3,8	27/10/2004 04:00	1,1	29/10/2004 04:00	0,1
25/10/2004 05:00	3,8	27/10/2004 05:00	1	29/10/2004 05:00	0,1
25/10/2004 06:00	3,9	27/10/2004 06:00	0,9	29/10/2004 06:00	0,1
25/10/2004 07:00	3,9	27/10/2004 07:00	0,9	29/10/2004 07:00	0,1
25/10/2004 08:00	4,1	27/10/2004 08:00	0,8	29/10/2004 08:00	0,1
25/10/2004 09:00	4,3	27/10/2004 09:00	0,8	29/10/2004 09:00	0,1
25/10/2004 10:00	4,5	27/10/2004 10:00	0,7	29/10/2004 10:00	0,1
25/10/2004 11:00	4,7	27/10/2004 11:00	0,7	29/10/2004 11:00	0,1

Fonte: Os autores (2022).

A.2 HIDROGRAMAS DE PROJETO

A.2.1 Tempo de retorno de 100 anos

Tabela 16 – Hidrograma do Rio dos Bugres para TR de 100 anos.

dia	hh:mm	Q (m ³ /s)	dia	hh:mm	Q (m ³ /s)
1	0:00	1,1	2	0:00	55,5
1	1:00	0,7	2	1:00	54,0
1	2:00	0,7	2	2:00	52,5
1	3:00	0,7	2	3:00	51,1
1	4:00	0,7	2	4:00	49,7
1	5:00	0,7	2	5:00	48,3
1	6:00	0,7	2	6:00	47,0
1	7:00	0,7	2	7:00	45,7
1	8:00	0,7	2	8:00	44,5
1	9:00	0,7	2	9:00	43,3
1	10:00	0,7	2	10:00	42,1
1	11:00	0,7	2	11:00	41,0
1	12:00	0,9	2	12:00	39,8
1	13:00	1,4	2	13:00	38,8
1	14:00	2,8	2	14:00	37,7
1	15:00	5,4	2	15:00	36,7
1	16:00	9,8	2	16:00	35,7
1	17:00	16,9	2	17:00	34,7
1	18:00	27,7	2	18:00	33,8
1	19:00	40,4	2	19:00	32,9
1	20:00	50,8	2	20:00	32,0
1	21:00	56,4			
1	22:00	57,7			
1	23:00	56,9			

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 17 – Hidrograma do Rio Negrinho para TR de 100 anos.

dia	hh:mm	Q (m ³ /s)	dia	hh:mm	Q (m ³ /s)
1	0:00	1,3	2	0:00	180,6
1	1:00	1,8	2	1:00	174,3
1	2:00	1,8	2	2:00	168,3
1	3:00	1,8	2	3:00	162,5
1	4:00	1,8	2	4:00	156,8
1	5:00	1,8	2	5:00	151,4
1	6:00	1,8	2	6:00	146,2
1	7:00	1,8	2	7:00	141,1
1	8:00	1,8	2	8:00	136,2
1	9:00	1,8	2	9:00	131,5
1	10:00	1,8	2	10:00	127,0
1	11:00	2,0	2	11:00	122,6
1	12:00	2,7	2	12:00	118,4
1	13:00	5,2	2	13:00	114,3
1	14:00	10,8	2	14:00	110,3
1	15:00	21,3	2	15:00	106,5
1	16:00	38,4	2	16:00	102,9
1	17:00	66,1	2	17:00	99,3
1	18:00	107,4	2	18:00	95,9
1	19:00	152,5	2	19:00	92,6
1	20:00	183,4	2	20:00	89,4
1	21:00	194,1			
1	22:00	192,7			
1	23:00	187,1			

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 18 – Hidrograma do Rio Serrinha para TR de 100 anos.

dia	hh:mm	Q (m ³ /s)	dia	hh:mm	Q (m ³ /s)
1	0:00	0,1	2	0:00	14,4
1	1:00	0,1	2	1:00	12,8
1	2:00	0,1	2	2:00	11,4
1	3:00	0,1	2	3:00	10,2
1	4:00	0,1	2	4:00	9,1
1	5:00	0,1	2	5:00	8,1
1	6:00	0,1	2	6:00	7,2
1	7:00	0,1	2	7:00	6,5
1	8:00	0,1	2	8:00	5,8
1	9:00	0,1	2	9:00	5,2
1	10:00	0,1	2	10:00	4,6
1	11:00	0,1	2	11:00	4,1
1	12:00	0,4	2	12:00	3,7
1	13:00	1,1	2	13:00	3,3
1	14:00	2,5	2	14:00	2,9
1	15:00	4,7	2	15:00	2,6
1	16:00	7,9	2	16:00	2,4
1	17:00	13,3	2	17:00	2,1
1	18:00	19,8	2	18:00	1,9
1	19:00	22,8	2	19:00	1,7
1	20:00	22,1	2	20:00	1,5
1	21:00	20,2			
1	22:00	18,0			
1	23:00	16,1			

Fonte: Os autores (2022).

A.2.2 Tempo de retorno de 20 anos

Tabela 19 – Hidrograma do Rio dos Bugres para TR de 20 anos.

dia	hh:mm	Q (m ³ /s)	dia	hh:mm	Q (m ³ /s)
1	0:00	1,1	2	0:00	34,7
1	1:00	0,7	2	1:00	33,8
1	2:00	0,7	2	2:00	32,9
1	3:00	0,7	2	3:00	32,0
1	4:00	0,7	2	4:00	31,1
1	5:00	0,7	2	5:00	30,3
1	6:00	0,7	2	6:00	29,5
1	7:00	0,7	2	7:00	28,7
1	8:00	0,7	2	8:00	27,9
1	9:00	0,7	2	9:00	27,1
1	10:00	0,7	2	10:00	26,4
1	11:00	0,7	2	11:00	25,7
1	12:00	0,7	2	12:00	25,0
1	13:00	0,7	2	13:00	24,3
1	14:00	0,9	2	14:00	23,7
1	15:00	1,7	2	15:00	23,0
1	16:00	3,8	2	16:00	22,4
1	17:00	8,0	2	17:00	21,8
1	18:00	15,0	2	18:00	21,2
1	19:00	23,6	2	19:00	20,7
1	20:00	30,9	2	20:00	20,1
1	21:00	35,0			
1	22:00	36,0			
1	23:00	35,6			

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 20 – Hidrograma do Rio Negrinho para TR de 20 anos.

dia	hh:mm	Q (m ³ /s)	dia	hh:mm	Q (m ³ /s)
1	0:00	1,3	2	0:00	113,0
1	1:00	1,8	2	1:00	109,1
1	2:00	1,8	2	2:00	105,4
1	3:00	1,8	2	3:00	101,8
1	4:00	1,8	2	4:00	98,3
1	5:00	1,8	2	5:00	94,9
1	6:00	1,8	2	6:00	91,6
1	7:00	1,8	2	7:00	88,5
1	8:00	1,8	2	8:00	85,4
1	9:00	1,8	2	9:00	82,5
1	10:00	1,8	2	10:00	79,7
1	11:00	1,8	2	11:00	76,9
1	12:00	1,8	2	12:00	74,3
1	13:00	1,9	2	13:00	71,8
1	14:00	2,9	2	14:00	69,3
1	15:00	6,6	2	15:00	67,0
1	16:00	15,2	2	16:00	64,7
1	17:00	32,1	2	17:00	62,5
1	18:00	59,5	2	18:00	60,3
1	19:00	90,7	2	19:00	58,3
1	20:00	112,7	2	20:00	56,3
1	21:00	120,9			
1	22:00	120,5			
1	23:00	117,1			

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 21 – Hidrograma do Rio Serrinha para TR de 20 anos.

dia	hh:mm	Q (m ³ /s)	dia	hh:mm	Q (m ³ /s)
1	0:00	0,1	2	0:00	9,2
1	1:00	0,1	2	1:00	8,3
1	2:00	0,1	2	2:00	7,4
1	3:00	0,1	2	3:00	6,6
1	4:00	0,1	2	4:00	5,9
1	5:00	0,1	2	5:00	5,2
1	6:00	0,1	2	6:00	4,7
1	7:00	0,1	2	7:00	4,2
1	8:00	0,1	2	8:00	3,7
1	9:00	0,1	2	9:00	3,3
1	10:00	0,1	2	10:00	3,0
1	11:00	0,1	2	11:00	2,7
1	12:00	0,1	2	12:00	2,4
1	13:00	0,1	2	13:00	2,1
1	14:00	0,5	2	14:00	1,9
1	15:00	1,7	2	15:00	1,7
1	16:00	3,7	2	16:00	1,5
1	17:00	7,5	2	17:00	1,4
1	18:00	12,2	2	18:00	1,2
1	19:00	14,5	2	19:00	1,1
1	20:00	14,2	2	20:00	1,0
1	21:00	13,0			
1	22:00	11,6			
1	23:00	10,4			

Fonte: Os autores (2022).

A.2.3 Tempo de retorno de 5 anos

Tabela 22 – Hidrograma do Rio dos Bugres para TR de 5 anos.

dia	hh:mm	Q (m ³ /s)	dia	hh:mm	Q (m ³ /s)
1	0:00	1,1	2	0:00	21,7
1	1:00	0,7	2	1:00	21,1
1	2:00	0,7	2	2:00	20,5
1	3:00	0,7	2	3:00	20,0
1	4:00	0,7	2	4:00	19,5
1	5:00	0,7	2	5:00	18,9
1	6:00	0,7	2	6:00	18,4
1	7:00	0,7	2	7:00	17,9
1	8:00	0,7	2	8:00	17,5
1	9:00	0,7	2	9:00	17,0
1	10:00	0,7	2	10:00	16,6
1	11:00	0,7	2	11:00	16,1
1	12:00	0,7	2	12:00	15,7
1	13:00	0,7	2	13:00	15,3
1	14:00	0,7	2	14:00	14,9
1	15:00	0,8	2	15:00	14,5
1	16:00	1,4	2	16:00	14,1
1	17:00	3,5	2	17:00	13,7
1	18:00	7,7	2	18:00	13,4
1	19:00	13,5	2	19:00	13,0
1	20:00	18,6	2	20:00	12,7
1	21:00	21,5			
1	22:00	22,4			
1	23:00	22,2			

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 23 – Hidrograma do Rio Negrinho para TR de 5 anos.

dia	hh:mm	Q (m ³ /s)	dia	hh:mm	Q (m ³ /s)
1	0:00	1,3	2	0:00	70,6
1	1:00	1,8	2	1:00	68,1
1	2:00	1,8	2	2:00	65,8
1	3:00	1,8	2	3:00	63,6
1	4:00	1,8	2	4:00	61,4
1	5:00	1,8	2	5:00	59,3
1	6:00	1,8	2	6:00	57,3
1	7:00	1,8	2	7:00	55,4
1	8:00	1,8	2	8:00	53,5
1	9:00	1,8	2	9:00	51,7
1	10:00	1,8	2	10:00	49,9
1	11:00	1,8	2	11:00	48,3
1	12:00	1,8	2	12:00	46,6
1	13:00	1,8	2	13:00	45,1
1	14:00	1,8	2	14:00	43,5
1	15:00	2,4	2	15:00	42,1
1	16:00	5,3	2	16:00	40,7
1	17:00	14,1	2	17:00	39,3
1	18:00	31,4	2	18:00	38,0
1	19:00	52,8	2	19:00	36,7
1	20:00	68,6	2	20:00	35,5
1	21:00	74,9			
1	22:00	75,1			
1	23:00	73,1			

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 24 – Hidrograma do Rio Serrinha para TR de 5 anos.

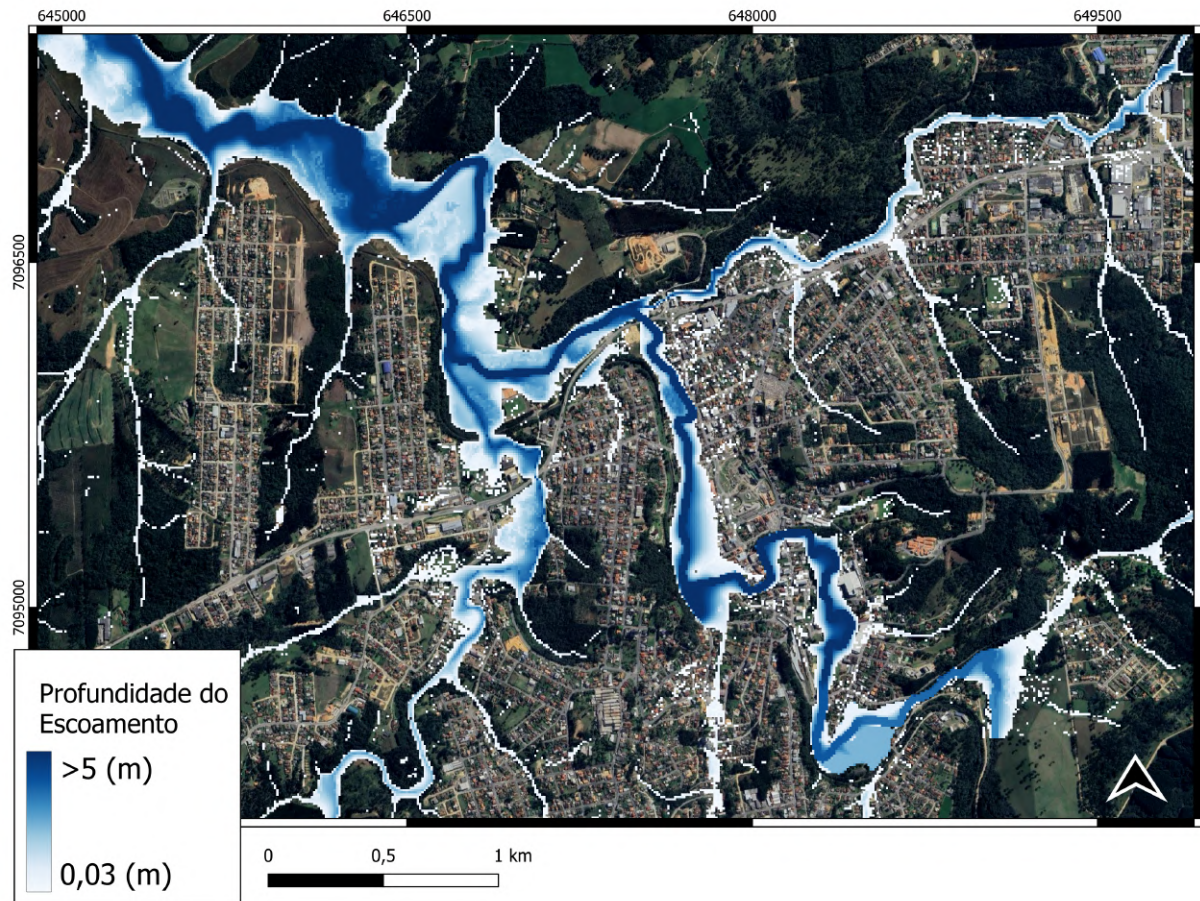
dia	hh:mm	Q (m ³ /s)	dia	hh:mm	Q (m ³ /s)
1	0:00	0,1	2	0:00	5,9
1	1:00	0,1	2	1:00	5,3
1	2:00	0,1	2	2:00	4,7
1	3:00	0,1	2	3:00	4,2
1	4:00	0,1	2	4:00	3,8
1	5:00	0,1	2	5:00	3,4
1	6:00	0,1	2	6:00	3,0
1	7:00	0,1	2	7:00	2,7
1	8:00	0,1	2	8:00	2,4
1	9:00	0,1	2	9:00	2,2
1	10:00	0,1	2	10:00	1,9
1	11:00	0,1	2	11:00	1,7
1	12:00	0,1	2	12:00	1,6
1	13:00	0,1	2	13:00	1,4
1	14:00	0,1	2	14:00	1,3
1	15:00	0,4	2	15:00	1,1
1	16:00	1,4	2	16:00	1,0
1	17:00	3,9	2	17:00	0,9
1	18:00	7,3	2	18:00	0,8
1	19:00	9,1	2	19:00	0,7
1	20:00	9,0	2	20:00	0,7
1	21:00	8,3			
1	22:00	7,4			
1	23:00	6,6			

Fonte: Os autores (2022).

APÊNDICE B – DADOS DO MODELO HIDRODINÂMICO

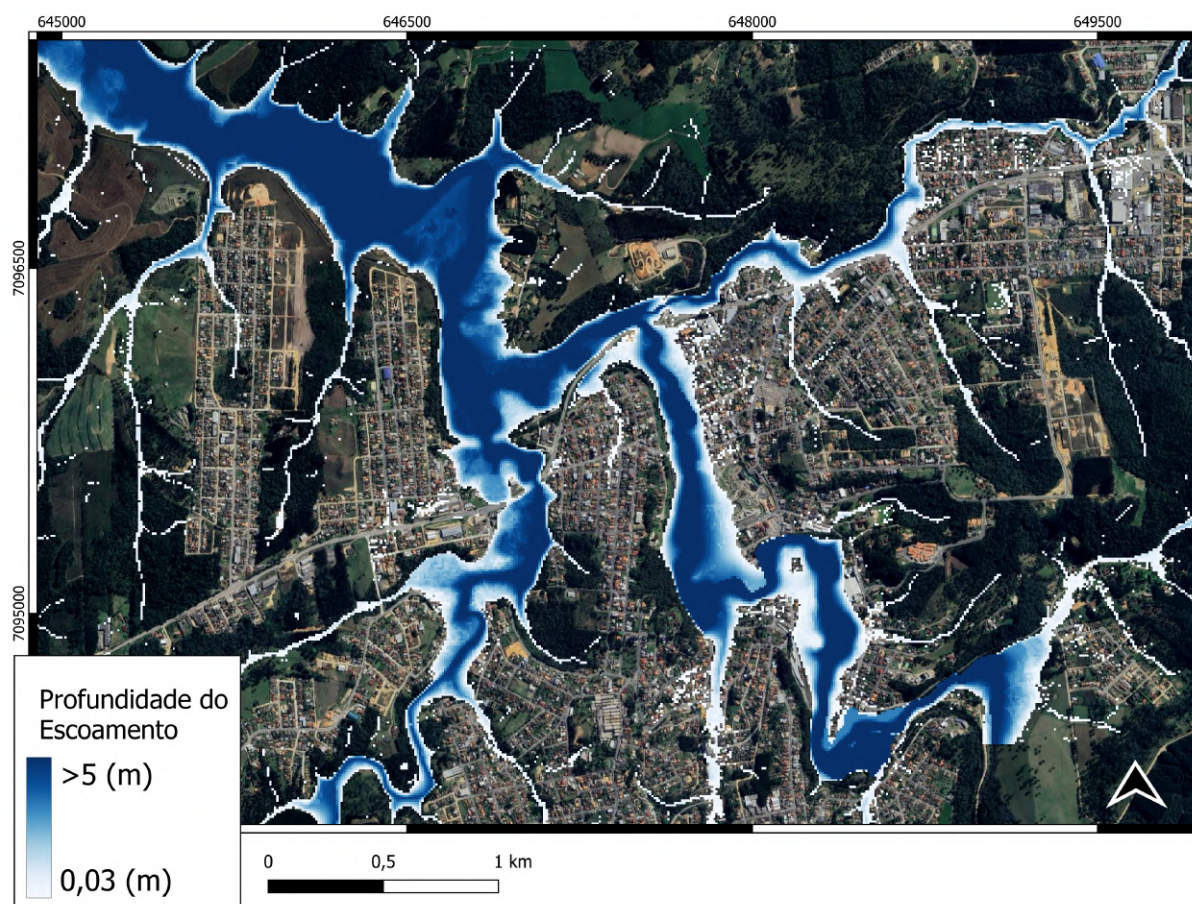
B.1 MAPAS DE PROFUNDIDADE DE INUNDAÇÃO

Figura 40 – Mapa de profundidade de inundação para o TR de 5 anos.



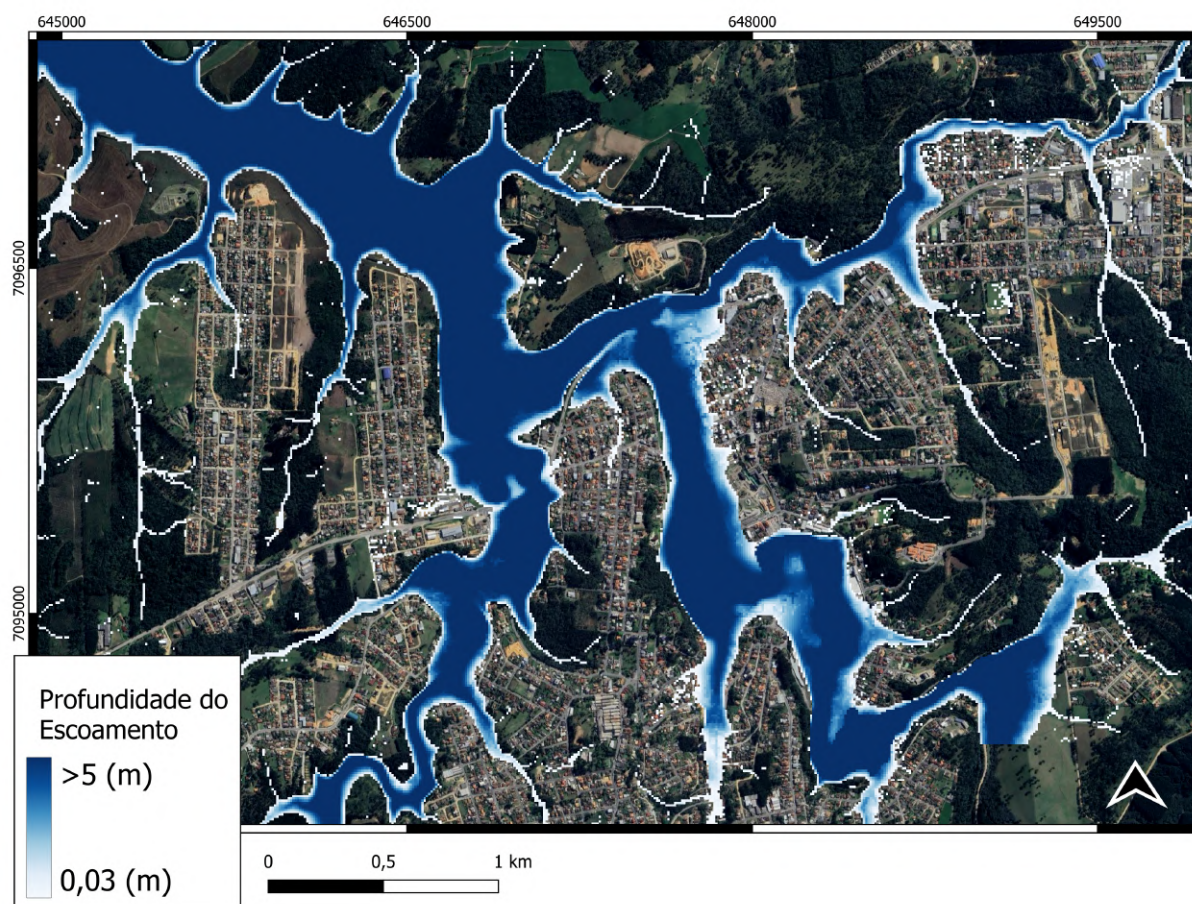
Fonte: Os autores (2023).

Figura 41 – Mapa de profundidade de inundação para o TR de 20 anos.



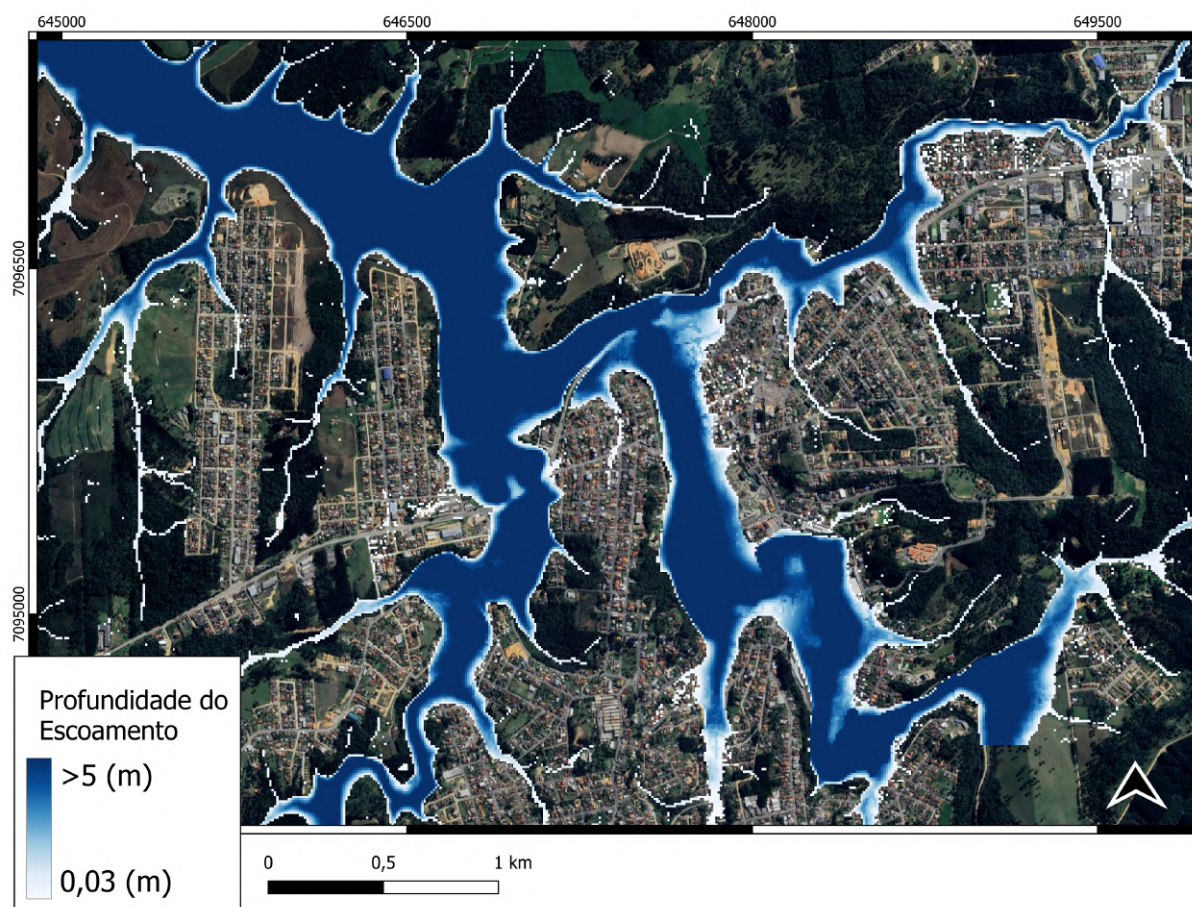
Fonte: Os autores (2023).

Figura 42 – Mapa de profundidade de inundação para o TR de 100 anos.



Fonte: Os autores (2023).

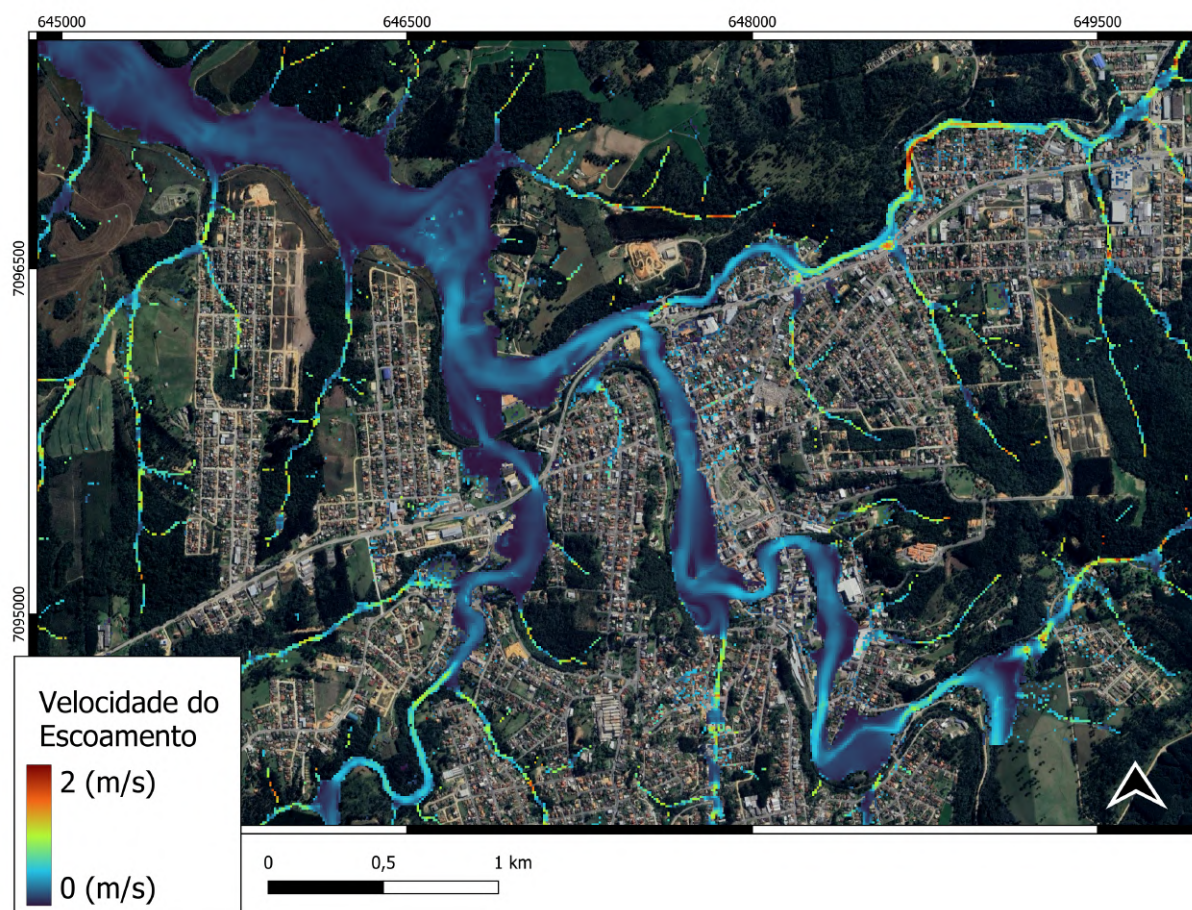
Figura 43 – Mapa de profundidade de inundação para o TR de 100 anos sem a condição de remanso.



Fonte: Os autores (2023).

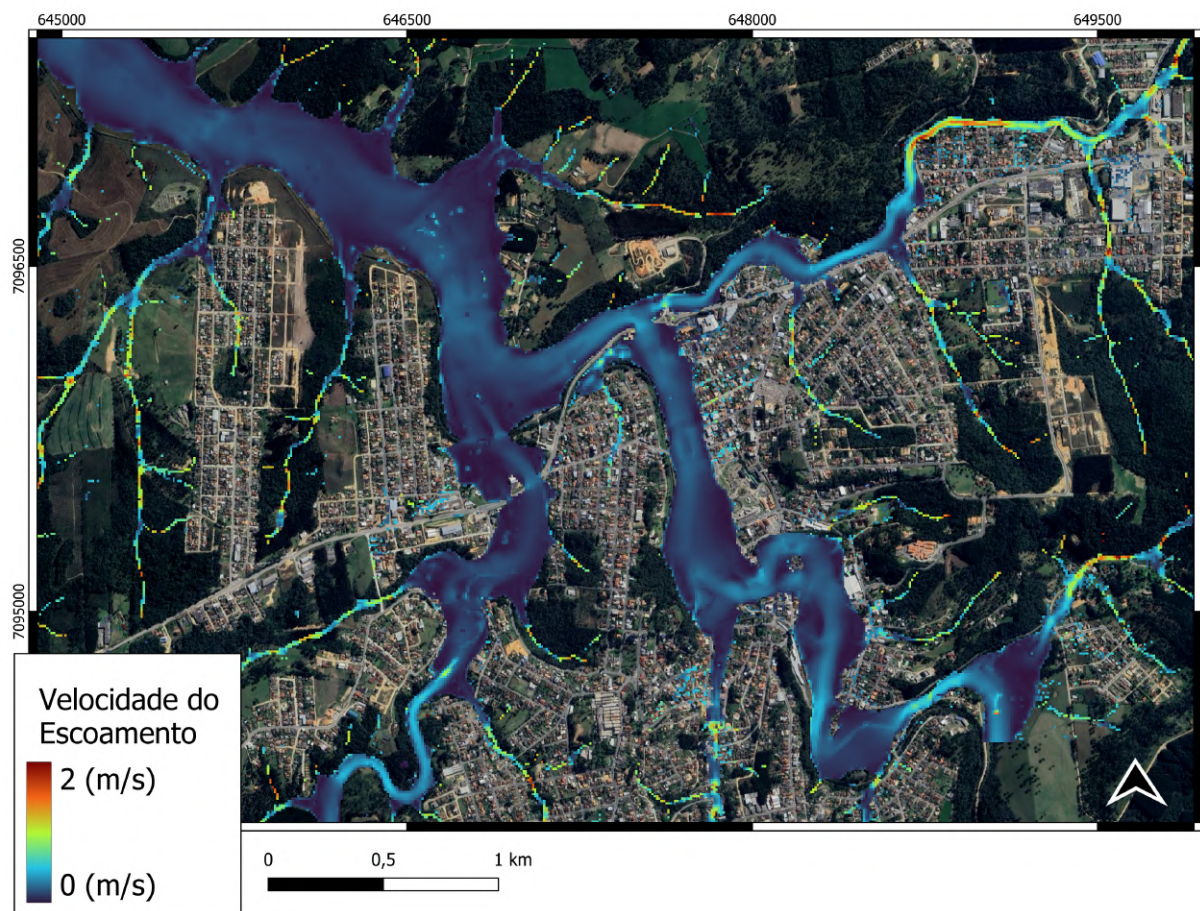
B.2 MAPAS DE VELOCIDADE DE INUNDAÇÃO

Figura 44 – Mapa de velocidade de inundação para o TR de 5 anos.



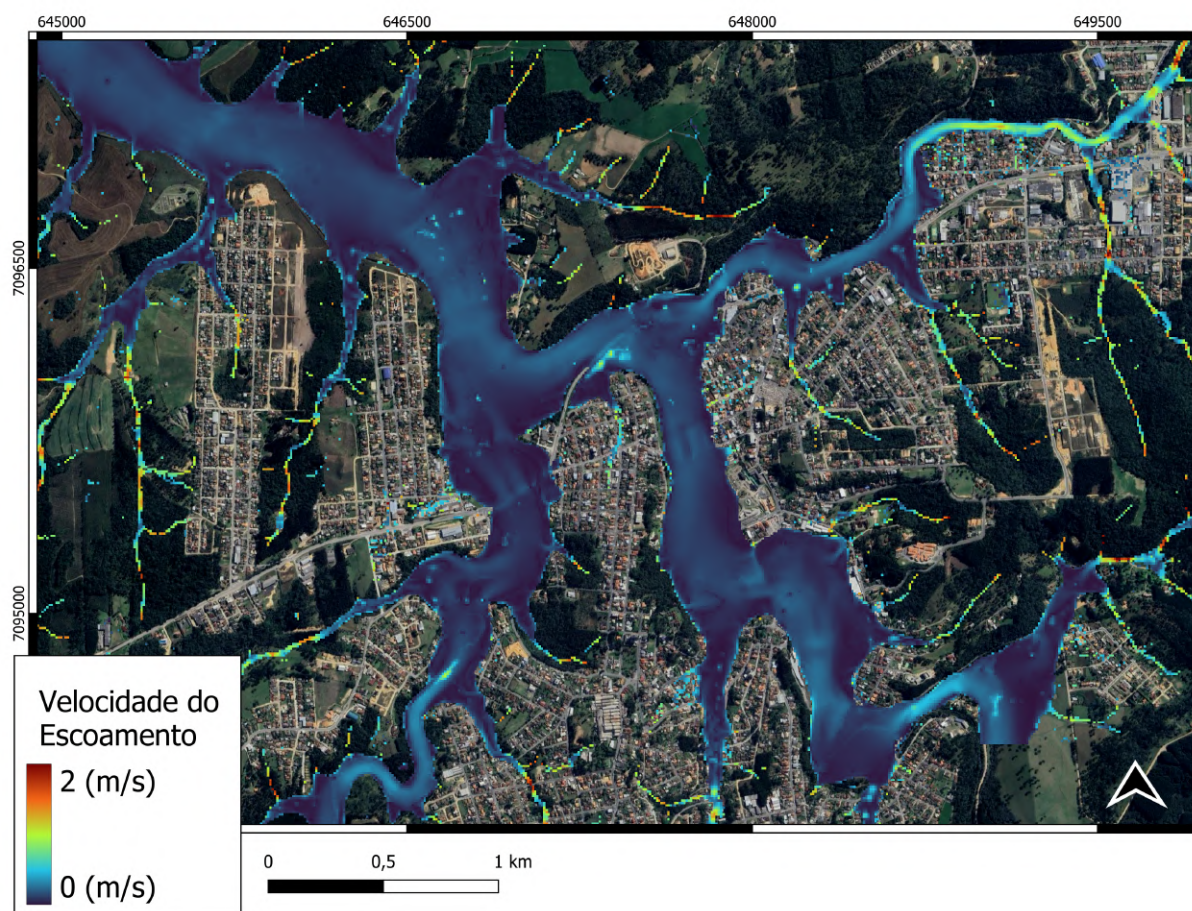
Fonte: Os autores (2023).

Figura 45 – Mapa de velocidade de inundação para o TR de 20 anos.



Fonte: Os autores (2023).

Figura 46 – Mapa de velocidade de inundação para o TR de 100 anos.



Fonte: Os autores (2023).