

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Baruc Geremias dos Santos Costa

**ANÁLISE DE IMPACTOS ECONÔMICOS DA IMPLANTAÇÃO DE PARQUES CILIARES:
o Parque Ciliar do Ribeirão Onça**

Belo Horizonte
2023

Baruc Geremias dos Santos Costa

**ANÁLISE DE IMPACTOS ECONÔMICOS DA IMPLANTAÇÃO DE PARQUES
CILIARES: o Parque Ciliar do Ribeirão Onça**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Avaliação e gerenciamento de impactos e de riscos ambientais

Orientador: Nilo de Oliveira Nascimento

Coorientadora: Vanessa Lucena Cançado

Belo Horizonte
2023

Costa, Baruc Geremias dos Santos.

C837a

Análise de impactos econômicos da implantação de parques ciliares
[recurso eletrônico] : o Parque Ciliar do Ribeirão Onça / Baruc
Geremias dos Santos Costa.- 2022.
1 recurso online (270 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Nilo de Oliveira Nascimento.

Coorientadora: Vanessa Lucena Cançado.

Mestrado (dissertação) - Universidade Federal de Minas Gerais,
Escola de Engenharia.

Apêndices: f. 213-270.

Bibliografia: f. 204-212.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia sanitária - Teses.
2. Recursos hídricos - Teses.
3. Parques urbanos - Teses.
4. Esgotos - Teses.
5. Esgotos - Belo Horizonte (MG) - Teses.
6. Poluição da água - Teses.
7. Água - Teses.
8. Danos ambientais - Teses.
9. Inundações - Teses.
10. Hidrologia - Modelos - Teses.
11. Hidráulica - Teses.
12. Sustentabilidade - Teses.
- I. Nascimento, Nilo de Oliveira.
- II. Cançado, Vanessa Lucena.
- III. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.
- IV. Título.

CDU: 628(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
[ESCOLA DE ENGENHARIA]
COLEGIADO DO CURSO DE GRADUAÇÃO / PÓS-GRADUAÇÃO EM [SANEAMENTO, MEIO AMBIENTE E RECURSOS
HÍDRICOS]

FOLHA DE APROVAÇÃO

**["ANÁLISE DE IMPACTOS ECONÔMICOS DA IMPLANTAÇÃO DE PARQUES CILIARES: O PARQUE CILIAR DO
RIBEIRÃO ONÇA "]**

[Baruc Geremias dos Santos Costa]

Dissertação de Mestrado] defendida e aprovada, no dia [23 de março de 2022], pela Banca Examinadora designada pelo [Colegiado do Programa de Pós-Graduação **EM SANEAMENTO, MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**] da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

[Prof. Dr. Renan Pereira Almeida] - **Membro Externo]**

[UFSJ]

[Prof. Fernando Dornelles] - **Membro Externo]**

[UFRGS]

[Prof. Julian Cardoso Eleutério - **Membro Interno]**

[UFMG]

[Profa. Priscilla Macedo Moura - **Membro Interno]**

[UFMG]

[Dra. Vanessa Lucena Cançado - **Coorientadora]**

[UFMG]

[Prof. Nilo de Oliveira Nascimento - **Orientador**]

[UFMG]

APROVADA PELO COLEGIADO DO PPG SMARH

Sonaly Cristina Rezende Borges de Lima - Coordenadora

Belo Horizonte, 23 de março de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **Renan Pereira Almeida, Usuário Externo**, em 23/03/2022, às 22:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Priscilla Macedo Moura, Professora do Magistério Superior**, em 24/03/2022, às 20:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vanessa Lucena Cancado, Usuária Externa**, em 12/04/2023, às 11:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Julian Cardoso Eleuterio, Servidor(a)**, em 07/05/2023, às 12:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Nilo de Oliveira Nascimento, Presidente de comissão**, em 09/05/2023, às 01:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Dornelles, Usuário Externo**, em 03/07/2023, às 13:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1327083** e o código CRC **6DD3E282**.

Dedico primeiramente ao Amor que se fez presente em cada momento durante toda minha vida.

Dedico aos meus pais e irmãos que sempre se doaram para me manter no caminho do aprendizado, da felicidade e do amor. Papai, Mamãe, Nhanhá e Sarinha, eu amo vocês e serei eternamente grato.

Dedico aos meus antepassados, que viveram, sobreviveram e acreditaram que um dia o mundo seria melhor para todos os seus filhos. Ele é, e eu sei que posso fazer dele ainda melhor.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Nilo de Oliveira Nascimento e à Mestra Lorena Avelina Rojas Gutierrez que confiaram em meu potencial desde 2016, me motivando e ensinando a dar os primeiros passos na ciência. Agradeço também à coorientação da Dr.^a Vanessa Lucena Cançado, pelas correções e sugestões na área de economia ambiental fundamentais na elaboração deste trabalho.

Igualmente agradeço aos professores do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e de toda a Universidade Federal de Minas Gerais, pelo estímulo ao meu desenvolvimento pessoal, acadêmico e profissional. Agradeço ainda a todos os professores da minha infância e juventude, que me ensinaram a ser responsável, resiliente, e desde cedo me mostraram os benefícios da dedicação aos estudos. Especialmente às irmãs do Colégio Pio XII que amadureceram minha visão sobre as desigualdades do mundo. Agradeço aos meus pais e irmãos que foram os primeiros professores que eu tive.

Aos colegas do Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, principalmente aos “Esponjinhas”, que trouxeram momentos de descontração em meio às dificuldades da pós-graduação. Agradeço à família “Ninguém Sai”, que em todos os momentos da faculdade me apoiaram, que cresceram e ainda crescem comigo. Agradeço aos amigos que fiz dentro e fora da universidade, pelos momentos bons e difíceis que passamos juntos e o crescimento que obtivemos a partir deles. Agradeço especialmente à Bá, que aceitou caminhar ao meu lado, me dando muito mais motivos para seguir em frente.

Agradeço à agência de financiamento Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior (CAPES) que ofereceu através do Programa de Excelência Acadêmica (PROEX) a bolsa de mestrado por 24 meses, processo número 88887.357913/2019-00. Agradeço sobretudo ao povo brasileiro principalmente os mais humildes que financiam o sistema público de ensino e pesquisa do qual eu pude usufruir. Sei que o sucesso só vem após a oportunidade, vocês também são donos deste trabalho e eu certamente irei recompensá-los.

Agradeço também aos avaliadores da banca de defesa dessa dissertação, Prof. Dr. Fernando Dornelles; Prof. Dr. Renan Pereira Almeida; Prof. Dr^a. Priscila Macedo Moura e Prof. Dr. Julian Cardoso Eleutério pelas relevantes contribuições.

“Aurora,
entretanto eu te diviso, ainda tímida,
inexperiente das luzes que vais acender
e dos bens que repartirás com todos os homens.

A noite Dissolve os Homens - Carlos Drummond de Andrade

RESUMO

Avaliações de benefícios monetários advindos de serviços ecossistêmicos, infraestrutura verde e saneamento em meio urbano, dado seu caráter muitas vezes intangível e interdisciplinar, permanecem sendo um grande desafio para a comunidade científica e profissionais da área. Enquanto a Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que para cada unidade investida em saneamento, seis são poupadas no sistema de saúde, diversas vezes melhorias no bem-estar social são subestimadas ou deixam de ser estimadas em processos de tomada de decisão. Visando contribuir para reflexões a respeito desta problemática, este trabalho apresenta um arcabouço teórico e metodológico da valoração monetária de áreas verdes em centros urbanos. Como estudo de caso foram estimados os danos que poderão ser evitados com a implementação de um parque ciliar em Belo Horizonte/MG, com ênfase para o ambiente fluvial. Um modelo hidráulico e hidrológico foi calibrado e validado para a simulação de inundações intensas sobre um córrego urbano de área de drenagem igual a 214 km². Em seguida, estimou-se o dano médio anual das inundações potencialmente evitado após a implementação do parque ciliar (eg. HUBERT & LEDOUX, 1999). Em relação a poluição hídrica pelo lançamento de esgotos, foi aplicada a metodologia dos custos de controle evitados (eg. MOTTA, 1997; REID, 2005), tendo como base o custo médio de coleta e tratamento de esgotos local obtido por Pessoa (2019). Dados do CENSO 2010 foram utilizados para o cenário dos danos atuais e um cenário hipotético, supondo intensificação da ocupação urbana, foi simulado. Todos os custos e danos são apresentados baseados na data de setembro de 2021. O dano total causado por inundações obtido foi de 4,16% da renda média familiar, conforme classe social e o dano provocado ao meio ambiente de forma difusa devido ao lançamento de esgotos brutos no cenário atual foi de 1,20% da renda média familiar. Apesar de eventuais incertezas epistêmicas e limitações do banco de dados, os valores são de inquestionável relevância para o município, os quais, ao longo de 30 anos seriam equivalentes ao custo médio de desapropriação das famílias localizadas em sua área de implantação, ou em 40 anos custeariam as obras e desapropriações de outros três parques ciliares implantados no município. Recomenda-se para trabalhos futuros buscar integrar diferentes áreas de conhecimento visando aumentar a gama de impactos estimados e valorados conjuntamente.

Palavras-chave: modelagem hidráulica e hidrológica; valor monetário de infraestrutura verde; danos provocados por inundação; danos provocados pelo lançamento de esgotos; parques urbanos.

ABSTRACT

Monetary evaluation from ecosystem services, green infrastructure, and sanitation in urban areas, given their often intangible and interdisciplinary nature, remain a major challenge for the scientific community. While World Health Organization (WHO) esteems for each unit invested in sanitation six units in health system are saved, many times social wellness improvements are underestimated or not estimated on decision-making process. In order to contribute to reflections on this issue, this work presents a theoretical and methodological framework for the monetary valuation of green areas in urban centers. As a case study, the damage that could be avoided with the implementation of a riparian park in Belo Horizonte/MG, with emphasis on the river environment, was estimated. A hydraulic and hydrological model was calibrated and validated to simulate intense flooding over an urban stream with a drainage area of 214 km². Then, the average annual damage of the floods potentially avoided after the implementation of the riparian park was estimated (eg. HUBERT & LEDOUX, 1999). In relation to water pollution by the release of sewage, the methodology of avoided control costs was applied (eg. MOTTA, 1997; REID, 2005), based on the average cost of local sewage collection and treatment obtained by Pessoa (2019). Data from the 2010 CENSO were used for the current damage scenario and a hypothetical scenario, assuming intensification of urban occupation, was simulated. All costs and damages are presented based on the date of September 2021. The total damage caused by floods obtained was 4.16% of the average family income, according to social class and the damage caused to the environment in a diffuse way due to the launch of gross sewage in the current scenario was 1.20% of the average family income. Although this analysis carries great uncertainty, the values are of unquestionable relevance for the municipality, which, over 30 years will be equivalent to the average cost of expropriation of families located in their area of implementation, or in 40 years they would be equivalent for the works and expropriations of three other riverside parks implemented in the municipality. It is recommended for future work to seek to integrate different areas of knowledge in order to increase the range of impacts estimated and valued jointly.

Keywords: hydraulic and hydrological modeling; monetary value of green infrastructure; flood damage; damage caused by the discharge of sewage; urban parks.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – ÁREA CONSTRUÍDA POR CLASSE SOCIAL IDENTIFICADA (MACHADO, 2005)	50
FIGURA 3.2 – ATENUAÇÃO DOS DANOS PROVOCADOS POR INUNDAÇÃO PELA IMPLANTAÇÃO DE UM PARQUE CILIAR (ADAPTADO DE PENNING-ROWSELL & CHATTERTON, 1977 APUD NASCIMENTO, 2007).....	55
FIGURA 3.3 – A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS	58
FIGURA 3.4 – UNIDADE TERRITORIAL ESTRATÉGICA DO RIBEIRÃO ONÇA (CBH VELHAS, 2014b).....	62
FIGURA 3.5 – LOCALIZAÇÃO DO PARQUE CILIAR DO RIBEIRÃO ONÇA DENTRO DA UTE ONÇA.....	63
FIGURA 3.6 – DESCRIÇÃO CLASSES DE RECURSOS HÍDRICOS CONFORME RESOLUÇÃO 357 CONAMA (CBH VELHAS, 2014a; BRASIL, 2005)	64
FIGURA 3.7 – ESTRATÉGIAS PARA O EIXO AMBIENTAL DO NOVO PLANO DIRETOR (PBH, 2019)	67
FIGURA 3.8 – BACIAS INTEGRANTES DO PROGRAMA DRENURBS (ADAPTADO DE PBH, 2016)	70
FIGURA 4.1– LIMITES DE INTERVENÇÃO DO PARQUE CILIAR DO RIBEIRÃO ONÇA (PBH, 2014b)	73
FIGURA 4.2 – FUTURA LOCALIZAÇÃO DO PARQUE DO RIBEIRÃO ONÇA (TRECHO ALTO) (ALTERADO DE PBH, 2014b).	75
FIGURA 4.3 – FUTURA LOCALIZAÇÃO DO PARQUE DO RIBEIRÃO ONÇA (TRECHO MÉDIO) (ALTERADO DE PBH, 2014b).	75
FIGURA 4.4 – FUTURA LOCALIZAÇÃO DO PARQUE DO RIBEIRÃO ONÇA (TRECHO BAIXO) (PBH, 2014b).....	76
FIGURA 4.5 – DIAGNÓSTICO DEMOGRÁFICO (PBH, 2014b).....	81
FIGURA 4.6 – CONDIÇÕES DA POSSE DOS IMÓVEIS (PBH, 2014b).....	82
FIGURA 4.7 – CONDIÇÕES DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA NOS IMÓVEIS (PBH, 2014b)	83
FIGURA 4.8 – CONDIÇÕES DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO DOS IMÓVEIS (PBH, 2014b)	83
FIGURA 4.9 – FAIXA DE RENDA PER CAPTA NAS RESIDÊNCIAS (PBH, 2014b)	84
FIGURA 4.10 ESCOLARIDADE DO CHEFE DE DOMICÍLIO (PBH, 2014b).....	84
FIGURA 4.11 – HABITAÇÃO E ZONAS DE INTERESSE SOCIAL (PBH, 2014b).....	89
FIGURA 4.12 ÁREAS E ZONAS DE ESPECIAL INTERESSE SOCIAL DE ACORDO COM O NOVO ZONEAMENTO DE BELO HORIZONTE (LEI 11.181/2019)	90
FIGURA 5.1 – FLUXOGRAMA METODOLÓGICO.....	93
FIGURA 5.2 – FLUXOGRAMA METODOLÓGICO (CONTINUAÇÃO).....	94
FIGURA 5.3 – HIDROGRAFIA DAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO ONÇA	97
FIGURA 5.4– LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO HIDROCLIMÁTICO DA PREFEITURA DE BELO HORIZONTE (ADAPTADO DE PBH, 2016).	100
FIGURA 5.5 – LOCALIZAÇÃO DAS SUB-BACIAS E ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO HIDROCLIMÁTICO.....	102
FIGURA 5.6 – CURVA COTA-ÁREA-VOLUME DO RESERVATÓRIO DA BARRAGEM DA PAMPULHA (VIANINI NETO, 2016)	108
FIGURA 5.7 – CURVA DE DESCARGA DO SISTEMA EXTRAVASOR DA BARRAGEM DA PAMPULHA (VIANINI NETO, 2016)	109
FIGURA 5.8 – PARÂMETROS DE ONDA DINÂMICA ADOTADOS NA SIMULAÇÃO	112
FIGURA 5.9 – DISTRIBUIÇÕES TEMPORAIS DA PRECIPITAÇÃO PARA DIFERENTES PROBABILIDADES DE EXCEDÊNCIA E DURAÇÕES	120
FIGURA 5.10 – COEFICIENTE DE MANNING ADOTADO NO MODELO HIDRÁULICO.....	124
FIGURA 5.11 – MDS ANTES DO TRATAMENTO PARA RETIRADA DAS ÁRVORES E EDIFÍCIOS.....	125
FIGURA 5.12 – LEVANTAMENTO CADASTRAL DA MACRODRENAGEM DO RIBEIRÃO ONÇA (PBH, 2000).....	127

FIGURA 5.13 – LOCALIZAÇÃO DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS INSERIDAS NO MODELO	128
FIGURA 5.14 – MDS APÓS TRATAMENTO PARA RETIRADA DAS ÁRVORES E EDIFÍCIOS	130
FIGURA 5.15 – CURVAS DE DANOS X PROFUNDIDADE DE SUBMERSÃO PARA O SETOR HABITACIONAL E CLASSES SOCIOECONÔMICAS A E B (MACHADO, 2005).....	134
FIGURA 5.16 – CURVAS DE DANOS X PROFUNDIDADE DE SUBMERSÃO PARA O SETOR HABITACIONAL E CLASSES SOCIOECONÔMICAS C E D (MACHADO, 2005)	134
FIGURA 5.17 – EXEMPLO DE AUMENTO HIPOTÉTICO DO NÚMERO DE EDIFICAÇÕES ADOTADO PARA O SEGUNDO CENÁRIO.....	148
FIGURA 6.1 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO HIDROCLIMÁTICO DA PREFEITURA DE BELO HORIZONTE.	151
FIGURA 6.2 – DIVISÃO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO POR POLÍGONOS DE VORONOI	155
FIGURA 6.3 – RESULTADOS DA VALIDAÇÃO COM A CHUVA DE 05-06/12/2019 DA ESTAÇÃO 09	163
FIGURA 6.4 – RESULTADOS DA VALIDAÇÃO COM A CHUVA DE 01-06/01/2020 DA ESTAÇÃO 09	164
FIGURA 6.5 – RESULTADOS DA VALIDAÇÃO COM A CHUVA DE 23-26/01/2020 DA ESTAÇÃO 09	165
FIGURA 6.6 – HIETOGRAMA ACUMULADO DAS CHUVAS DE PROJETO PARA A RMBH (PINHEIRO & NAGHETTINI, 1998)	168
FIGURA 6.7 – HIDROGRAMAS SIMULADOS NA ESTAÇÃO 09 PARA AS CHUVAS DE PROJETO	169
FIGURA 6.8 – COMPARAÇÃO ENTRE MANCHA DE INUNDAÇÃO CALCULADA (TR 100 ANOS) E CARTA DE INUNDAÇÕES DE BH.....	171
FIGURA 6.9 – DISTRIBUIÇÃO DAS RESIDÊNCIAS POR ÁREA CONSTRUÍDA	174
FIGURA 6.10 – DISTRIBUIÇÃO DAS RESIDÊNCIAS POR PROFUNDIDADE SUBMERSA.....	174
FIGURA 6.11 – EDIFÍCIOS IMPACTADOS PELAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO.	175
FIGURA 6.12 – EVIDÊNCIA DE DANOS PROVOCADOS PELA INUNDAÇÃO DECORRENTE DO EVENTO DE PRECIPITAÇÃO DE 20-21/01/2013 (REDE GLOBO, 2013)	180
FIGURA 6.13 – EVIDÊNCIA DE DANOS PROVOCADOS PELA INUNDAÇÃO DECORRENTE DO EVENTO DE PRECIPITAÇÃO DE 24-27/12/2018 (REDE GLOBO, 2018)	181
FIGURA 6.14 – EVIDÊNCIA DE DANOS PROVOCADOS PELA INUNDAÇÃO DECORRENTE DO EVENTO DE PRECIPITAÇÃO DE 01-06 E 23-26/01/2020 (REDE GLOBO, 2020)	181
FIGURA 6.15 – CUSTO TOTAL DOS DANOS RESIDENCIAIS VERSUS PROBABILIDADE DE EXCEDÊNCIA (Tr = 1000 – 02 ANOS)	184
FIGURA 6.16 – CUSTO TOTAL DOS DANOS RESIDENCIAIS VERSUS PROBABILIDADE DE EXCEDÊNCIA (Tr = 50 A 02 ANOS).	184
FIGURA 6.17 – DANOS RESIDENCIAIS VERSUS PROBABILIDADE DE EXCEDÊNCIA: CENÁRIO 01 (Tr 50 – 1000 ANOS).....	185
FIGURA 6.18 – DANOS EM ESTABELECIMENTOS (COMÉRCIO/SERVIÇOS) VERSUS PROBABILIDADE DE EXCEDÊNCIA: CENÁRIO 01 (Tr = 1000 – 02 ANOS).	186
FIGURA 6.19 – CUSTO TOTAL DOS DANOS (COMÉRCIO/SERVIÇOS) VERSUS PROBABILIDADE DE EXCEDÊNCIA: CENÁRIO 01 (Tr = 50 – 02 ANOS)	186
FIGURA 6.20 – DANOS EM ESTABELECIMENTOS (COMÉRCIO/SERVIÇOS) VERSUS PROBABILIDADE DE EXCEDÊNCIA: CENÁRIO 01 (Tr = 1000 – 50 ANOS);	187
FIGURA 6.21 – DANOS RESIDENCIAIS VERSUS PROBABILIDADE DE EXCEDÊNCIA: CENÁRIO 02 (Tr 1000 - 2 ANOS).....	191
FIGURA 6.22 – DANOS RESIDENCIAIS VERSUS PROBABILIDADE DE EXCEDÊNCIA: CENÁRIO 02 (Tr 50 - 2 ANOS);	191
FIGURA 6.23 – DANOS RESIDENCIAIS VERSUS PROBABILIDADE DE EXCEDÊNCIA: CENÁRIO 02 (Tr 1000 - 50 ANOS);.....	192

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 – CUSTO MÉDIO POR TIPO DE INTERVENÇÃO - BASE DE DADOS NRRSS.	33
TABELA 3.2 – PERGUNTAS NORTEADORAS PARA DEFINIÇÃO DA FORÇA DAS EVIDÊNCIAS PROPOSTAS POR BOWLER ET. AL. (2010)....	33
TABELA 3.3 – LEVANTAMENTO DOS BENEFÍCIOS DE PARQUES URBANOS E SUAS EVIDÊNCIAS CIENTÍFICAS.....	34
TABELA 3.4 – VALOR DO BENEFÍCIO DAS SOLUÇÕES ANALISADAS PARA CSO NA FILADÉLFIA.	36
TABELA 3.5 – VALOR ANUAL MÉDIO DA DISPOSIÇÃO A PAGAR POR GRUPO ENTREVISTADO PARA MANUTENÇÃO OU RECUPERAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DA CACHOEIRA EMAS (U\$, 2008).....	39
TABELA 3.6 – EXEMPLOS DE PARÂMETROS DE IMPACTO E RESISTÊNCIA EM ANÁLISES DA DANOS PROVOCADOS POR INUNDAÇÕES EM CURVAS DPS (MERZ, ET. AL. 2010 – TRADUÇÃO DO AUTOR)	47
TABELA 3.7 – DISTRIBUIÇÃO DA AMOSTRAGEM DE ESTABELECIMENTOS EM TERMOS DAS CATEGORIAS DO COMÉRCIO (MACHADO, 2005)	51
TABELA 3.8 – DISTRIBUIÇÃO DA AMOSTRAGEM DE ESTABELECIMENTOS EM TERMOS DAS CATEGORIAS DE SERVIÇOS (MACHADO, 2005)	51
TABELA 3.9 – RESUMO DAS INTERVENÇÕES DA PRIMEIRA ETAPA DO DRENURBS	70
TABELA 4.1 – INFORMAÇÕES SOCIODEMOGRÁFICAS BÁSICAS	82
TABELA 4.2 – OCUPAÇÃO DOS CHEFES DE DOMICÍLIO (PRINCIPAIS RESPONSÁVEIS FINANCEIROS)	85
TABELA 4.3 – RESSUMO DAS VILAS, FAVELAS, LOTEAMENTOS E CONJUNTOS HABITACIONAIS EXISTENTES	88
TABELA 5.1 – ESTAÇÕES HIDROCLIMÁTICAS DA PREFEITURA DE BELO HORIZONTE (PBH, 2016)	98
TABELA 5.2 – ESTAÇÕES HIDROCLIMÁTICAS DA PREFEITURA DE BELO HORIZONTE (PBH, 2016)	99
TABELA 5.3 – EVENTOS ESCOLHIDOS PARA A CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO	104
TABELA 5.4 – DADOS DE ENTRADA DOS CANAIS UTILIZADOS PARA CALIBRAÇÃO	106
TABELA 5.5 – PARÂMETROS ADOTADOS PARA CADA SUB-BACIA (PARTE 1)	117
TABELA 5.6 – PARÂMETROS ADOTADOS PARA CADA SUB-BACIA (PARTE 2 - ÁREA EM M ² EXCETO ONDE INDICADO)	118
TABELA 5.7 – QUANTIS ADIMENSIONAIS DE FREQUÊNCIA PARA DIVERSAS DURAÇÕES DE PRECIPITAÇÃO E TEMPOS DE RETORNO (PINHEIRO E NAGHETTINI, 1998).....	121
TABELA 5.8 – FAIXA DE ÁREAS CONSTRUÍDAS POR CLASSE.....	138
TABELA 6.1 – COMPARAÇÃO ENTRE A ÁREA DA BACIA HIDROGRÁFICA OFICIAL E CALCULADA	150
TABELA 6.2 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES HIDROMETEOROLÓGICAS DA PREFEITURA DE BELO HORIZONTE	152
TABELA 6.3 – FRAÇÃO DE INFLUÊNCIA DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS SOBRE A CHUVA MÉDIA EM CADA SUB-BACIA.....	156
TABELA 6.4 – RESULTADO DA CALIBRAÇÃO - NSE'S OBTIDOS	158
TABELA 6.5 – PARÂMETROS ADOTADOS APÓS CALIBRAÇÃO MANUAL DAS SUB-BACIAS DO RIBEIRÃO ONÇA	159
TABELA 6.6 – RESULTADO DA VALIDAÇÃO - NSE'S OBTIDOS	162
TABELA 6.7 – NSE'S OBTIDOS DURANTE A VALIDAÇÃO DO MODELO HIDRÁULICO	166
TABELA 6.8 – IDENTIFICAÇÃO DA DURAÇÃO CRÍTICA	166
TABELA 6.9 – DISTRIBUIÇÃO DE RESIDÊNCIAS IMPACTADAS POR TEMPO DE RETORNO DO EVENTO SIMULADO.....	172
TABELA 6.10 – PROPORÇÃO DAS RESIDÊNCIAS POR CLASSE SOCIAL.....	172

TABELA 6.11 – DANOS PROVOCADOS POR INUNDAÇÃO SOBRE O SETOR RESIDENCIAL POR PROBABILIDADE DE EXCEDÊNCIA (CENÁRIO 01)	173
TABELA 6.12 – DISTRIBUIÇÃO DOS ESTABELECIMENTOS IMPACTADOS POR TEMPO DE RETORNO (Tr) DO EVENTO SIMULADO.....	177
TABELA 6.13 – DISTRIBUIÇÃO DOS ESTABELECIMENTOS EM TERMOS DAS CATEGORIAS DE COMÉRCIO E SERVIÇOS PRESENTES NA MANCHA DE INUNDAÇÃO DE Tr EQUIVALENTE A 1000 ANOS.....	177
TABELA 6.14 – DANOS PROVOCADOS POR INUNDAÇÃO SOBRE O SETOR DE COMÉRCIO E SERVIÇOS POR PROBABILIDADE DE EXCEDÊNCIA (CENÁRIO 01)	178
TABELA 6.15 – ANÁLISE DO EVENTO ASSOCIADO AO MENOR TEMPO DE RETORNO QUE CAUSA DANOS	179
TABELA 6.16 – ESPERANÇA MATEMÁTICA ANUAL DOS DANOS CAUSADOS PELO CONTATO DIRETO DAS INUNDAÇÕES SOBRE IMÓVEIS E SEUS CONTEÚDOS: CENÁRIO 01.....	188
TABELA 6.17 – ESPERANÇA MATEMÁTICA ANUAL DE DANOS CAUSADOS PELO CONTATO DIRETO DAS INUNDAÇÕES SOBRE IMÓVEIS E SEUS CONTEÚDOS - RECORTE POR TEMPO DE RETORNO: CENÁRIO 01	188
TABELA 6.18 – DANO MÉDIO ANUAL POR CLASSES SOCIAIS EM COMPARAÇÃO COM RENDA.....	189
TABELA 6.19 – NÚMERO DE EDIFÍCIOS IMPACTADOS POR TEMPO DE RETORNO: CENÁRIO 2	190
TABELA 6.20 – DANOS PROVOCADOS POR INUNDAÇÃO SOBRE O SETOR RESIDENCIAL: CENÁRIO 02	190
TABELA 6.21 – ESPERANÇA MATEMÁTICA DOS DANOS ANUAIS CAUSADOS PELO CONTATO DIRETO DAS INUNDAÇÕES SOBRE IMÓVEIS E SEUS CONTEÚDOS: CENÁRIO 02.....	193
TABELA 6.22 – ESPERANÇA MATEMÁTICA DOS DANOS ANUAIS CAUSADOS PELO CONTATO DIRETO DAS INUNDAÇÕES SOBRE IMÓVEIS E SEUS CONTEÚDOS - RECORTE POR TEMPO DE RETORNO: CENÁRIO 02	193
TABELA 6.23 – NÚMERO DE RESIDÊNCIAS COM ESGOTAMENTO SANITÁRIO REGULAR E IRREGULAR NAS MARGENS DO RIBEIRÃO ONÇA: CENÁRIO 01	194
TABELA 6.24 – NÚMERO DE RESIDÊNCIAS COM ESGOTAMENTO SANITÁRIO REGULAR E IRREGULAR NAS MARGENS DO RIBEIRÃO ONÇA: CENÁRIO 02	195
TABELA 6.25 – MÉDIA GLOBAL PER CAPTA DOS CUSTOS ANUAIS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE UMA COMPANHIA ESTADUAL DE SANEAMENTO (PESSOA, 2019)	195
TABELA 6.26 – DANOS ANUAIS ASSOCIADOS AO LANÇAMENTO IRREGULAR DE ESGOTOS NO TRECHO DO RIBEIRÃO ONÇA EM LEITO NATURAL (CENÁRIO 01).....	196
TABELA 6.27 – DANOS ANUAIS ASSOCIADOS AO LANÇAMENTO IRREGULAR DE ESGOTOS NO TRECHO DO RIBEIRÃO ONÇA EM LEITO NATURAL (CENÁRIO 02).....	196
TABELA 6.28 – ANÁLISE DOS DANOS EVITADOS EM COMPARAÇÃO COM OS PARQUES DO DRENURBs.....	198

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

APP – Área de Preservação Permanente

ANA – Agência Nacional de Águas

BH – Belo Horizonte

BHMAP – Mapa interativo oficial de Belo Horizonte

BMP – *Best Management Practices*

CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica

CBH Velhas – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas

COBRAPE – Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos

COMUPRA – Conselho de Desenvolvimento Comunitário Unidos pelo Ribeiro de Abreu

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

CN – *Curve Number*

DGAU – Diretoria de Gestão de Águas Urbanas

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre

DPS – Dano por Profundidade Submersa

DPPI-SD – Departamento de Projetos de Infraestrutura da Superintendência de Desenvolvimento Regional

DRENURBS – Programa de Recuperação Ambiental de Belo Horizonte

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Agricultura e Pecuária

EPA – *Environmental Protection Agency of United States*

ETE – Estação de Tratamento de Esgotos

FPM – Fundação de Parques Municipais

IDF – Intensidade, Duração e Frequência

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

IPCA – Índice de Preços ao Consumidor Amplo

LID – *Low Impact Development*

MDS – Modelo Digital de Superfície

NBR – Norma Técnica Brasileira

NRCS – *Soil Conservation Service of United States*

NRRSS – *National River Restoration Science Synthesis*

NSE – Coeficiente de Nash-Sutcliffe

PBH – Prefeitura de Belo Horizonte

PMS – Plano Municipal de Saneamento

PRODABEL – Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte

QGIS – Quantum GIS

RA – Região Administrativa

RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte

SBN – Soluções Baseadas na Natureza

SCBH – Subcomitê de Bacia Hidrográfica

SFMA – Secretaria Municipal de Fazenda de Belo Horizonte

SMOBI – Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura

SNIRH – Sistema Nacional de Informações dos Recursos Hídricos

SUDS – *Sustainable Urban Drainage System*

T_c – Tempo de Concentração

TR – Tempo de Retorno

TTB – Técnica de Transferência de Benefícios

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

URPV – Unidade de Recebimento de Pequenos Volumes

UTE – Unidade Territorial Estratégica

UTM – *Universal Transverse Mercator*

VE – Valor de Existência

VU – Valor de Uso

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	19
2.	OBJETIVOS	22
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1.	FUNDAMENTOS CONCEITUAIS, TEÓRICOS E METODOLÓGICOS PARA VALORAÇÃO DO MEIO AMBIENTE	24
3.1.1.	<i>Identificando o valor dos recursos ambientais</i>	<i>24</i>
3.1.2.	<i>A avaliação econômica de infraestruturas urbanas sustentáveis</i>	<i>26</i>
3.1.3.	<i>Métodos de valoração do meio ambiente</i>	<i>27</i>
3.2.	CUSTOS E BENEFÍCIOS DE PARQUES E RIOS URBANOS	32
3.2.1.	<i>Exemplos de valoração de recursos ambientais em áreas urbanas</i>	<i>35</i>
3.3.	INUNDAÇÕES URBANAS.....	41
3.3.1.	<i>Danos provocados por inundações</i>	<i>43</i>
3.3.2.	<i>As curvas Dano por Profundidade Submersa (DPS)</i>	<i>45</i>
3.3.3.	<i>A esperança matemática dos danos anuais provocados por inundações</i>	<i>53</i>
3.4.	O RIBEIRÃO ONÇA.....	55
3.4.1.	<i>A Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas.....</i>	<i>56</i>
3.4.2.	<i>O Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas</i>	<i>59</i>
3.4.3.	<i>A Unidade Territorial Estratégica do Ribeirão Onça.....</i>	<i>60</i>
3.4.4.	<i>O Plano Diretor de Belo Horizonte</i>	<i>64</i>
3.4.5.	<i>O Programa de Recuperação Ambiental de Belo Horizonte – DRENURBs.....</i>	<i>67</i>
4.	ESTUDO DE CASO: O PARQUE CILIAR DO RIBEIRÃO ONÇA	72
4.1.	HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO DA ÁREA – DIAGNÓSTICO PROPOSITIVO DO PARQUE	76
4.2.	MOVIMENTOS E PARTICIPAÇÃO SOCIAL	77
4.3.	ANÁLISE SOCIODEMOGRÁFICA – DIAGNÓSTICO PROPOSITIVO DO PARQUE.....	80
4.4.	HABITAÇÃO E MORADIA – DIAGNÓSTICO PROPOSITIVO DO PARQUE	85
5.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	91
5.1.	MODELO HIDROLÓGICO	95
5.1.1.	<i>Delimitação da Bacia Hidrográfica</i>	<i>95</i>
5.1.2.	<i>Monitoramento hidroclimático</i>	<i>98</i>
5.1.3.	<i>Escolha das precipitações</i>	<i>103</i>
5.1.4.	<i>Canais da bacia.....</i>	<i>106</i>
5.1.5.	<i>Estimativa da precipitação média sobre as sub-bacias</i>	<i>110</i>
5.1.6.	<i>Calibração do modelo chuva-vazão ou chuva-cota fluviométrica</i>	<i>111</i>
5.1.7.	<i>Calibração e validação do modelo hidrológico</i>	<i>111</i>
5.1.8.	<i>Obtenção das chuvas de projeto</i>	<i>119</i>

5.2.	MODELO HIDRÁULICO	123
5.2.1.	<i>Correção do Modelo Digital de Superfície</i>	<i>126</i>
5.2.2.	<i>Calibração e validação do modelo hidráulico</i>	<i>131</i>
5.3.	CÁLCULO DO DANO DEVIDO AO CONTATO DA ÁGUA COM EDIFICAÇÕES E SEUS CONTEÚDOS	132
5.3.1.	<i>Cálculo dos danos sobre o setor residencial ao conteúdo e à construção</i>	<i>133</i>
5.3.2.	<i>Cálculo dos danos para os setores de comércio e serviços</i>	<i>140</i>
5.3.3.	<i>A esperança matemática dos danos evitados por inundações</i>	<i>141</i>
5.4.	CÁLCULO DOS DANOS PROVOCADOS PELA POLUIÇÃO POR ESGOTOS	142
5.4.1.	<i>Obtenção dos dados</i>	<i>143</i>
5.4.2.	<i>Cálculo dos custos de controle evitados</i>	<i>144</i>
5.5.	SEGUNDO CENÁRIO: INTENSIFICAÇÃO DA OCUPAÇÃO E PARCELAMENTO DA ÁREA	146
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	150
6.1.	MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIBEIRÃO ONÇA	150
6.1.1.	<i>Precipitação média sobre as sub-bacias</i>	<i>154</i>
6.1.2.	<i>Calibração do modelo hidrológico da bacia</i>	<i>157</i>
6.1.3.	<i>Validação do modelo hidrológico da bacia</i>	<i>160</i>
6.1.4.	<i>Validação do modelo hidráulico</i>	<i>166</i>
6.2.	CHUVA DE PROJETO	166
6.3.	MANCHAS DE INUNDAÇÃO	170
6.4.	ESTIMATIVA DOS DANOS EVITADOS POR CONTATO DIRETO DAS INUNDAÇÕES	172
6.4.1.	<i>Setor residencial (cenário atual)</i>	<i>172</i>
6.4.2.	<i>Setor de comércio e serviços</i>	<i>177</i>
6.4.3.	<i>Esperança matemática de danos evitados da inundação</i>	<i>178</i>
6.5.	ESTIMATIVA DOS DANOS EVITADOS PELA COLETA E TRATAMENTO DOS ESGOTOS	193
6.6.	ANÁLISE DOS PRINCIPAIS RESULTADOS	197
7.	CONCLUSÕES	200
7.1.	RECOMENDAÇÕES	202
8.	BIBLIOGRAFIA	204
	APÊNDICE I – RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO	213
	APÊNDICE II – RESULTADOS DA VALIDAÇÃO	245

1. INTRODUÇÃO

Desde o momento em que se tornou sedentária, a humanidade se concentra em torno dos corpos hídricos, por motivo muito claro, a necessidade vital por esse bem. A proximidade com as águas garantiria a perenidade de diversas atividades dos humanos como a irrigação de plantações, a dessedentação de seus animais, o transporte aquaviário e a proteção contra ataques terrestres.

Por outro lado, a mesma proximidade com as águas e o descaso com o seu uso, muitas vezes usadas para diluir e transportar esgotos e lixo, resultou também em alguns malefícios. As inundações, cada vez mais recorrentes, e a disseminação de doenças de veiculação hídrica, agravada em períodos chuvosos, são exemplos disso. Por consequência, a intensa ocupação de margens de corpos hídricos, seja por população marginalizada da sociedade ou por grandes empreendimentos que negligenciam a relevância do ambiente natural, resultaria ainda em outros efeitos negativos, como danos ao meio ambiente e a consequente redução de seus serviços ecossistêmicos.

Os serviços ecossistêmicos são definidos como: benefícios obtidos pela humanidade a partir dos ecossistemas naturais. Estes benefícios podem incluir a provisão de serviços como água e alimento; a regulação de serviços como controle de inundação e doenças; serviços culturais, espirituais e de recreação; e serviços de suporte biológico, como ciclagem de nutrientes e manutenção das condições de vida sobre a terra (REID, 2005).

Como possíveis intervenções para recuperação dos serviços ecossistêmicos, são propostas pela União Europeia “Soluções Baseadas na Natureza” (SBN) – ou *Nature-Based Solutions* do inglês (EUROPEAN COMMISSION, 2015). SBN são ações inspiradas, apoiadas ou copiadas da natureza. Podem estar presentes ou ser um aprimoramento de soluções existentes, e podem ser novas tecnologias recém exploradas. Estas possuem potencial significativo de conciliar questões econômicas, sociais e ambientais de forma eficiente em energia e recursos, além de serem resilientes às mudanças climáticas locais e globais. SBN utilizam características e processos complexos da natureza como sua habilidade em estocar carbono ou regular o fluxo de água nos rios para atingir seus objetivos, tais quais reduzir os riscos a

desastres, aumentar o bem-estar social e o usufruto de áreas verdes de maneira inclusiva. Telhados verdes, parques urbanos, técnicas compensatórias de drenagem urbana, sistemas agroflorestais e técnicas de plantio ecológico são alguns exemplos de SBN (EUROPEAN COMMISSION, 2015).

No processo decisório para definir investimentos em cidades e países, quando se discutem sobretudo questões políticas e econômicas, raramente são valorados os benefícios provenientes dos recursos ambientais em meio urbano (GOMERA, 2018).

Entretanto, os recursos ambientais e seus serviços ecossistêmicos devem ser quantificados para que sejam integrados ao planejamento e processo decisório relativo à sustentabilidade e resiliência urbana. Ao serem incorporados, devem levar em consideração os benefícios monetários e não monetários, incluindo como se relacionam à saúde física e mental da população, e ao acesso aos serviços de maneira equitativa (MCPHEARSON *et al.*, 2018).

O presente trabalho apresenta algumas das metodologias mais comuns para valoração do meio ambiente, como Custos de reposição, custos evitados, custos de controle, bem como exemplos de sua aplicação. É dada ênfase a alguns dos danos evitados – ou benefícios – advindos de parques lineares em zonas ripárias urbanas. Como estudo de caso, são utilizadas algumas destas metodologias para estimar os benefícios monetários ou danos potencialmente evitados devido a implantação do Parque Ciliar do Ribeirão Onça, em Belo Horizonte.

Localizado em uma das maiores metrópoles do Brasil, o Ribeirão Onça apresenta grande relevância socioambiental e econômica por diversos motivos, dentre os quais se citam: seu trecho leito natural margeia grandes comunidades, carentes de infraestrutura e saneamento; houve intensa ocupação irregular do seu leito de inundação nos últimos anos; a presença de uma cachoeira com depressão altimétrica de aproximadamente 30 metros; e o fato de o Ribeirão Onça ser considerado o principal responsável pela poluição do Rio das Velhas (CBH VELHAS, 2014b). Soma-se a isso o fato de que a região próxima ao leito natural do Ribeirão Onça carece de serviços de saneamento e infraestrutura habitacional e apresenta indicadores sociais e econômicos baixo das médias de Belo Horizonte (COSTA, 2018; CBH VELHAS, 2014b).

No âmbito do Programa de Recuperação Ambiental de Belo Horizonte (DRENURBS) está prevista a implantação do Parque Ciliar do Ribeirão Onça, entre as regionais Norte e Nordeste do município (PBH, 2014a). O diagnóstico propositivo do parque também prevê o reassentamento da população que hoje vive em área de risco de inundação. O projeto contempla, igualmente, coleta, interceptação e tratamento dos esgotos domésticos que hoje são lançados irregularmente no trecho onde o parque será implantado (PBH, 2014b).

Para a valoração dos danos provocados por inundação, as curvas de Dano por Profundidade Submersa (DPS) apresentadas por Machado (2005) foram utilizadas. A partir do estudo de Pessoa (2019), a metodologia dos custos de controle evitados (MOTTA, 1997) foi aqui aplicada para estimar o valor monetário dos danos atribuídos à perda de bem-estar associada ao lançamento de esgotos no Ribeirão Onça.

Em função da intensa e recorrente ocupação nas matas ciliares e fundos de vale da região Norte de Belo Horizonte (PBH, 2016; SENRA, 2018) e ciente da resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 369, a qual autoriza o governo municipal efetuar o parcelamento e ocupação de Áreas de Preservação Permanente (APPs) (BRASIL, 2006), adota-se a hipótese de um eventual adensamento urbano na ausência da implantação do parque. Dessa forma, no presente estudo foi simulado um segundo cenário alternativo à implantação do Parque Ciliar do Ribeirão Onça, considerando a ausência da implantação do parque e uma intensificação da ocupação urbana nas margens do Ribeirão Onça.

A dissertação foi organizada da seguinte maneira: o item 2 apresenta o objetivo geral da mesma, o item 3 apresenta a revisão da literatura, sendo dividido em 4 itens: O 3.1 trata-se de fundamentos conceituais e metodológicos para valoração do meio ambiente, o 3.2 apresenta estudos na literatura que buscaram identificar custos e benefícios de parques e rios urbanos; o item 3.3 apresenta uma revisão geral sobre inundações urbanas e o item 3.4 apresenta o foco do estudo de caso, o Ribeirão Onça. O item 4 apresenta o estudo de caso, o Parque Ciliar do Ribeirão Onça; o item 5 apresenta a os materiais e métodos utilizados no trabalho; o item 6 apresenta os resultados e discussões pertinentes e o item 7 apresenta conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral: estimar os danos potencialmente evitados advindos da implantação de parques lineares em zonas ripárias com ênfase aos danos provocados por inundações e pelo lançamento de esgotos domésticos.

Como objetivo específico este trabalho propõe: apresentar um arcabouço teórico e metodológico que subsidie avaliação e mensuração de benefícios advindos por parques ciliares urbanos;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma análise do impacto econômico decorrente de um desastre natural, tem como objetivo avaliar o impacto do evento sobre a economia de uma dada área selecionada (HANDMER; REED; PERCOVICH, 2002). Segundo os autores, a análise econômica é a identificação de todos os custos e benefícios, tangíveis e intangíveis, resultantes do evento natural e, quando possível, a sua quantificação. Conforme Hufschmidt et. al. (1983 citado por NOGUEIRA J. G.; MEDEIROS, M. A. A.; ARRUDA, F. S. T., 2000, pg. 85) os benefícios de um projeto que visa mitigar eventuais impactos negativos são “os valores de produção incremental de bens e serviços, incluindo serviços ambientais, tornados possíveis pelo projeto.”.

É importante apresentar qual definição de bem e serviço ambiental é considerada no âmbito deste trabalho. Conforme Sandroni (1999, p. 51), “bem” se refere a “tudo o que tem utilidade, podendo satisfazer ou suprir uma carência”. Enquanto “serviço ambiental” é um benefício intangível em favor da sociedade (DALY, 1968). Assim como indicado por Constanza et. al. (1997), entende-se que bens e serviços ecossistêmicos representam os benefícios derivados direta ou indiretamente de processos e propriedades ecossistêmicas.

As razões mais comuns para valoração de bens e serviços ecossistêmicos são: avaliar a contribuição do ecossistema para o bem-estar social e econômico; aumentar a compreensão do mercado econômico sobre os serviços ecossistêmicos; e avaliar o impacto de diferentes alternativas de intervenção sobre o território, contribuindo para o processo de tomada de decisão (REID, 2005).

Para Motta (1997) e REID (2005), a valoração econômica de recursos ambientais, ou dos serviços ecossistêmicos, busca quantificar em termos monetários os impactos sobre o bem-estar das pessoas devido a mudança na quantidade e/ou disponibilidade de recursos ou serviços ecossistêmicos, apropriando ou não de seu uso. Conforme Reid (2005), o bem-estar é entendido por meio de seus múltiplos constituintes, incluindo a disponibilidade de bens e serviços básicos para a manutenção da vida, liberdade, poder de escolha, saúde e boas relações sociais. Assim como pode ser influenciado pela geografia local, cultura e meio ambiente.

Nos itens que se seguem, este trabalho apresenta sua base teórica e conceitual buscando dar uma contribuição para análises que busquem identificar os benefícios econômicos advindos da implantação sobretudo de parques lineares em zonas ripárias.

3.1. Fundamentos conceituais, teóricos e metodológicos para valoração do meio ambiente

Os trabalhos que visaram a valoração de danos ambientais nos últimos anos têm dado ênfase a seis principais categorias: Danos causados por inundação; sequestro de dióxido de carbono; redução de custos com ar-condicionado; aumento da qualidade de vida dos cidadãos; aumento do bem-estar psicológico; benefícios educacionais e sociais; e aumento do patrimônio cultural municipal (TEMPESTA, 2016).

Dentre os métodos de valoração de impactos ambientais, por vezes são utilizados os métodos indiretos, dentre os quais se citam: custos de reposição, custos de realocação, custos de proteção evitados e custos de controle evitados (MOTTA, 1997; REID, 2005). De acordo com a associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), estes métodos estão associados à disposição a pagar ou a receber dos indivíduos quanto a variações da qualidade e quantidade de um bem ambiental, devem ser utilizados quando não houver meios físicos ou financeiros de aplicar os métodos diretos (ABNT, 2009).

3.1.1. Identificando o valor dos recursos ambientais

Segundo Cançado (2009, pg. 82), o valor de um bem ou serviço surge quando “condicionados pelo seu orçamento, dois agentes econômicos negociam entre si até que não seja possível uma troca que implique em aumento da utilidade de um deles”. Deste modo, apenas quando relacionado a um sistema econômico o valor de um bem ou serviço pode ser identificado. Peixer (2011), por sua vez, afirma que o valor econômico do recurso ambiental reflete sua importância para o bem-estar social.

O Valor Econômico do Recurso Ambiental pode ser dividido entre duas categorias principais: Valor de Uso (VU) e Valor de Não uso – ou de existência (VE). O VU inclui os valores tangíveis e intangíveis dos recursos ambientais, bem como os valores de uso direto ou indireto ou que tem um potencial de ser utilizado por futuras gerações

(MOTTA, 1997; REID, 2005; ABNT, 2009). As diferenças entre cada categoria do VU e do VE são apresentadas abaixo:

- Valor de Uso Direto: Divide-se em recursos ambientais consumíveis (quando sua disponibilidade para outros usuários é reduzida quando o bem é utilizado) ou não consumíveis (para fins que não reduzem sua disponibilidade). Coleta de produtos para alimentação, combustíveis fósseis, construção civil, produtos medicinais e a caça de animais silvestres são todos exemplos de recursos ambientais de uso direto consumíveis. Exemplos de não consumíveis são contemplação paisagística, esportes aquáticos, serviços culturais ou sociais etc.
- Valor de uso indireto: serviços de regulação e suporte natural se encaixam na categoria que apresentam valor de uso indireto. Como exemplo está a regulação e ciclo de nutrientes, água e energia na superfície terrestre, polinização e controle biológico da produção de alimentos, purificação do ar e da água através de processos biológicos e físico-químicos.
- Valor de opção de uso: Ainda que as pessoas não utilizem atualmente o recurso ambiental, o valor de opção de uso representa a disposição a permitir que este permaneça disponível para que seja utilizado por futuras gerações de forma individual ou coletiva. Como exemplo estão inclusos serviços ambientais de regulação, provisão e culturais que não apresentam um uso atual, porém podem apresentar um uso futuro.
- Valor de Não Uso ou Valor de Existência: ocorre pela própria existência do bem, independentemente de sua utilização física atual ou futura. Ele decorre de uma posição moral, cultural, ética ou altruísta sobre o direito de existência e sobrevivência (Motta, 1998). Tem-se o exemplo da preservação de animais em extinção, de um patrimônio histórico, cultural ou religioso. Mesmo que o indivíduo nunca venha a vê-los, ele pode conferir-lhes valor. Com características subjetivas e pessoais, é uma classe de valores de quantificação extremamente difícil. É um valor que não se revela por complementaridade ou substituição a um bem privado, o que dificulta sua mensuração também de forma indireta a partir de outros bens (CANÇADO, 2009).

3.1.2. A avaliação econômica de infraestruturas urbanas sustentáveis

Existem diferentes terminologias para descrever tecnologias de infraestrutura urbana sustentáveis, dentre elas, do inglês, citam-se *Sustainable Urban Drainage System (SUDS)*; *Low Impact Development (LID)*; *Best Management Practices (BMPs)*; *Green Infrastructure (GI)* e ainda da literatura nacional, Infraestrutura Verde e Azul, Técnicas Contemporâneas/Compensatórias de Drenagem Urbana, Soluções Baseadas na Natureza (SBN) dentre tantas outras (FLETCHER *et. al.* 2015). Ainda que cada definição englobe conceitos distintos, todas elas se caracterizam por serem tentativas de conciliar o desenvolvimento urbano ou rural com o consumo sustentável dos recursos naturais. A seguir é utilizada principalmente a terminologia SBN por seu caráter mais amplo dentre os demais conceitos, todavia outras terminologias também poderiam ser utilizadas.

Apesar dos benefícios de SBN sobre a vida das pessoas serem facilmente perceptíveis, seu impacto econômico é de difícil estimação, e, por consequência, também se torna árdua a tarefa de comparar diferentes soluções para as carências urbanas atuais (EUROPEAN COMMISSION, 2015). Além disso, muitas vezes não é avaliada toda a dimensão tangível e intangível dos impactos provocados pela SBN em um único estudo (SILVA, 2016; ALLAIRE, 2018; GOMERA, 2018; MCPHEARSON, 2018).

Ademais, em função das propriedades muitas vezes indiretas e intangíveis do VU e VE, fica evidente que uma avaliação econômica completa da implantação de SBN em meio urbano é uma tarefa de alta complexidade. Pois muitas vezes irá exigir análises interdisciplinares e sistêmicas (GOMERA, 2018; MCPHEARSON *et. al.*, 2018), e sabiamente não será esgotada em um único trabalho. No entanto, estudos que avaliam o impacto da implantação de SBN em meio urbano, apesar das suas limitações e por vezes incompletudes, contribuem para o aprimoramento do conhecimento dos impactos das SBN e para a decisão sobre seu emprego, e, com relativa frequência, seus benefícios se sobressaem aos custos quando avaliado o ganho líquido aos cidadãos (TEMPESTA, 2016).

Apresentando ênfase em recursos hídricos, saneamento e meio ambiente, a seguir serão apresentados algumas das metodologias mais comuns para valoração do meio ambiente e danos ambientais.

3.1.3. Métodos de valoração do meio ambiente

Os métodos de valoração de recursos ambientais se distinguem de acordo com sua capacidade de captar diferentes parcelas do seu valor econômico. Cada método apresenta diferentes limitações na cobertura de valores que estão quase sempre associados ao grau de sofisticação (metodológica e de base de dados) exigido, às hipóteses de comportamento do indivíduo consumidor e aos efeitos do consumo ambiental em outros setores da economia (NOGUEIRA J. G.; MEDEIROS, M. A. A.; ARRUDA, F. S. T., 2000; MOTTA, 1997).

Os métodos de valoração do meio ambiente podem ser divididos entre (i) os métodos da função de demanda ou avaliação do excedente do consumidor e (ii) métodos de função de produção ou valor de mercado (MOTTA, 1997; TEMPESTA, 2016).

- Dentre os métodos da função de demanda estão os métodos de mercado de bens complementares (preços hedônicos e do custo de viagem) e método da valoração de contingente.

Segundo Motta (1997), os métodos de função de demanda assumem que a variação da disponibilidade do recurso ambiental altera a disposição a pagar ou a aceitar da população em relação ao recurso ou ao seu bem complementar. A disposição a pagar se aplica preferencialmente quando o beneficiário não é dono do recurso e está disposto a pagar por sua manutenção, incremento ou disponibilização daquele recurso ambiental. A disposição a aceitar se aplica preferencialmente quando o beneficiário é dono do recurso ambiental e está disposto a aceitar uma redução ou maior indisponibilidade daquele recurso. Geralmente, a disposição a aceitar é superestimada e, por isso, se utilizam mais a disposição a pagar em estudos de valoração do recurso ambiental (REID, 2005). São utilizadas, por meio da aplicação de questionários, questões diretas que descrevem um mercado hipotético para a população indicar a disposição a pagar ou a aceitar pelas mudanças do recurso ambiental. Para o sucesso desse tipo de análise, estimar o conhecimento e a afinidade

que população possui em relação ao recurso ambiental é de grande importância (SABYRBEKOV; DALLIMER; NAVRUD, 2020).

Uma das metodologias para valoração dos serviços ecossistêmicos que vem sendo cada vez mais utilizada (NOWAK; CRANE; STEVENS, 2006; STRATUS CONSULTING, 2009; JOHNSTON; ROSENBERGER, 2010) e que provoca muitas controvérsias dentre os pesquisadores (EPA, 2014) é a Técnica de Transferência de Benefícios (TTB). Consiste em utilizar resultados de pesquisas pré-existentes que identificaram o custo de determinado serviço ecossistêmico sob um contexto e então transferi-lo para uma área e população diferente, porém com características semelhantes ao estudo original. Essa técnica apresenta como maior dificuldade a identificação de um estudo adequado para ser transferido para a região e que tenha abordado o mesmo recurso ambiental de interesse (JOHNSTON; ROSENBERGER, 2010).

- Dentre os métodos da função de produção estão incluídos os métodos da produtividade marginal e de mercados de bens substitutos (reposição, gastos defensivos ou custos evitados e custos de controle evitados) (MOTTA, 1997; TEMPESTA, 2016).

Sob a ótica dos métodos que se baseiam em função de produção, se um recurso ambiental é insumo ou pode ser utilizado como um substituto para um serviço privado, o valor deste recurso ambiental será calculado a partir do valor do serviço privado. Assim, o valor deste recurso ambiental bem como sua variação de acordo com disponibilidade e acesso podem ser estimados. O valor deste bem ambiental será o produto de sua disponibilidade pelo valor do serviço que ele oferece, que por sua vez será vinculado ao valor do serviço privado já existente no mercado. Por exemplo, a disponibilidade de nutrientes no solo (recurso ambiental) afeta diretamente a produtividade agrícola (serviço privado existente); ou o nível de perda do solo de uma bacia (recurso ambiental) pode influenciar a vida útil e a produtividade de uma hidrelétrica (serviço privado existente).

Todavia, o mesmo exemplo da produtividade agrícola, pode ser usado para ressaltar que o valor do bem “nutrientes no solo” nunca é completamente mensurado com um bem substituto, no caso “as perdas da produtividade agrícola”, no valor dos “nutrientes

no solo” também está incluído por exemplo manutenção das condições de vida de animais, o que não é medido com a produtividade agrícola. Da mesma forma, a “perda de solo de uma bacia” não é completamente mensurada pela perda da vida útil e produtividade de uma hidrelétrica, uma vez que o solo sadio trás diversos benefícios além deste.

O método da produção marginal por sua vez assume que se conhece o custo da produção do benefício gerado pelo bem ambiental. A partir disso, o valor econômico será equivalente ao produto do custo de produção pela variação da quantidade e disponibilidade do bem ambiental (MOTTA, 1997). São estimados dessa forma apenas os valores de uso direto ou indiretos relativo ao bem ambiental. A relação entre o custo de produção do benefício com o bem ambiental geralmente apresenta elevada complexidade, o que dificulta o uso direto dessa técnica (TEMPESTA, 2016).

Os métodos baseados no mercado de bens substitutos solucionam o problema da dificuldade em conhecer a relação entre o preço dos benefícios gerados pelo bem ambiental e o próprio bem ambiental. Uma variante do método de bens substitutos é o método do custo de oportunidade. Custo de oportunidade para Cechin & Veiga (2010) é o valor associado à melhor alternativa não escolhida. Considerando um processo de escolha excludentes entre si, o custo de oportunidade se traduz no maior benefício não obtido das possibilidades não escolhidas.

Segundo Motta (1997), o método do custo de oportunidade reflete as perdas de renda devido às restrições da produção e consumo de bens e serviços diante da conservação dos recursos ambientais. Por exemplo, deixar de inundar uma área de floresta para geração de energia hidroelétrica significa sacrificar a produção desta energia, ou criar uma reserva biológica significa sacrificar a renda que poderia ser gerada por usos agrícolas da área. Ou ainda, ao escolher implantar um parque ciliar em área urbanizada, significa renunciar aos benefícios de possuir uma avenida sanitária e uma maior área para construção de edificações. Este método não valora diretamente o valor do recurso ambiental, mas sim o custo de oportunidade para se manter o recurso ambiental disponível.

Outras três técnicas derivadas do mercado de bens substitutos, podem ser utilizadas para valoração ambiental (MOTTA, 1997):

- Custos de reposição: É quando o custo do bem substituto representa os gastos necessários para garantir o nível desejado do benefício ambiental. Por exemplo, o custo de reflorestamento de uma área desmatada, custos de reposição de fertilizantes em solos degradados etc.
- Gastos defensivos ou custos evitados: representam os gastos necessários para remediar a redução do benefício ambiental devido a perda ou redução do bem ambiental em análise. Por exemplo, gastos com medicamentos para remediar efeitos adversos na saúde da população causados pela poluição, gastos de reconstrução de áreas urbanas devido a inundações causadas pelo excesso de assoreamento do curso d'água etc.
- Custo de controle ou custo de controle evitados: é quando os danos ambientais são valorados pelos custos de controle que seriam incorridos para evitar a variação da qualidade ou disponibilidade do bem ambiental. Por exemplo, o quanto o governo gasta em tratamento de esgotos para evitar a degradação dos corpos hídricos reflete o valor atribuído por eles à qualidade deste bem ambiental.

Os custos de controle evitados apresentam uma hipótese forte uma vez que assumem que os custos de controle se comportam como substitutos perfeitos para a qualidade ambiental do recurso ambiental analisado (NOGUEIRA; MEDEIROS; ARRUDA, 2000). Esta metodologia atualmente é utilizada pelo Ministério Público Federal para cálculo de multas de compensação ambiental pela poluição de corpos hídricos (SOARES et. al. 2018), bem como suas normas de aplicação em território nacional são apresentados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da Norma Brasileira (NBR) nº 14653-6 (ABNT, 2009). Apesar disso, essa técnica deve ser utilizada com moderação, uma vez que pode muitas vezes não refletir o valor do bem em sua totalidade.

O método dos custos de controle evitados não faz uma distinção entre VU ou VE do bem ambiental, ou seja, neste caso ela estima o valor que a sociedade de maneira coletiva está disposta a pagar pelo bem, independente se este controle representa um valor de uso direto, indireto, de opção de uso ou ainda o valor de não uso (MOTTA, 1997).

Contudo, os custos de controle evitados devem ser analisados com cautela, uma vez que os custos de controle quase sempre não são substitutos perfeitos para o bem-estar advindo do bem ambiental o qual se quer analisar. Como demonstrado por Bartik (1988, citado por NOGUEIRA; MEDEIROS; ARRUDA, 2000), os gastos com o controle da poluição, por exemplo, não levam em conta todas as dimensões dos danos provocados com a perda da qualidade ou quantidade do recurso ambiental, sendo seu valor inferior se comparado ao custo com o controle da poluição. Além disso, os custos de controle podem refletir outros benefícios que não sejam relacionados com os serviços ecossistêmicos do recurso ambiental propriamente analisado, podendo ser também em última análise superestimado. O autor conclui que os custos evitados geralmente refletem o limite superior ou o limite inferior do valor real do recurso ambiental ou serviço ecossistêmico em análise.

Nestes termos, atenta-se que os custos de controle evitados estimados com base no valor do tratamento de esgotos, não retratam os custos de toda a poluição hídrica sofrida pelo corpo hídrico. Por exemplo, se um córrego for canalizado ou não, o esgoto legalmente deve ser tratado. Entretanto, em um rio canalizado ainda haverá diversos serviços ecossistêmicos prejudicados e o custo do tratamento de esgotos não os considera. Ademais, os custos com o tratamento de esgotos por si só não abrangem os custos relacionados a poluição difusa. Dessa forma, entende-se neste ponto que os custos com coleta e tratamento de esgotos refletirão o limite inferior dos benefícios monetários com a retirada de esgotos do curso d'água.

Pessoa (2019) apresentou os custos de coleta e tratamento de esgotos por uma companhia estadual saneamento básico, a qual presta estes serviços aos moradores que residem nas proximidades do Ribeirão Onça. O autor indica que os custos com pessoal e serviços são os principais custos que as operadoras dos serviços de esgotamento sanitário possuem, atingindo 80% do custo total de operação com coleta e 72% do custo total de operação com tratamento. Os impostos correspondem a 10% para coleta e 13% para tratamento. Os demais custos que somam 10% para coleta e 15% para tratamento, se referem a materiais, energia elétrica e impostos que não incidem diretamente sobre o serviço.

A partir disso e com as devidas ponderações, no estudo de caso apresentado neste trabalho, assume-se que um valor aproximado para controle dos impactos ambientais provocados exclusivamente pelo lançamento de esgotos brutos sob o ribeirão Onça é equivalente ao valor médio pago pelos moradores que possuem esgotamento sanitário regular na região. Ressalta-se que, desta forma, busca-se apenas quantificar o benefício da interceptação e tratamento dos esgotos, e não os benefícios de se ter todo o curso d'água completamente despoluído.

3.2. Custos e benefícios de parques e rios urbanos

Tempesta (2015) realizou uma ampla revisão dos custos e benefícios de parques urbanos. Segundo o autor, na literatura os custos de parques urbanos podem ser divididos entre custos de operação e custos de capital. Os custos de operação incluem custos de limpeza, segurança, iluminação, poda de árvores e capina, além de custos de salários, encargos de funcionários e os custos de oportunidade associados por exemplo a perda de arrecadação com impostos caso a área fosse ocupada com edificações particulares. Os custos de capital são relativos ao custo de aquisição da propriedade e construção dos equipamentos do parque. Estes custos podem variar ainda de acordo com a localização da área, os equipamentos e uso do parque feito pela população e ainda pela densidade de árvores localizadas no parque.

Dentre as técnicas contemporâneas de drenagem urbana que visam maximizar e aprimorar o uso e harmonia ecológica das águas em ambiente urbano, a restauração de rios tem sido amplamente utilizada. Um levantamento das intervenções em cursos d'água nos Estados Unidos entre 1990 e 2003 identificou 37.099 projetos executados ou em execução, reunindo informações como objetivos dos projetos, custos e registros científicos e jornalísticos (BERNHARDT *et al.*, 2005). Esta base de dados é conhecida como *National River Restoration Science Synthesis (NRRSS)*.

Neste estudo os autores puderam também identificar o custo médio por tipo de intervenção, os valores estão apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Custo médio por tipo de intervenção - base de dados NRRSS.

CUSTO MÉDIO DE CADA INTERVENÇÃO		
Objetivo da intervenção	Custo médio	Exemplo de procedimento empregados
Estética/Recreação/educação	U\$63.000	Limpeza, remoção de entulho
Estabilização de encostas	U\$42.000	Retaludamento/ Revegetação
Reconfiguração de canal	U\$120.000	Mudança na forma do canal
Remoção/adaptação de barramento	U\$98.000	revegetação
Passagem de peixe	U\$30.000	Escada de peixes
Reconexão várzea/leito	U\$207.000	Mudança na forma do canal em margens
Modificação de fluxo	U\$198.000	Controle do regime hidráulico
Aprimoramento de habitat	U\$20.000	Instalação de Troncos e barreiras naturais
Manejo de espécies	U\$77.000	Reintrodução de espécies nativas
Aquisição de terreno	U\$812.000	-
Manejo de áreas ripárias	U\$15.000	Remoção de pasto
Gerenciamento de águas pluviais	U\$180.000	Técnicas contemporâneas de drenagem
Gerenciamento da qualidade de água	U\$19.000	Manutenção ou introdução de vegetação ripária

Valores em dólares americanos, ano base de 2005 (BERNHARDT, et. al. 2005)

Konijnendijk *et. al.* (2013) realizou uma ampla revisão relativa aos benefícios de parques urbanos em todo o mundo. O trabalho destes autores é ainda mais relevante para a análise de benefícios de parques urbanos uma vez que este buscou identificar a força das evidências científicas que reforçam ou opõe a existência cada benefício identificado. Para tanto, foi aplicado um protocolo com 6 perguntas norteadoras para definir a força da evidência propostas por Bowler et al. (2010), replicadas e traduzidas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Perguntas norteadoras para definição da força das evidências propostas por Bowler et. al. (2010)

1) O estudo identificou sua população-alvo ou forneceu informações suficientes sobre os tipos de indivíduos / espécies? Isso determina até que ponto os resultados do estudo podem ser colocados no contexto do tipo de participante.
2) Como os estudos recrutaram participantes? Para fazer uma pergunta de sim ou não: o viés de auto seleção foi controlado no estudo? 'Encaminhado por terceiro' foi considerado superior a 'autorreferido' devido à possibilidade de viés de auto seleção, que afeta a representatividade da amostra da população.

3) A randomização foi usada para alocar os participantes em grupos ou, no caso de um estudo cruzado, para decidir a ordem dos tratamentos? Isso afeta se houve alguma diferença sistemática entre os participantes dos grupos de intervenção e de comparação.
4) Os estudos mostraram ser semelhantes na linha de base ou as diferenças na linha de base foram levadas em consideração na análise? Isso é importante para poder atribuir diferenças mensuráveis à intervenção.
5) O método de coleta de dados foi descrito e provavelmente confiável e válido? Isso afeta a confiança que podemos ter nos resultados que refletem a medição pretendida.
6) Houve alguma outra diferença entre os grupos de intervenção e de comparação que possa explicar as diferenças nos dados que estão sendo medidos? Por exemplo, se houvesse alguma diferença entre os grupos além do cenário ambiental, isso poderia explicar quaisquer diferenças no resultado, em vez do efeito dos parques.

(BOWLER et. al. 2010) tradução do autor

Os resultados apresentados por Konijnendijk *et. al.* (2013) são sintetizados na Tabela 3.3. Nota-se que os principais benefícios de parques em áreas urbanas identificados na literatura dizem respeito a saúde e bem-estar da população, aumento da biodiversidade, preços das residências e controle térmico.

Tabela 3.3 – Levantamento dos benefícios de parques urbanos e suas evidências científicas

Categoria dos benefícios	Nº de artigos	Descobertas principais	Força da evidência
1 - Biodiversidade	62	Parques arborizados apresentam maior riqueza de espécies que outros tipos de áreas verdes urbanas	Forte
2 - Preços residenciais	23	A proximidade de parques na maioria das vezes possui impacto positivo no valor das propriedades. Indicando que as pessoas apreciam viver próximos aos parques urbanos	Moderada à forte
3 - Saúde e bem-estar	86	3.1 Parques contribuem para o aumento da atividade física e reduz os índices de obesidade da população local	Forte (Moderada à forte para obesidade)
		3.2 Parques contribuem para a redução do estresse e aumentam o autorrelato de saúde física e mental	Moderada
		3.3 Parques possuem um efeito positivo indireto no bem-estar social, psicológico e suporte social por aumentarem as oportunidades de recreação	Fraca à moderada

Categoria dos benefícios	Nº de artigos	Descobertas principais	Força da evidência
		3.4 Parques possuem um efeito indireto na longevidade pela redução da poluição sonora e controle término local	Moderada
4 - Controle térmico	24	Parques contribuem para o controle térmico das áreas próximas durante o dia e a noite	Moderada à forte
5 - Qualidade do ar e sequestro de dióxido de carbono	11	Parques contribuem para a remoção da poluição do ar e sequestro de dióxido de carbono	Fraca à moderada
6 - Regulação do ciclo hidrológico	6	Parques contribuem para a gestão de águas de chuva e escoamento pluvial	Fraca
7 - Turismo	8	Parques são atrativos para os turistas e estão dentre as motivações para visitarem certas cidades	Fraca
8 - Coesão social	5	Parques urbanos contribuem para a inclusão e coesão social	Fraca

(KONIJNENDIJK et. al. 2013 – tradução do autor)

No item seguinte é apresentada uma série de estudos de caso e revisão de estudos que avaliaram os benefícios em valores monetários de áreas verdes, parques urbanos e melhoria do meio ambiente em áreas urbanas.

3.2.1. Exemplos de valoração de recursos ambientais em áreas urbanas

3.2.1.1. O caso da Filadélfia/EUA

Atualmente, cerca de 60% do território da Filadélfia, Pensilvânia, Estados Unidos, possui sistema de esgotamento unitário (PHILADELPHIA, 2021), ou seja, os esgotos domésticos e drenagem pluvial seguem pelos mesmos condutos até a estação de tratamento de esgotos. Visando reduzir problemas relacionados ao extravasamento do sistema de esgotamento unitário – Combined Sewer Overflow – CSO (sigla do inglês), foi solicitado pelo Departamento de Águas da Filadélfia em 2009 um amplo estudo para avaliar os impactos econômicos da implantação de LID em seu território. Neste caso, LID se assemelham às SBN, como aumento das áreas verdes, pavimento permeáveis, telhados verdes etc. Estas soluções foram comparadas às “infraestruturas cinzas” que representam soluções tradicionais para mitigação do CSO, como túneis de armazenamento que funcionam como bacias de armazenamento (STRATUS CONSULTING, 2009).

Este estudo é discutido em maior nível de detalhe neste trabalho devido à sua ampla abordagem e integração de diferentes áreas do conhecimento para valoração dos recursos ambientais. Neste, a Técnica de Transferência de Benefícios foi a mais

utilizada, tendo em vista a ampla disponibilidade de estudos de valoração ambiental nos Estados Unidos.

Foram analisados os impactos econômicos das seguintes vertentes: (i) recreação, (ii) mercado imobiliário e estética, (iii) ondas de calor, (iv) qualidade da água e ecossistema aquático, (v) qualidade e quantidade de sistemas ripários e de mangue, (vi) redução da pobreza por empregos verdes, (vii) gastos de energia e emissões de gases do efeito estufa, (viii) qualidade atmosférica e (ix) implantação e manutenção da infraestrutura. Nesta análise foi obtido que o valor presente líquido do benefício de implantar LID durante o período de 40 anos está entre 1,94 e 4,45 bilhões de dólares, enquanto o benefício da infraestrutura cinza está entre 0,06 e 0,14 bilhões de dólares (STRATUS CONSULTING, 2009). Na Tabela 3.4 é apresentado uma descrição dos valores em cada aspecto levantado.

Tabela 3.4 – Valor do benefício das soluções analisadas para CSO na Filadélfia.

Valor presente acumulado (2009 - 2049 milhões dólares, valor base de 2009)		
Categorias de benefícios	50% LID ²	Túneis ¹
Aumento das áreas de recreação	524,50	-
Melhoria da estética e valor de mercado das propriedades	574,70	
Redução da mortalidade por ondas de calor	1057,60	
Melhoria da qualidade da água e habitats aquáticos	336,40	189,00
Áreas úmidas (mangues e zonas ripárias)	1,60	
Custos evitados por empregos verdes	124,90	
Melhoria da qualidade do ar	131,00	
Economia de energia elétrica	33,70	-2,50
Redução/aumento das emissões de SO ₂ e Nox	46,30	-45,20
Redução/aumento das emissões de CO ₂ equivalente	21,20	-5,90
Perturbação devido a implantação e manutenção da estrutura	-5,60	-13,40
Total (\$)	2.846,30	122

(STRATUS CONSULTING, 2009).

¹Túneis paralelos que funcionam como bacias de detenção

² implantação de 50% da estrutura de LID

Para detalhar um pouco mais as dimensões de benefícios advindos pela implantação de LID/SBN em áreas urbanas, a seguir são apresentados uma breve descrição de cada benefício avaliado no âmbito do estudo realizado pelo município da Filadélfia (STRATUS CONSULTING, 2009).

- **Recreação.** Sobre a opção de LID, as oportunidades recreacionais nas margens dos córregos são aumentadas, como resultado da restauração e aprimoramento das condições da vegetação ciliar. A recreação também é beneficiada fora das margens dos córregos devido ao aumento da vegetação ao longo de toda a cidade. Estes benefícios não são identificados quando se adota infraestrutura cinza.
- **Mercado Imobiliário e Estética.** O incremento de vegetação e árvores aumentam o valor estético do município e o bem-estar da comunidade, e consequentemente também ocasionam o aumento o valor dos imóveis. Entretanto, deve-se ter cuidado no processo de valoração de imóveis devido ao fato de este bem refletir outros fatores além da estética, como a segurança contra riscos (inundações, deslizamentos), a qualidade atmosférica, a qualidade dos cursos d'água em seu entorno etc. Estes fatores se não levados em consideração em uma análise de custo-benefício ou pela TTB podem superestimar o impacto econômico de LID.
- **Ondas de calor.** A LID (árvores, telhados verdes) por sua essência é fonte de sombra, emissão de vapor d'água e reduz a quantidade de material que retém calor. Por consequência ocorre a redução da temperatura ambiente. O efeito de refrigeração é suficiente para reduzir ondas de calor, suas enfermidades e fatalidades resultantes.
- **Qualidade da água e ecossistema aquático.** A infraestrutura cinza também visa a recuperação da qualidade da água, entretanto não apresenta nenhuma medida eficaz de recuperação e aprimoramento da quantidade e qualidade do ecossistema ripário. A opção de LID objetiva reunir tanto a qualidade das águas como também da biodiversidade dentro dos corpos hídricos.
- **Qualidade e quantidade de sistemas áreas úmidas.** Em áreas úmidas como zonas ripárias ou mangues, como demonstrado no caso da Filadélfia, a restauração ambiental por meio da implantação de LID tende a proteger e intensificar a resiliência destes ambientes naturais. Estes ambientes saudáveis podem entregar diversos serviços ecossistêmicos à bacia hidrográfica.
- **Redução da pobreza com empregos verdes.** A implantação de infraestrutura cinza convencional (bacias de retenção, canais de concreto) exigem mão de obra especializada para sua implantação e manutenção. Estes trabalhadores,

em quase a totalidade dos casos, já estão empregados no ramo da construção civil. Por outro lado, empregos gerados a partir da implantação e manutenção de LID, descritos aqui como empregos verdes, não exigem grande especialização dos empregados, podendo ser contratados trabalhadores que nem mesmo estavam dentro do mercado de trabalho formal e poderiam estar em condição de vulnerabilidade socioeconômica. A existência de empregos verdes em áreas urbanas indiretamente é um fator redutor da pobreza que, por sua vez, resulta em benefícios econômicos para toda a comunidade. Citam-se como exemplo de empregos verdes formais jardineiros, faxineiros, segurança etc. Além destes também são incentivados empregos não-formais como vendedores ambulantes, guias turísticos, artistas de rua etc.

- **Gastos de energia e emissões de gases do efeito estufa.** A LID contribui para a redução da temperatura dos ambientes, reduzindo a necessidade de controle térmico por meio de ar-condicionado dentro das edificações. Além disso, o sequestro de carbono é aumentado com o incremento da vegetação, resultando em redução do processo de aquecimento global.
- **Qualidade atmosférica.** A vegetação incrementada sobre a malha urbana é responsável também pela filtragem de poluentes atmosféricos, como material particulado e ozônio. Assim como a redução do consumo de energia elétrica resulta em menores emissões atmosféricas como SO₂ e NO_x pelas usinas de geração de eletricidade a base de combustíveis fósseis.
- **Implantação e manutenção da infraestrutura.** A implantação de toda infraestrutura irá resultar em determinado nível de transtorno devido a construção ou atividades correlatas desta. Os custos sociais incluem aumento do tráfego, limitação de acesso temporário, aumento de ruídos sonoros e poluição e outros inconvenientes. Entretanto, os níveis de transtornos causados pela LID tendem a ser consideravelmente menores que os de infraestrutura cinza tradicional.
- **Processo de gentrificação:** Embora não tenha sido apresentado no trabalho realizado no município da Filadélfia, a gentrificação é abordada em diversos trabalhos que avaliam os impactos da implantação de LID em comunidades marginalizadas por questões sociais e/ou econômicas (ESSOKA, 2010; KABISCH; HAASE, 2014), está o processo de gentrificação. Este processo consiste no aumento dos custos de vida e permanência em local da cidade que

antes angariou melhorias urbanas, e, por consequência, os moradores residentes passam a ter que arcar com custos de impostos e serviços mais elevados nessa região. Por fim, a porção mais carente dos antigos moradores, por razões econômicas, são obrigados a se mudarem para localidades que oferecem menos infraestrutura, áreas verdes e qualidade de vida. Ressalta-se que no caso do Parque Ciliar do Ribeirão Onça, por ser uma área com indicadores sociais menores que a média do município e ser alvo de uma grande intervenção de requalificação ambiental (COSTA, 2018; PBH, 2014a), entende-se que devem ser implantadas medidas que venham prevenir ou mitigar o processo de gentrificação.

3.2.1.2. Outros estudos de caso

Peixer, Giacomini, Miguel Petrere (2011), Brandli, Marques Prietto & Neckel (2015), Vásquez & Rezende (2019), Sabyrbekov, Dallimer & Navrud (2020) são exemplos de trabalhos que buscam identificar a disposição a pagar da população por bens ambientais como áreas verdes, parques e melhoria da qualidade dos recursos hídricos e seus respectivos serviços ecossistêmicos.

Peixer, Giacomini & Miguel Petrere (2011) avaliaram o valor da cachoeira Emas, localizada no rio Mogi-Guaçu no estado de São Paulo. Os autores estimaram o custo econômico ou a disposição a pagar atribuída pela sociedade nas dimensões da pesca, turismo e esporte local. A disposição a pagar para manutenção das condições é apresentada na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Valor anual médio da disposição a pagar por grupo entrevistado para manutenção ou recuperação da qualidade ambiental da Cachoeira Emas (U\$, 2008)

Valor anual da disposição a pagar por grupo entrevistado (U\$/pessoa, 2008)		
Categoria de entrevistado	Manter	Recuperar
Pescadores profissionais	58,08	233,52
Pescadores esportivos	82,92	208,44
Turistas ¹	55,44	193,2
Visitantes ²	18,36	101,04

(PEIXER, GIACOMINI & MIGUEL PETRERE, 2011)

¹ com permanência maior que 24 h

² com permanência menor que 24h

Brandli, Marques Prietto e Neckel (2015) estimaram a disposição a pagar da população por melhorias em um parque urbano no município de Passo Fundo, Rio Grande do Sul. Sua análise distinguiu o valor da disposição a pagar de moradores que residem mais próximos e mais distantes do parque, identificando uma forte correlação da maior disposição a pagar com a proximidade do parque. A disposição a pagar pela população para manutenção e melhoria das condições de uso do parque ficou entre US\$ 550.547,94 e US\$ 1.145.188,35.

Vásquez & Rezende (2019) avaliaram a disposição a pagar por melhorias na qualidade da água do rio Paraíba do Sul, no estado do Rio de Janeiro. Foram avaliados os custos atribuídos pela sociedade no incremento da qualidade do rio o suficiente para garantir os usos de contato primário e pesca, ciente de que atualmente apenas o contato secundário é permitido. Foi identificado que a população do município estaria disposta a pagar entre 0.81% e 1.25% do valor de suas contas de água para as melhorias propostas.

Sabyrbekov, Dallimer & Navrud (2020) avaliaram a disposição a pagar da população pelo aprimoramento e implantação de novas áreas verdes no Quirquistão, país em desenvolvimento. Os autores recomendam que não seja avaliada a disposição a pagar exclusivamente em valores monetários, mas também seja abordado índices que meçam a afinidade com a natureza do respondente. O aumento da afinidade com a natureza é proporcional ao aumento da disposição a pagar por melhorias ambientais. Os resultados indicaram que a população estaria disposta a pagar valores entre U\$ 6.11 e U\$ 6.58 para melhoria e aumento do número de áreas verdes.

Os próximos dois trabalhos apresentados estimaram danos provocados por inundações urbanas. Corsi, Azevedo e Gramani (2012) estimaram os danos econômicos tangíveis de uma inundação ocorrida entre dezembro de 2009 e janeiro de 2010 no município de São Luiz do Paraitinga, São Paulo. O dano provocado pela inundação foi de R\$ 103,63 milhões, equivalente a 125% do PIB e 468% da receita municipal de 2009. Os autores estimaram os danos sobre o setor de habitação, educação, cultura, saúde, energia elétrica, esgotamento sanitário, abastecimento de água, transporte, comércio e indústria. Contudo, diversos danos não foram

quantificados segundo os autores por falta de dados, o que faz a estimativa dos danos permanecer conservadora.

Siqueira *et. al.* (2020) levantaram os danos tangíveis diretos e indiretos causados por inundações nos anos de 2016 a 2018 na regional oeste de Belo Horizonte, totalizando R\$3.527.696,95. Os autores ainda indicam que é uma estimativa que eventualmente subestima os danos devido a metodologia adotada, além de não abranger os danos intangíveis.

Estudos que avaliaram especificamente danos provocados por inundações urbanas e/ou poluição hídrica relacionando com a presença de parques ciliares urbanos não são de conhecimento do autor. A escassez desses estudos na literatura reforça a importância e sugere certo ineditismo do estudo de caso aqui apresentado.

3.3. Inundações urbanas

Se faz necessária a diferenciação entre as inundações urbanas para dar prosseguimento ao presente manuscrito. Cheias, enchentes e inundações devem ser analisadas como fenômeno físico. Segundo a Organização Meteorológica Internacional (WMO; UNESCO, 2012), cheias ou enchentes em um curso d'água ocorrem quando seu nível freático aumenta, ocupando parcial ou integralmente seu leito maior. Por outro lado, inundações são descritas quando uma área para além do leito maior é alagada, caracterizando a planície de inundação. Quando a planície de inundação se dá em áreas rurais ou agrícolas, diversos serviços ecossistêmicos são identificados, como o aumento e ciclagem de nutrientes no solo e o reabastecimento de lagoas marginais. Por outro lado, obviamente, causará danos caso houver animais, casas e equipamentos expostos sobre a área durante o período de alagamento.

Em áreas urbanas, as cheias, enchentes e inundações não são fáceis de distinguir, uma vez que é comum haver a ocupação do leito maior e leito menor do rio com equipamentos urbanos e até edificações. Nesse caso, é bem comum uma enchente provocar o extravasamento da calha do rio e a consequente inundação de uma área densamente ocupada.

As inundações urbanas, também conhecidas como alagamentos urbanos, são consequência de dois processos principais segundo Tucci e Bertoni (2003): (i) inundações em áreas ribeirinhas – enchentes naturais que atingem a população que ocupa os leitos de rios por falta de planejamento do uso do solo; (ii) urbanização – são as inundações provocadas pela urbanização.

Inundações em áreas ribeirinhas acontecem principalmente em bacias hidrográficas de área superior a 1.000 km² e é um processo natural com Tempo de Retorno (TR) superior a dois anos (TUCCI; BERTONI, 2003).

Por outro lado, as enchentes devido à urbanização decorrem da impermeabilização do solo por meio das edificações urbanas. A parcela de água que infiltrava ou era armazenada por imperfeições do solo e vegetação passa a ser escoada rapidamente por condutos e canais artificiais. Isto resulta no aumento da velocidade de acumulação da água em depressões e canais naturais como córregos e ribeirões (TUCCI; BERTONI, 2003) induzindo a ocorrência de um pico de vazão no leito do curso d'água, maior e mais rápido se comparado à bacia hidrográfica antes da urbanização.

Hobeica & Hobeica (2018) sugerem haver três níveis de integração entre a parques urbanos inundáveis e o risco às inundações em centros urbanos, sendo eles, tolerar, acomodar e acolher. O primeiro nível, tolerar, representa uma coexistência entre a área urbana e o risco às inundações, porém sem haver espaço para o curso d'água efetuar suas dinâmicas naturais sendo suas cheias contidas em áreas projetadas exclusivamente para reservar e liberar lentamente seus volumes. O segundo nível, acomodar, é uma transição entre o primeiro e o terceiro, acolher. Nesses níveis é esperado que o parque urbano e as inundações apresentem sinergia entre si. Isto significa que nesse nível as áreas do parque não apenas funcionam para armazenar os volumes de cheia, mas também, por exemplo, pode ser prevista a criação de áreas úmidas após as inundações, aprimorando a experiência com a natureza de um visitante do parque e intensificando diversos serviços ecossistêmicos da área ribeirinha.

Belo Horizonte possui um histórico recorrente de inundações em diversos trechos, acentuando-se principalmente nas Regiões Administrativas (RA) de Venda Nova, Pampulha, Barreiro, Norte e Nordeste (PBH, 2016). Impulsionados pelos casos de

inundação em épocas de chuvas intensas, surgiram ações diversas para otimização da drenagem pluvial, recuperação do leito de córregos e proteção dos munícipes contra eventos hidrológicos críticos. Vários exemplos podem ser citados, como o Plano Diretor de Drenagem Urbana, o programa DRENURBS, a elaboração da Carta de Inundação de Belo Horizonte (BH), a criação dos Núcleos de Alerta de Chuvas, e o Comitê Estratégico de Emergências (PBH, 2016). Com exceção da RA Barreiro, as outras quatro RAs com piores índices de inundações estão dentro da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Onça.

3.3.1. Danos provocados por inundações

Historicamente os danos provocados por inundações são divididos entre as seguintes tipologias: tangíveis e intangíveis, diretos e indiretos. Danos tangíveis são passíveis de serem quantificados economicamente, como danos aos imóveis, móveis, eletrodomésticos, comércios, disfuncionalidades nas redes de transmissão de energia elétrica, no tráfego de veículos e cargas, fornecimento de água, coleta de esgotos etc. Danos intangíveis são caracterizados por não serem de fácil quantificação econômica, como exemplo estão os danos ao patrimônio cultural, perda de objetos de valor pessoal, danos à saúde mental da população pela exposição contínua ao risco, perda de vidas humanas e animais.

Os danos diretos são causados pelo contato direto da água da inundação com os bens públicos e privados. Como exemplo, citam-se os danos aos imóveis, móveis, eletrodomésticos, comércios, perda de vidas humanas e animais e ao patrimônio público. Os danos indiretos, por sua vez são danos decorrentes, porém não imediatos à inundação, como por exemplo a interrupção do fornecimento de água, energia elétrica, disfuncionalidades na coleta de esgotos, complicações no tráfego de veículos e cargas, danos à saúde mental da população devido à exposição contínua ao risco etc. Contudo, a diferença entre danos tangíveis e intangíveis, diretos e indiretos pode variar entre diferentes interpretações e sob diferentes perspectivas (MERZ *et. al.* 2010).

Conforme apresentado por Hubert e Ledoux (1999), a avaliação dos impactos socioeconômicos de inundações pode ser realizada segundo três procedimentos metodológicos: (i) métodos conceituais, dividida em análise hedônica e análise de

contingente; (ii) métodos de análise de vulnerabilidade e (iii) métodos deterministas ou de avaliação direta.

- Métodos conceituais
 - Análise hedônica

A análise hedônica consiste na identificação do valor atribuído pela sociedade para evitar danos provocados por inundação. Isso pode se dar por exemplo por meio da comparação de preços de bens que se encontram em área alagável e um bem idêntico fora dessa área. A análise hedônica também se traduz na identificação do valor atribuído à equipamentos de controle, mitigação e gerenciamento de inundações.

Essa metodologia pressupõe que a atenuação das inundações se comporta como um serviço que apresenta certa demanda pela sociedade. Por consequência, assume que os compradores e fornecedores do serviço têm informação suficiente a respeito das inundações e seus danos potenciais. Possui como desvantagem a dependência da memória de inundações passadas, bem como influências externas na valorização ou desvalorização dos imóveis para além da exposição às inundações (HUBERT E LEDOUX, 1999).

- Análise de contingente

A análise de contingente se baseia na hipótese de que os benefícios da atenuação dos danos de inundação são claramente percebidos pela população a ser beneficiada. Logo, a disposição a pagar da população pelas medidas de atenuação é diretamente relacionada ao valor dos danos potenciais da inundação. Usualmente para a análise de contingente, utilizam-se questionários e painéis explicativos junto a ocupantes de áreas inundáveis buscando a disposição a pagar pelo produto “Controle de inundação” em diferentes cenários. Como desvantagem, apresenta a dependência da memória de inundações passadas, o que faz ser necessário a combinação desta metodologia com estudos da percepção de riscos às inundações (HUBERT E LEDOUX, 1999).

- Métodos de análise de vulnerabilidade

O método de análise de vulnerabilidades busca relacionar a aleatoriedade do evento hidrológico, os bens expostos, os danos potenciais decorrentes da ocorrência e os recursos disponíveis para atenuar os danos e riscos. A recorrência do evento

hidrológico, a quantidade de bens expostos e a sensibilidade à ocorrência de danos são diretamente proporcionais à vulnerabilidade, enquanto os recursos disponíveis para atenuar os danos e riscos são inversamente proporcionais. Indicadores são utilizados para as análises de vulnerabilidade e podem ser encontrados juntos de exemplos de procedimentos para análise da vulnerabilidade na literatura (HUBERT; LEDOUX, 1999). Conforme indicado por Allaire (2018), análises de danos provocados por inundações centradas no campo da engenharia, por focarem nos custos monetários, não conseguem refletir completamente os danos sobre o setor privado e público. Análises de vulnerabilidade não são exceção, uma de suas fraquezas é por vezes reduzirem todo o dano potencial ao dano facilmente quantificável em valores monetários, sem dar a devida atenção aos danos intangíveis.

- Métodos Deterministas ou de avaliação direta

A análise direta ou determinística se concentra na descrição detalhada e precisa dos impactos causados pelas inundações. Pode ser realizada “*a posteriori*” (após uma inundação), levando em consideração os danos causados por determinado sinistro que ocorreu no passado recente; ou “*a priori*” (antes da inundação), levando em consideração uma detalhada descrição das patologias e disfuncionalidades causadas por inundações de acordo com o padrão construtivo e organização econômica e social da área vulnerável. Em seguida, estabelecem-se relações das variáveis hidráulicas com os danos causados pela inundação (HUBERT; LEDOUX, 1999). O resultado dessa metodologia em geral se apresenta como curvas de Dano por Profundidade Submersa (DPS), exemplos podem ser vistos em Machado (2005), Merz *et. al.* (2010), Almeida (2020) e Wu *et. al.* (2021).

3.3.2. As curvas Dano por Profundidade Submersa (DPS)

As curvas DPS representam uma relação entre os danos diretos tangíveis das edificações e seus conteúdos em valores monetários com vários intervalos de profundidade. É mais comum ser produzida para o setor habitacional, mas também é produzida para o setor de comércio, serviços e indústria (MERZ, *et. al.* 2010).

Na elaboração de curvas DPS, duas abordagens podem ser adotadas: (i) curva de danos empírica, a qual utiliza dados de danos obtidos após um evento de inundação (eg. MACHADO, 2005) e (ii) curva de danos sintética, abordagem que faz uso de

análises teóricas com base nos danos que eventualmente poderão ocorrer sobre determinada área (eg. WU *et. al.*, 2021).

Além da escolha da abordagem a ser adotada na curva DPS, sua elaboração passa também pela definição dos parâmetros. A definição dos parâmetros a serem inseridos na análise da curva DPS são dependentes da disponibilidade de dados no local e do foco dado por cada pesquisador (MERZ, 2010). Merz *et. al.* (2010) apresenta um compilado com diversos parâmetros que foram considerados na elaboração de curvas DPS por diversos autores (Tabela 3.6).

Tabela 3.6 – Exemplos de parâmetros de impacto e resistência em análises da danos provocados por inundações em curvas DPS (MERZ, et. al. 2010 – tradução do autor)

Parâmetro de impacto	
Parâmetro	Descrição
Profundidade de inundação	Maiores profundidades provocam maiores danos à construção e seus conteúdos
Velocidade do fluxo	Maiores velocidades provocam maiores danos à construção e seus conteúdos
Duração da inundação	Durações mais longas de inundação provocam saturação da estrutura do imóvel e seus conteúdos, maior esforço para recuperar os bens e maiores danos
Contaminação	Maior nível de contaminação das águas de inundação provoca aumento dos danos ocorridos.
Sedimentos	A maior presença de partículas finas adentrando nos poros dos bens atingidos dificultam sua recuperação.
Velocidade da ascensão do hidrograma	Ascensões mais velozes dificultam a redução dos danos da inundação.
Frequência da inundação	Por um lado, a frequência maior pode aumentar a probabilidade de danos, por outro pode aumentar a memória e resiliência contra inundações da população, reduzindo seus danos.
Horário da inundação	Inundações durante o dia são associadas aos menores danos. Durante a noite ou feriados os proprietários não são tão ágeis na tomada de medidas mitigatórias e proteção de seus bens.
Parâmetros de resistência	
Uso comercial específico	Diferentes setores comerciais apresentam diferentes níveis de susceptibilidade aos danos provocados por inundações.
Tipo da edificação	O tipo da edificação implica de forma acentuada na propensão a sofrer danos provocados por inundações.
Material de construção	O material da construção pode proteger ou aumentar os danos consideravelmente.
Precauções	Diversas medidas preventivas podem ser adotadas para reduzir os danos provocados por inundações. Como construções elevadas e uso de materiais resistentes à água.
Resposta externa/medidas emergenciais	Medidas como a desmontagem de equipamentos/máquinas fixas, a realocação de estoques, a vedação de aberturas para evitar a entrada de água no prédio ou secagem rápida e desinfecção que reduz a formação de mofo nas paredes.
Avisos prévios	Avisos compreensíveis e suficientemente longos podem contribuir com a redução dos danos

Como desvantagem das curvas DPS, cita-se que essa metodologia é de difícil estimativa mesmo quando aplicada a poucos setores (habitacional, comércio,

indústria); a curva DPS possui validade curta pois está sujeita a mudanças no (i) poder de aquisição dos moradores, (ii) mudança do valor do metro quadrado da região, (iii) adensamento urbano (CANÇADO, 2009). Contudo, as curvas construídas de acordo com modelos *a priori*, com correções temporais e espaciais, podem ser consideradas bastante genéricas podendo ser replicadas para ambientes de desenvolvimento econômico semelhante como em um mesmo país (MACHADO, 2005). além disso, quando é levado em consideração o nível de renda das famílias e os valores de danos são apresentados por metro quadrado de área construída, a reaplicação das curvas DPS em áreas e períodos diferentes é facilitada (MACHADO, 2005).

O trabalho de Machado (2005) é um exemplo de metodologia *a posteriori* aplicada sobre os municípios de Itajubá e Santa Rita do Sapucaí em Minas Gerais para os setores habitacional, de comércio e serviços.

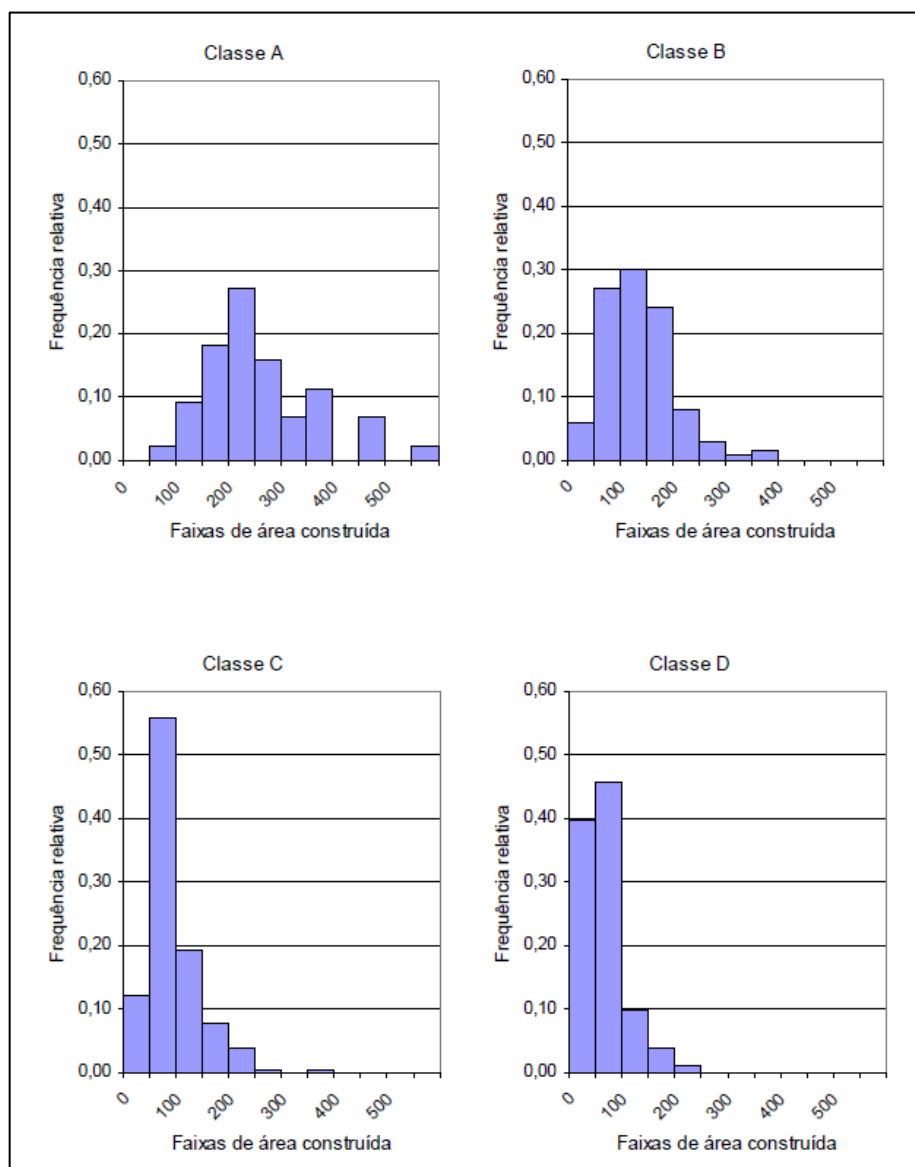
Com as necessárias correções espaciais e temporais, no presente trabalho é utilizada a curva Dano por Profundidade Submersa para os setores habitacional, comercial e de prestação de serviços para as edificações e seu conteúdo proposta por Machado (2005) para o estudo de caso que será apresentado. Como as curvas propostas serão uma das principais ferramentas aqui utilizadas para estimar os danos provocados por inundação, é apresentada a seguir brevemente a metodologia e considerações feitas para construção das curvas DPS pela autora.

A metodologia aplicada por Machado (2005), combinou método *a priori* e *a posteriori*. Foram aplicados 469 questionários para o setor habitacional e cerca de 200 nos setores de comércio, serviços e indústria do município de Itajubá e Santa Rita do Sapucaí, com perguntas relativas ao nível d'água observado no evento de inundação ocorrido em 2000 e os prejuízos provocados sobre a edificação e seus conteúdos (*a posteriori*). Estes municípios foram escolhidos por conta de seu nível de desenvolvimento, diversidade de ocupação urbana e características da inundação ocorrida no ano 2000. As classes sociais foram definidas de acordo com o Critério Brasil (ABEP, 2021), em função da renda declarada nos formulários aplicados. Isso auxiliou na identificação do padrão construtivo das residências. A partir destes padrões, foram estimados os bens existentes nos domicílios de cada classe social e os danos esperados por nível d'água observado em cada residência, acrescentando

um caráter a priori na análise. Os resultados empíricos obtidos dos questionários permitiram avaliar a pertinência dos padrões e corrigi-los quando necessário.

Inicialmente, Machado (2005) elaborou dezesseis plantas baixas correspondentes a diferentes valores de áreas construídas. As plantas baixas foram construídas com base em projetos de conjuntos habitacionais destinados a distintas faixa de renda, desenvolvidos pelo governo do estado de Minas Gerais. A seleção dos projetos característicos de cada classe social foi efetuada em função da análise de informações coletadas dos moradores entrevistados das residências atingidas pela inundação. A análise buscou relacionar a área construída da planta baixa com a classe econômica dos moradores, por meio da construção de histogramas representando a distribuição das ocorrências dos valores de área construída por classe econômica (Figura 3.1).

Figura 3.1 – Área construída por classe social identificada (MACHADO, 2005)



No que diz respeito aos danos sobre o setor de comércio e serviços, estes foram divididos em grupos de categorias de acordo com o tipo de atividade. Os tipos de atividades e o número de estabelecimentos cujo responsável foi entrevistado, são apresentados na Tabela 3.7 e Tabela 3.8. Um pouco mais do trabalho da autora será apresentado na seção 5.3.

Tabela 3.7 – Distribuição da amostragem de estabelecimentos em termos das categorias do comércio (MACHADO, 2005)

Principal atividade da empresa	Código da atividade	Número de empresas
Materiais de construção e ferragens	11	16
Produtos farmacêuticos, perfumaria e cosméticos	12	11
Livrarias, papelarias	16	12
Grupo1		12
Hipermercados e supermercados	1	7
Mercearias e armazéns	5	5
Grupo2		20
Padarias e confeitarias	4	7
Açougues e peixarias	6	6
Comércio de frutas, verduras e legumes	7	7
Grupo 3		30
Lojas de departamento	2	5
Artigos de amarrinho; vestuário e tecidos	8	18
Sapatarias e produtos de couro	9	7
Grupo 4		17
Móveis, eletrodomésticos, aparelhos elétricos e eletrônicos	10	14
Equipamentos de informática	15	3
Grupo 5		11
Joalharias e relojoarias	13	5
Óticas	14	6
Grupo 6		18
Comércio de veículos e motos	17	6
Peças e acessórios	18	12

Tabela 3.8 – Distribuição da amostragem de estabelecimentos em termos das categorias de serviços (MACHADO, 2005)

Principal atividade da empresa	Código atividade	Número de empresas
Hotéis e hospedarias	1	2
Restaurantes, lanchonetes e bares	2	13
Escolas	10	9
Grupo1		17
Escritórios: arquitetos, advogados, contadores, imobiliárias	4	10
Bancos	5	4
Consultórios médicos	6	3
Grupo2		9
Serviços pessoais: salões de beleza, barbearias	3	5
Consultórios odontológicos	7	4

Ainda que de mais difícil estimação, se faz necessário a avaliação dos danos indiretos e intangíveis provocados por inundações. A análise dos danos indiretos provocados por inundação se torna ainda mais relevante quanto mais complexas forem as

relações econômicas, industriais, comerciais e de prestação de serviços em centros urbanos. A interrupção ou aumento do custo da prestação de determinados serviços devido, por exemplo, à interdição de vias de trânsito, transmissão de energia elétrica e atraso na produção industrial, provoca impactos na rede de oferta e demanda dentro de um centro urbano (ALLAIRE, 2018). Espera-se que estes danos sejam mais relevantes em áreas centrais e comerciais se comparado às áreas residenciais, onde os danos diretos são de maior relevância.

A interrupção da produção industrial, do comércio e serviços em áreas urbanas, segundo Allaire (2018) deve ser distinguido entre produção perdida ou produção atrasada, pois a segunda pode muitas vezes não se caracterizar como dano, uma vez que a demanda e o seu valor por consequência podem aumentar após o sinistro. Por outro lado, como demonstrado por Cançado (2009), as opções de transferir, substituir ou adiar o consumo são função da duração da interrupção da rede de oferta e das opções para substituição existentes. Neste caso, após determinado espaço de tempo, o atraso da produção poderá se configurar também como perda da produção.

A problemática das inundações vai muito além dos prejuízos em valores monetários. Como demonstrado por Silva (2016), em uma abordagem sob a ótica das ciências sociais no município de Santo André/SP, foram identificados prejuízos afetivos, emocionais, psicológicos e biológicos aos moradores, além de prejuízos sob a memória social e dinâmica de encontro dos núcleos familiares.

Não obstante, também existem os prejuízos devidos às fatalidades eventualmente ocorridas em eventos de inundação. Devido à dificuldade de estimar o valor monetário de uma fatalidade, muitas vezes é considerado como um dano intangível na literatura. Todavia, a Agência de Proteção Ambiental americana estimou que para valores de 2006 o prejuízo monetário médio de uma vida perdida considerada em análises econômicas gira em torno de U\$7.400.000,00 (desvio padrão de U\$ 4.700.000,00; EPA, 2014).

Neste sentido, é importante ressaltar que a análise de danos provocados por inundações que será apresentada no caso de estudo, não abrange os danos indiretos e intangíveis, ainda que estes apresentem grande relevância para uma análise global dos prejuízos provocados por inundações.

3.3.3. A esperança matemática dos danos anuais provocados por inundações

Uma forma muito utilizada de estimar os danos econômicos provocados por inundações é através da esperança matemática dos danos anuais ou dano médio anual (PARISI, 2012; ABREU, 2019; ALMEIDA, 2020). Neste caso, acrescenta-se a palavra “evitados” pois, no âmbito do estudo de caso a ser apresentado, a implantação do parque irá evitar que esses danos ocorram sobre as residências e estabelecimentos. Estes danos evitados são então um indicador dos benefícios advindos da implantação dos parques, com a utilização do método de função de produção por meio da curva DPS. Vale ressaltar que, após a implantação do parque, ainda são esperados danos causados por inundações, que se traduzem, por exemplo, nos danos provocados à infraestrutura da área pública instalada, entretanto, espera-se que sejam de menor montante se comparado à ocupação residencial e comercial existente na planície de inundação.

O dano médio anual é resultado da combinação entre o dano potencial para eventos críticos de precipitação e suas probabilidades de excedência. É calculado contabilizando a área abaixo da curva de regressão exponencial que relaciona o dano potencial pela probabilidade de excedência. Sua integral representa a esperança matemática do dano anual considerando que estatisticamente o evento de inundação será observado de acordo com sua probabilidade de excedência (PENNING-ROSSWELL, 1977 *apud* NASCIMENTO, 2007).

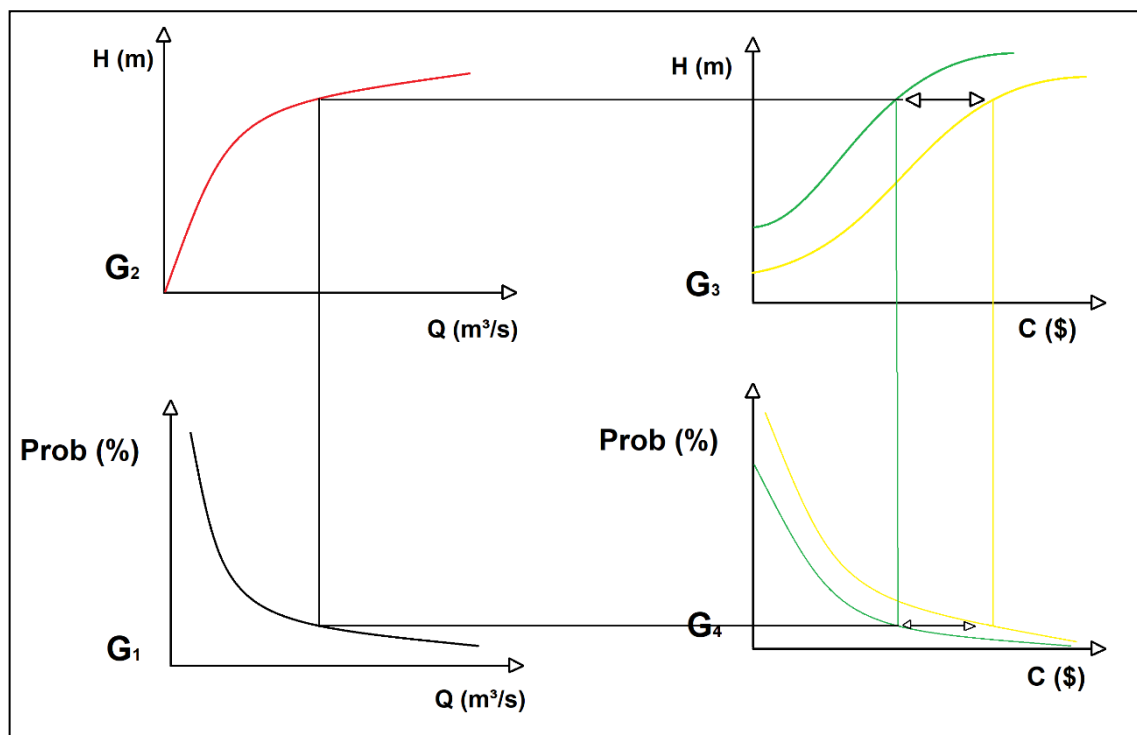
Baseado no trabalho de Penning-Rosswell (1977, *apud* NASCIMENTO, 2007), a Figura 3.2 ilustra a atenuação dos danos provocados por inundação em valores monetários devido à implantação de um parque ciliar. Os gráficos G₁ e G₂ são resultantes da análise hidrológica e hidráulica, representando respectivamente a relação entre as vazões do curso d'água (Q) pela probabilidade de excedência (Prob) e pelo nível d'água atingido (H). Estas variáveis permanecem inalteradas independente da análise com ou sem o parque ciliar, pois supõe-se que o comportamento hidrológico e as características hidráulicas permaneçam as mesmas nos dois cenários, e o dano evitado seja decorrente da remoção dos bens de maior valor da área de inundação – como moradores, residências, estabelecimentos comerciais e de serviços e seus conteúdos. Certamente, poderá haver mudanças na rugosidade do terreno para escoamento com a mudança do uso e ocupação do solo,

entretanto esta variável não foi considerada nesse exemplo visando simplificar a análise ilustrativa.

O gráfico G_3 representa duas curvas DPS hipotéticas que relacionam a profundidade de submersão com o custo ou dano resultante. Sua linha amarela representa os danos associados à submersão de um ponto em área residencial e comercial com bens de maior vulnerabilidade a inundações, enquanto a linha verde representa os danos associados à submersão de um ponto em parque ciliar com cobertura do solo e equipamentos de uso público de menor vulnerabilidade, ou seja, que sofrerão danos menores em caso de inundações. Logo, para uma mesma profundidade de submersão (H), diferentes danos são identificados sob o cenário com e sem o parque.

O gráfico G_4 é uma relação entre a probabilidade de excedência de um evento de inundação e o custo ou dano provocado por este evento. A integral desta função representa a esperança matemática dos danos provocados por inundações em cada caso. A linha amarela representa a função para o caso de ocupação residencial e comercial e a linha verde representa a função com a implantação de um parque ciliar. A diferença entre a integral (área de baixo do gráfico) da linha amarela e a linha verde por consequência representará os danos evitados pela implantação de um parque ciliar. Pode-se concluir que para uma mesma probabilidade de excedência, diferentes danos são identificados sobre o cenário com e sem o parque.

Figura 3.2 – Atenuação dos danos provocados por inundação pela implantação de um parque ciliar (Adaptado de Penning-Rowse & Chatterton, 1977 apud Nascimento, 2007)



Nota: Nos gráficos G₃ e G₄, a linha verde representa o cenário com o parque e a linha amarela representa o cenário sem o parque

No contexto brasileiro não existem dados confiáveis dos danos provocados por inundação em áreas de parques, mesmo no contexto internacional não são de conhecimento do autor trabalhos que buscaram identificar esses danos. O estudo de caso apresentado, concentra-se na estimativa dos danos provocados sobre o cenário sem a implantação do parque, deixando claro que ocorrerão outros danos aqui não estimados em ambos os cenários. Pode-se esperar, por outro lado, que tais danos sejam muito inferiores aos danos sobre setores habitacional, de comércio e de serviços, bem como a infraestrutura viária de uma área de ocupação urbana parcelada.

3.4. O RIBEIRÃO ONÇA

Neste item será feita uma revisão bibliográfica direcionada para a o Ribeirão Onça, que está incluso na Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. Serão apresentados e contextualizados os aspectos político-institucionais, físicos, geográficos e sociais, bem como de governança e gestão da região.

3.4.1. A Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas

A Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas está localizada na região central de Minas Gerais, entre as latitudes 17°15' e 20°25'S e longitudes 43°25' e 44°50'W. Apresenta uma forma alongada e inclinada na direção NO e SE (CBH VELHAS, 2014a). Há mais de três séculos esta Bacia é estudada e descrita por diversos pesquisadores que demonstraram grande interesse pelas suas riquezas naturais. Dentre os primeiros e mais notáveis exploradores, citam-se Fernão Dias, Barão Langsdorff, Peter Lund, Richard Burton, Spix e Martius (PROJETO MANUELZÃO, 2018b). Richard Burton, por exemplo, descreve a beleza do Rio das Velhas em sua foz, ao encontro com o Rio São Francisco,

“Se algum lugar merece o selo da grandeza conferido pela mão da Natureza é essa confluência.” (CBH VELHAS, 2015).

Esta Bacia Hidrográfica é uma das maiores bacias localizadas inteiramente no território mineiro. Teve instituído ainda em 1998 o seu Comitê de Bacia Hidrográfica com grande apoio do Projeto Manuelzão¹, programa vinculado à Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), por meio do Decreto Estadual 39.692 de 29 de junho de 1998 (MINAS GERAIS, 1998).

Totalizando em seu território 51 municípios, 4.406.190 habitantes (IBGE, 2010) e área equivalente a 29.857 km², o Rio das Velhas nasce nas proximidades do município de Ouro Preto e deságua no Rio São Francisco. Apresenta sua foz no Distrito de Barra do Guaicuí, em Várzea da Palma, Minas Gerais (CBHSF, 2018). Por apresentar toda sua extensão em território mineiro, segundo a Lei das Águas (Lei Federal 9433/1997) de recursos hídricos, as águas do Rio das Velhas são consideradas domínio do Estado de Minas Gerais.

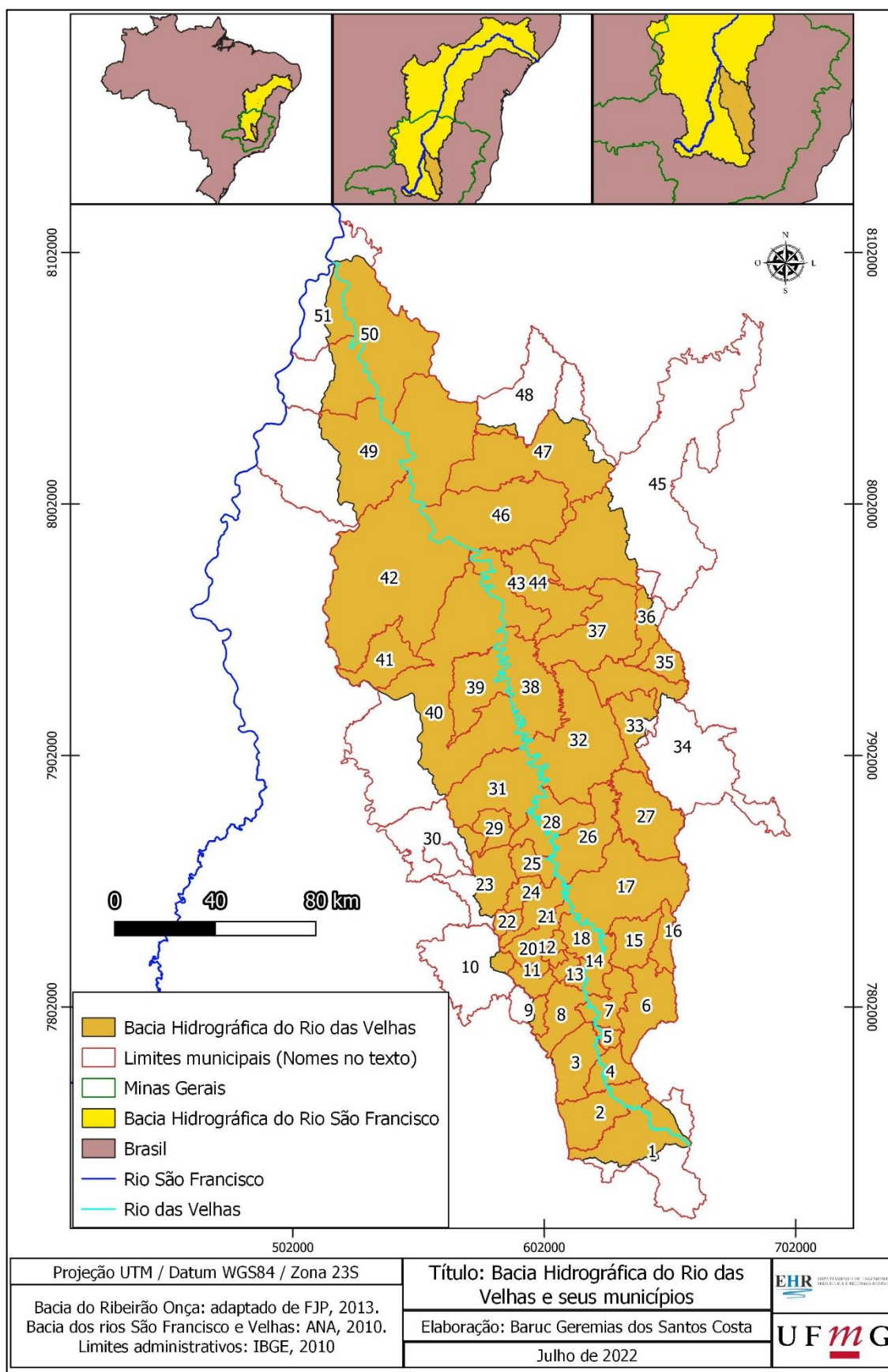
Por sua grande extensão e diversidade de atores presentes, a Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas teve que sofrer subdivisões que contribuem para sua gestão e

¹ O Projeto Manuelzão nasceu da vontade de professores e alunos da UFMG em tratar as causas das doenças resultantes da degradação ambiental e falta de saneamento adequado dentro da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. Criado em 1997 por iniciativa de professores da Faculdade de Medicina da UFMG, seu nome se deve ao vaqueiro Manuel Nardi, eternizado na escrita de Guimarães Rosa (PROJETO MANUELZÃO, 2018a).

organização. Por meio do Plano Diretor de Recursos Hídricos, aprovado em 2015 pelo seu Comitê de Bacia, a Bacia foi dividida em Alto, Médio Alto, Médio e Baixo Rio das Velhas (CBH VELHAS, 2014a). Conforme apresentado na Figura 3.3, sua extensão abrange os seguintes municípios:

- Alto rio das Velhas: compreende os municípios de Belo Horizonte (8), Contagem (9), Itabirito (2), Nova Lima (3), Ouro Preto (1), Raposos (5), Rio Acima (4), além de dividir com a região de jusante os municípios de Caeté (6) e Sabará (7).
- Médio Alto rio das Velhas: Além dos municípios divisores com a região de montante, compreendem esta região os municípios: Capim Branco (22), Confins (19), Esmeraldas (10), Funilândia (25), Lagoa Santa, Matozinhos (21), Nova União (16), Pedro Leopoldo (20), Prudente de Moraes (24), Ribeirão das Neves (11), Santa Luzia (14), São José da Lapa (12), Sete Lagoas (23), Taquaraçu de Minas (15), e Vespasiano (13). Além de dividir com a região de jusante os municípios de Baldim (26), Jaboticatubas (17) e Jequitibá (28).
- Médio Baixo Rio das Velhas: Além dos municípios divisores compartilhados com a região de montante, compreendem esta região os municípios: Araçá (29), Conceição do Mato Dentro (34), Congonhas do Norte (33), Cordisburgo (31), Corinto (42), Curvelo (40), Datas (36), Gouveia (37), Inimutuba (39), Monjolos (44), Paraopeba (30), Presidente Juscelino (38), Presidente Kubitschek (35), Santana do Pirapama (32), Santana do Riacho (27) e Santo Hipólito (43). Além de dividir com a região de jusante os municípios de Augusto de Lima (46), Buenópolis (47), Corinto, Diamantina (45), e Morro da Garça (41).
- Baixo rio das Velhas: Além dos municípios divisores compartilhados com a região de montante, compreendem esta região os municípios: Joaquim Felício (48), Lassance (49), Pirapora (51) e Várzea da Palma (50).

Figura 3.3 – A Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas



3.4.2. O Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas

O Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (CBH Velhas) foi criado pelo Decreto Estadual 39.692, de 29 de junho de 1998 (CBH VELHAS, 2014a). Para sua fundação houve importante apoio do Projeto Manuelzão que já atuava na Bacia Hidrográfica (PROJETO MANUELZÃO, 2018). O Projeto Manuelzão, por meio dos comitês Manuelzão², estimulou a participação da sociedade de maneira organizada na Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas em debate de temáticas sobre saneamento, meio ambiente e recursos hídricos (PROJETO MANUELZÃO, 2018).

O CBH Velhas instituiu em agosto de 2004 os Subcomitês de Bacia Hidrográfica (SCBH), aproveitando os atores já participantes dos comitês Manuelzão. Por meio da Deliberação Normativa CBHVELHAS Nº 02/2004, os SCBH's são definidos como órgãos vinculados ao CBH Velhas, com atribuições consultivas e propositivas e atuação territorial orientada pelas sub-bacias hidrográficas da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (CBH VELHAS, 2004). Dentre as competências dos subcomitês, estão:

- Acompanhar a elaboração e implementação do Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica do rio das Velhas em sua área de atuação, prioritariamente no que diz respeito às atividades de preservação, conservação e recuperação hidroambiental da bacia, formulando sugestões ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas para o cumprimento de seus objetivos e para suas atualizações;
- Pronunciar-se, mediante solicitação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, sobre as questões relacionadas aos recursos hídricos em sua área de atuação;
- Propor ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas o exame e a apreciação de questões relacionadas aos recursos hídricos em sua área de atuação.

²O Projeto Manuelzão estruturou forte parceria com a sociedade, usuários e governos ao longo da Bacia através dos comitês Manuelzão, criados em 2001. Os comitês Manuelzão “são fóruns de discussão, elaboração e execução de metas relativas à gestão das águas, à educação ambiental e, também, participam da formulação e avaliação de políticas públicas por bacia hidrográfica. Eles buscam a participação de organizações da sociedade civil, do poder público e da iniciativa privada” e atualmente são conhecidos como núcleos Manuelzão (PROJETO MANUELZÃO, 2014)

Atualmente, existem 18 SCBH's espalhados pela Bacia, correspondentes a 18 das 23 Unidades Territoriais Estratégicas (UTE's) que foram instituídas pelo CBH Velhas por meio do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (CBH VELHAS, 2018).

3.4.3. A Unidade Territorial Estratégica do Ribeirão Onça

O Ribeirão Onça é localizado na região do Alto Rio das Velhas e dá o nome à Unidade Territorial Estratégica Onça (UTE Onça; CBH VELHAS, 2018). Com uma área total de 221,49 km², a UTE Onça drena 50,3% da área do município de Belo Horizonte e 27,0% do município de Contagem. Faz limite ainda com os municípios de Ribeirão das Neves a norte, Santa Luzia a nordeste e Sabará a leste (Figura 3.4). Seu corpo hídrico principal, o Ribeirão Onça, ainda é conhecido por ser a principal fonte de poluição hídrica do Rio das Velhas (CBH VELHAS, 2014b).

Por estar localizado em uma das maiores metrópoles do Brasil, sua relevância socioambiental e econômica se torna ainda maior devido à presença de uma cachoeira com depressão altimétrica de aproximadamente 30 metros.

Esta queda-d'água é conhecida por lideranças e moradores vizinhos como a Primeira Cachoeira do Ribeirão Onça. Está localizada nas coordenadas 43° 54' 43,873" Oeste e 19° 50' 43,990" Sul (Datum Sirgas 2000 UTM23S), entre os bairros Novo Aarão Reis, Ouro Minas e Vila São Gabriel, logo a jusante do trecho canalizado marginal à Avenida Risoleta Neves. A partir dela, está prevista a implantação pela Prefeitura de Belo Horizonte de um parque linear, que se estenderá por 5,53 quilômetros até alcançar a Estação de Tratamento de Esgotos do Ribeirão Onça – ETE ONÇA (PBH, 2014b). A localização do Parque, que acompanha o curso d'água dentro da UTE Onça, é apresentado na Figura 3.5.

Apesar de em seu diagnóstico propositivo ser intitulado como “Parque Linear do Ribeirão Onça”, foi relatado por lideranças comunitárias das proximidades do Ribeirão Onça que a expressão “parque linear” provoca a impressão em leigos de um parque construído de maneira retilínea (COSTA, 2018). Ainda que parque linear na literatura científica não represente um parque retilíneo e, ciente que um parque linear em zona

riparia pode ser sumarizado como um parque ciliar, opta-se a partir deste ponto em referir ao parque como Parque Ciliar do Ribeirão Onça.

O Ribeirão Onça é o principal curso d'água da UTE de mesmo nome, sendo fruto da junção entre o Ribeirão Pampulha e o Córrego Cachoeirinha nas proximidades da Estação de Integração ônibus/metrô São Gabriel. Os principais cursos d'água da UTE, além dos já mencionados, são o Ribeirão do Cabral ou Sarandi, Córrego Ressaca, Córrego Cachoeirinha, Córrego Engenho Nogueira, Córrego Vilarinho e Córrego do Isidoro.

Segundo o Plano Diretor de Recursos Hídricos do Rio das Velhas (CBH, 2014a), o Ribeirão Onça apresenta vazão média de longo prazo de 5,77 m³/s. A vazão mais restritiva, utilizada como vazão mínima de referência para outorgas ($Q_{7,10}$) equivale a 1,53 m³/s e a vazão outorgável no curso d'água principal equivale a 30% da $Q_{7,10}$, ou 0,459 m³/s, conforme estabelecido pela política estadual de recursos hídricos (MINAS GERAIS, 1999).

Em relação à qualidade das águas do Ribeirão Onça, suas águas são classificadas como Classe 3 conforme classificação do CONAMA, o que significa que as águas são próprias para (i) consumo humano após tratamento convencional ou avançado; (ii) irrigação; (iii) pesca; (iv) recreação de contato secundário; (v) dessedentação de animais; (vi) navegação e (vii) harmonia paisagística. A definição de todas as classes conforme resolução nº 357 do CONAMA (BRASIL, 2005) está apresentada na Figura 3.6.

Figura 3.4 – Unidade Territorial Estratégica do Ribeirão Onça (CBH VELHAS, 2014b)

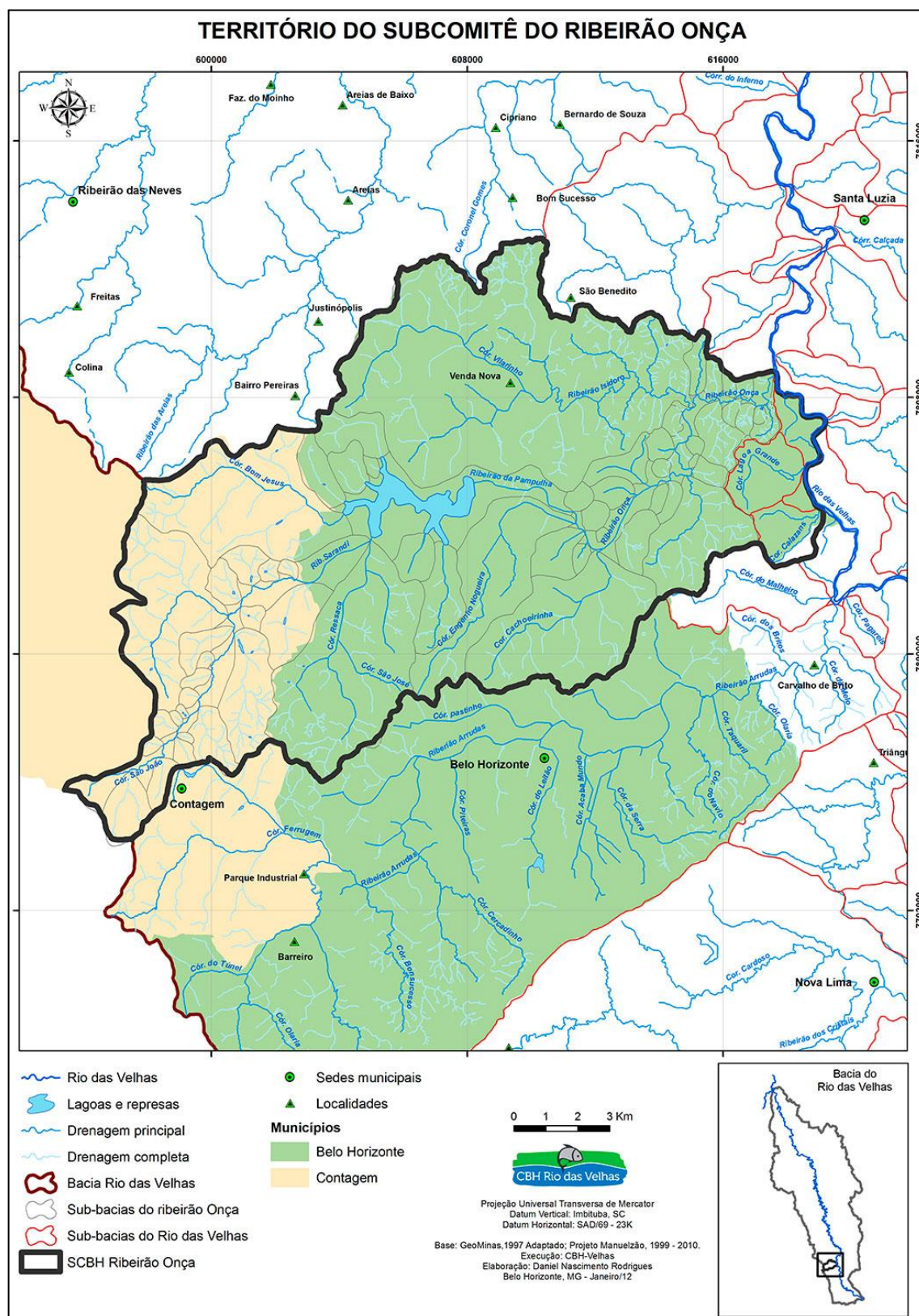


Figura 3.5 – Localização do Parque Ciliar do Ribeirão Onça dentro da UTE Onça

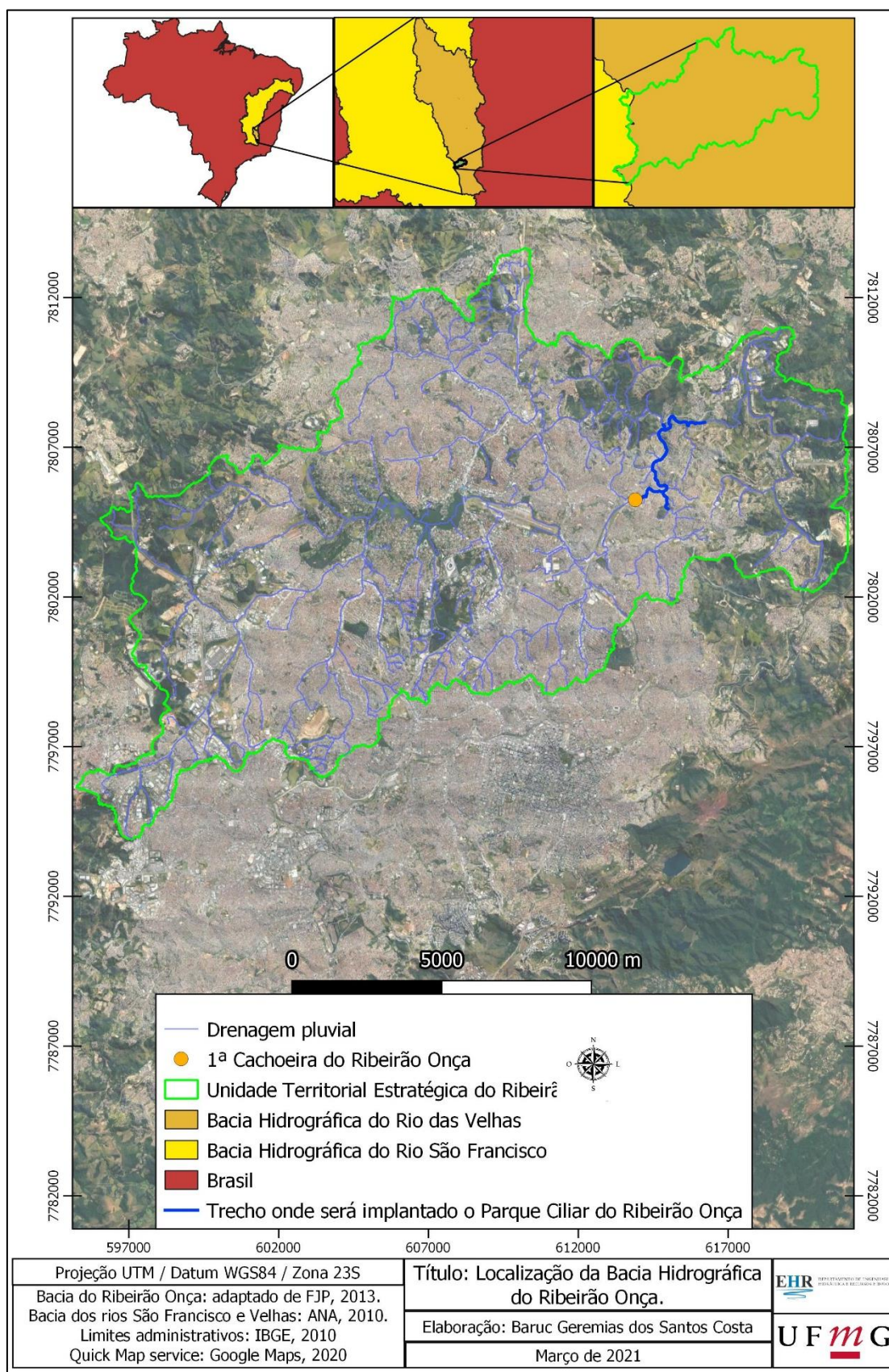


Figura 3.6 – descrição classes de recursos hídricos conforme resolução 357 CONAMA (CBH VELHAS, 2014a; BRASIL, 2005)

CLASSE ESPECIAL	Classe mandatória de Unidades de Conservação de proteção integral - Consumo humano após desinfecção
   	      
CLASSE 1	Consumo humano após tratamento simplificado
  	      
CLASSE 2	Consumo humano após tratamento convencional
  	      
CLASSE 3	Consumo humano após tratamento convencional ou avançado
	      
CLASSE 4	Navegação
	 
Legenda:  Preservação dos ambientes aquáticos  Recreação de contato primário (natação, esqui-aquático, mergulho)  Abastecimento para consumo humano  Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas  Recreação de contato secundário  Pesca  Irrigação  Dessedentação de animais  Navegação  Aquicultura  Harmonia paisagística	

3.4.4. O Plano Diretor de Belo Horizonte

O plano diretor do município de Belo Horizonte, promulgado em 1996 pela lei municipal 7165/1996 já apresentava a preocupação com a drenagem urbana, indicando diretrizes para sua execução e apresentando sucintamente o Plano Diretor de Drenagem Urbana em seu artigo 27 (BELO HORIZONTE, 1996). Segundo Aroeira (2010), os fatores que motivaram essa preocupação com a gestão das águas urbanas foi:

“(...) não cabia mais a insistência na opção pela canalização, pela encapsulação dos cursos d’água em nossa cidade. O elevado custo para as soluções convencionais – não que as soluções alternativas também não tenham um custo elevado, mas, numa análise de custo-benefício, resultam melhores efeitos – conduz à conclusão de que, se temos que gastar muito, que gastemos bem e com resultados mais adequados para

a sociedade. Isso, junto à crise de funcionamento do sistema convencional, leva à constatação de que a canalização de córregos não vinha resolvendo o problema de mitigação ou de minimização dos riscos de inundação em nossa cidade.”

Ainda segundo Aroeira (2010), o plano diretor de drenagem Belo Horizonte foi dividido em duas fases, a primeira consistiu em (i) um diagnóstico das bacias hidrográficas da cidade, contemplando um cadastro dos sistemas de macro e micro drenagem, com a identificação de patologias estruturais das galerias municipais e (ii) na implantação de um sistema georreferenciado para a drenagem urbana do município.

A segunda fase está ligada ao programa DRENURBS, Programa de Recuperação Ambiental de Belo Horizonte, que visava o tratamento de fundos de vale e preservação de cursos d'água urbanos. Em seu âmbito foi realizado um trabalho de modelagem hidrológica e hidráulica e a implementação de um programa de monitoramento da qualidade das águas onde foram feitas intervenções de recuperação ambiental.

Esta segunda etapa, iniciada em 2007, consistiu na (i) modelagem matemática, hidrológica e hidráulica do Sistema de Macrodrenagem das Bacias Hidrográficas dos Ribeirões Arrudas e Onça; (ii) Identificação das áreas potencialmente suscetíveis a inundações, construindo a Carta de Inundações de Belo Horizonte; (iii) expansão e atualização do SIG-Drenagem, disponibilizando o sistema intranet e capacitando os técnicos para a sua atualização permanente; (iv) monitoramento da qualidade das águas nas bacias dos ribeirões Arrudas e Onça e (v) implantação do Sistema de Monitoramento hidroclimático nas bacias do Arrudas e Onça (PBH, 2016).

Recentemente o município de Belo Horizonte elaborou um novo Plano Diretor através da lei 11.181/2019, no qual atualizou-se o zoneamento municipal com as seguintes zonas e áreas: (i) Zonas de preservação ambiental, divididas entre PA1, PA2 e PA3, de acordo com sua relevância; (ii) Zonas de ocupação moderada; (iii) Zonas de ocupação preferencial; (iv) Zonas especiais de interesse social; (v) Áreas especiais de interesse social; (vi) Áreas de centralidade; (vii) Áreas de grandes equipamentos; (viii) Áreas de diretrizes especiais; (ix) Áreas de conexões ambientais; (x) Áreas de projetos viários prioritários.

Em consonância com as práticas contemporâneas de drenagem urbana, foi apresentado pela primeira vez o conceito de “conexões ambientais” dentro do município. Estas conexões verdes segundo o artigo 112 do Plano Diretor de Belo Horizonte

“São classificadas como áreas de conexões ambientais as porções do território municipal predominantemente lineares, cuja delimitação tem como objetivo a conformação de uma rede de qualificação ambiental voltada para a proteção de cursos d’água e nascentes e prevenção de processos erosivos, bem como para a disponibilização de áreas vegetadas e permeáveis e espaços propícios ao exercício de atividades de esporte e lazer.” (PBH, 2019).

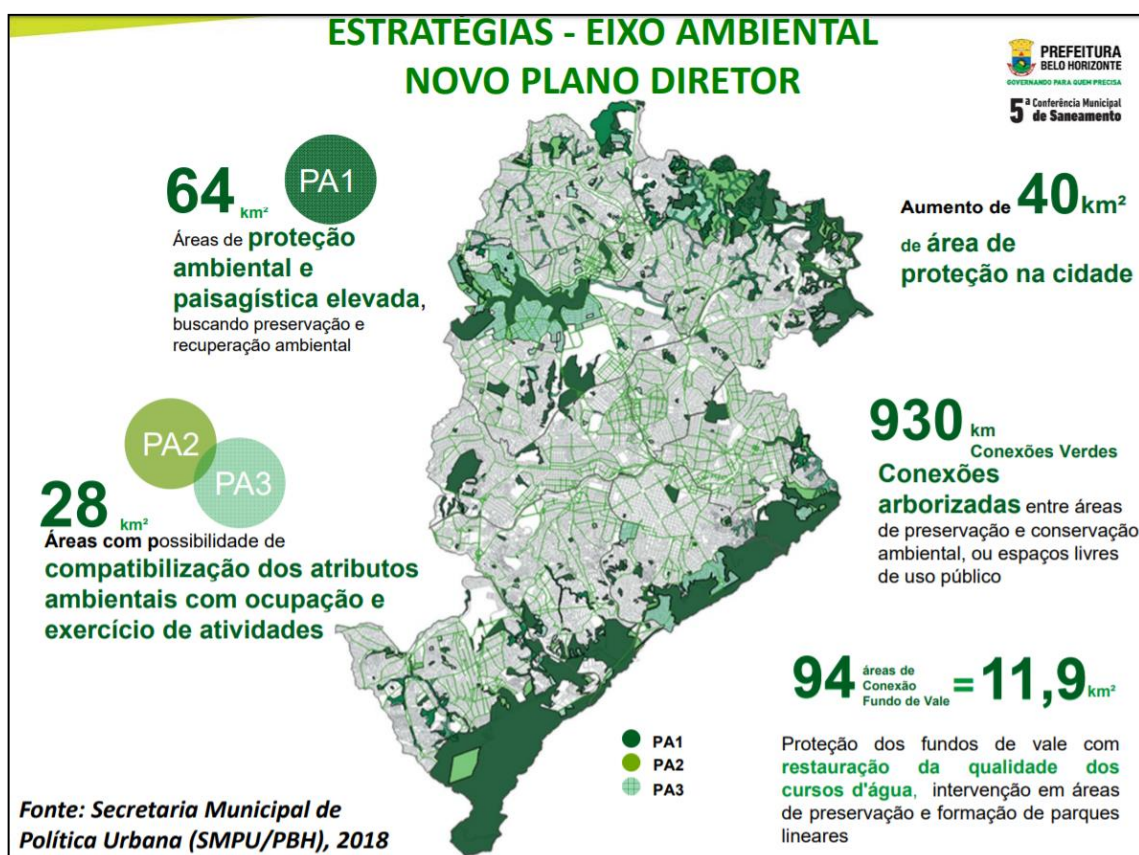
As estratégias para efetivação dos objetivos das conexões ambientais são previstas pelo Plano Diretor, (i) a definição de parâmetros urbanísticos específicos e (ii) a execução de obras públicas comprometidas com a qualificação ambiental, especialmente no que diz respeito à proteção de cursos d’água e à conformação de corredores verdes.

As conexões ambientais são divididas entre: (i) conexões verdes: vias que interligam zonas de preservação ambiental e áreas de diretrizes especiais ambientais, visando a melhoria da arborização urbana e à formação de corredores ecológicos; e (ii) conexões de fundo de vale: fundos de vale onde há necessidade de saneamento ambiental amplo, visando à restauração da qualidade dos cursos d’água, à necessidade de contenção de cheias, à recuperação de ambientes hídricos e à intervenção em áreas de preservação permanente, de forma a viabilizar a implantação de parques lineares (PBH, 2019).

Em decorrência disto, pela primeira vez em lei municipal foi vetado o tamponamento de córregos em áreas de conexões de fundo de vale e sugerida a manutenção do leito natural. Algumas estratégias do Eixo Ambiental do novo Plano Diretor do município são apresentadas na Figura 3.7. Conforme Plano Diretor de Belo Horizonte, o local de implantação do Parque Ciliar do Ribeirão Onça também se caracteriza como conexão de fundo de vale (PBH, 2019), uma vez que está em torno de um dos maiores cursos d’água do município.

Essas mudanças do conceito de drenagem urbana já vinham sendo implementadas no município de Belo Horizonte por meio, por exemplo, do DRENURBs, que teve seu início nos anos 2000 (PBH, 2016). O DRENURBs foi objeto de estudos de diversos pesquisadores, devido a sua inovação ao modo de gerir e buscar a recuperação ambiental das bacias hidrográficas de Belo Horizonte (eg. COSTA; BONTEMPO; KNAUER, 2008; MACEDO, 2009; MEDEIROS, 2009; EVANGELISTA, 2011).

Figura 3.7 – Estratégias para o eixo ambiental do Novo Plano Diretor (PBH, 2019)



3.4.5. O Programa de Recuperação Ambiental de Belo Horizonte – DRENURBs

O programa de Recuperação ambiental de Belo Horizonte (DRENURBs) foi o primeiro programa resultante do Plano Diretor de Drenagem, atribuindo já no início do século uma nova visão sobre a relação entre a população e os cursos d'água do município. O programa foi elaborado para ser implementado em fases, tendo como metas a despoluição de cerca de 200 km de cursos d'água, pertencentes à 73 córregos e 47 bacias hidrográficas, o que correspondia a 30% do número de córregos em leito natural (PBH, 2016).

Dentre as intervenções previstas, destacam-se a interceptação de esgotos, o tratamento e recuperação das margens dos córregos, a implantação de bacias de retenção, conservação de nascentes, recomposição da vegetação, reassentamento de famílias que vivem em áreas de risco, promoção da educação ambiental e mobilização social nas proximidades das áreas de intervenção (PBH, 2016).

Segundo palavras do então gerente executivo do DRENURBS, as principais diretrizes do programa são:

“o tratamento integrado dos problemas sanitários e ambientais; o entendimento de que não dá para atuarmos de forma estanque e que os resultados somente virão se enxergarmos os problemas de forma completa e também buscarmos atuar de forma integral e integrada na sua solução; a estocagem de águas fluviais, que é o conceito oposto ao da rápida evaporação das águas urbanas; a integração dos cursos d’água na paisagem urbana em contraposição, também, à canalização; adoção de técnicas alternativas de drenagem que privilegiem mecanismos de infiltração no solo, por exemplo; e os mecanismos de participação popular.” (AROEIRA, 2010, p. 228-229).

A orientação geral para elaboração dos projetos de intervenção no âmbito do DRENURBS foi que o controle de cheias deveria priorizar a retenção de água, evitando-se o revestimento de calhas dos cursos d’água e o consequente incremento das velocidades de escoamento.

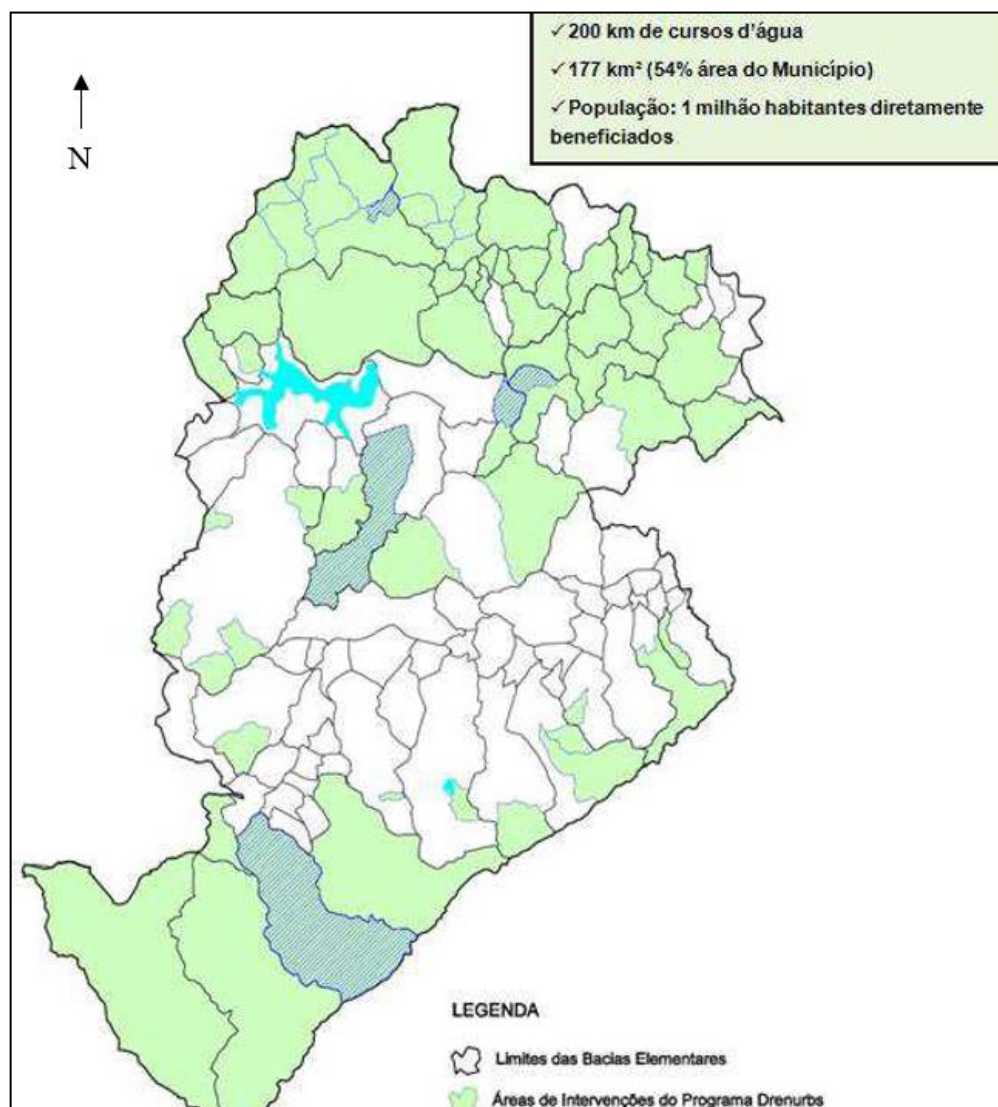
A primeira etapa do programa, concluída em 2011, abrangeu as intervenções em 5 bacias hidrográficas: (i) Sub-bacia do Córrego da Avenida Nossa Senhora da Piedade; (ii) Sub-bacia do Córrego 1º de Maio; (iii) Sub-bacia do Córrego da Avenida Baleares; (iv) Sub-bacia do Córrego Engenho Nogueira; (v) Bacia do Córrego Bonsucesso. Esta primeira etapa foi financiada com empréstimos realizados através do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). Ações não estruturais como a formação de Núcleos de Alertas de Chuvas (NAC), modelagem hidráulica e hidrológica das Bacias Hidrográficas do Ribeirão Onça e Ribeirão Arrudas e cadastro da infraestrutura de drenagem através do SIG Drenagem, também são exemplos de ações que vem sendo implementadas e aprimoradas através do DRENURBS desde então.

A implantação do DRENURBS enquanto concepção inovadora para tratamento dos cursos d'água e bacias hidrográficas de Belo Horizonte apresenta também como um de seus pilares a compreensão e participação da sociedade civil, visando a criação de uma nova percepção e apropriação do território pelos moradores. Isto se justifica ao passo em que a complexidade dos problemas relativos à recuperação e conservação dos espaços urbanos exige o estímulo à sinergia entre os diferentes atores como sociedade civil, poder público e iniciativa privada. Neste sentido um plano específico para desapropriação e realocação de famílias foi criado para mitigar os impactos negativos para a população afetada (PBH, 2016).

A Figura 3.8 apresenta as bacias integrantes do programa DRENURBS e as áreas de intervenção da primeira etapa do programa em Belo Horizonte, abrangendo 5 sub-bacias dentro das Unidades Administrativas Pampulha, Norte, Oeste e Barreiro. Na Tabela 3.9 é apresentado o resumo das intervenções realizadas na primeira etapa do DRENURBs (PBH, 2016).

Dentro do escopo do DRENURBs, atualmente também conhecido como Programa Nascentes, está previsto a implantação do Parque Ciliar do Ribeirão onça (PBH, 2018). Neste sentido, dar-se-á maior enfoque para ele a partir deste ponto do trabalho.

Figura 3.8 – Bacias integrantes do programa DRENURBS (adaptado de PBH, 2016)



Legenda: Sem escala

Tabela 3.9 – Resumo das intervenções da primeira etapa do DRENURBS

Bacias de intervenção					
Córregos	1º de maio	Balearés	da Av. Nossa. Srª da Piedade	Engenho Nogueira	Bom sucesso
Localização (Regionais)	Norte	Venda Nova	Norte	Pampulha e Noroeste	Barreiro e Oeste
População beneficiada	2.983	3.741	6.713	19.641	47.213
Desapropriação/indenizações (famílias)	16	88	175	59	802
Início da execução das obras	Jan./2007	Fev./2007	Fev./2007	Dez./2008	Agosto/2008
Término	Abr./2008	Mai./2008	Mai./2008	Dez./2011	Dez/2011 (1ª etapa)

Bacias de intervenção					
Córregos	1º de maio	Baleares	da Av. Nossa. Sr^a da Piedade	Engenho Nogueira	Bom sucesso
Valor das obras (10 ⁶ R\$)	4,6	5,5	14,8	21,8	189,6
Valor das desapropriações/ indenizações (10 ⁶ R\$)	1,23	2,3	8,2	2,8	29,9

Fonte: PBH, 2016

4. ESTUDO DE CASO: O PARQUE CILIAR DO RIBEIRÃO ONÇA

Segundo o Diagnóstico Propositivo (PBH, 2014b), o Parque Ciliar do Ribeirão Onça será implantado entre os limites das regionais norte e nordeste do município de Belo Horizonte e compreenderá os bairros Ouro Minas, Novo Aarão Reis, Antônio Ribeiro de Abreu, Belmonte, Ribeiro de Abreu, Vila Ouro Minas, Vila São Gabriel, Vila Antônio Ribeiro de Abreu, e pequenos trechos dos bairros Nazaré, Novo Tupi, Lajedo, Granja Werneck e Maria Teresa (Figura 4.1).

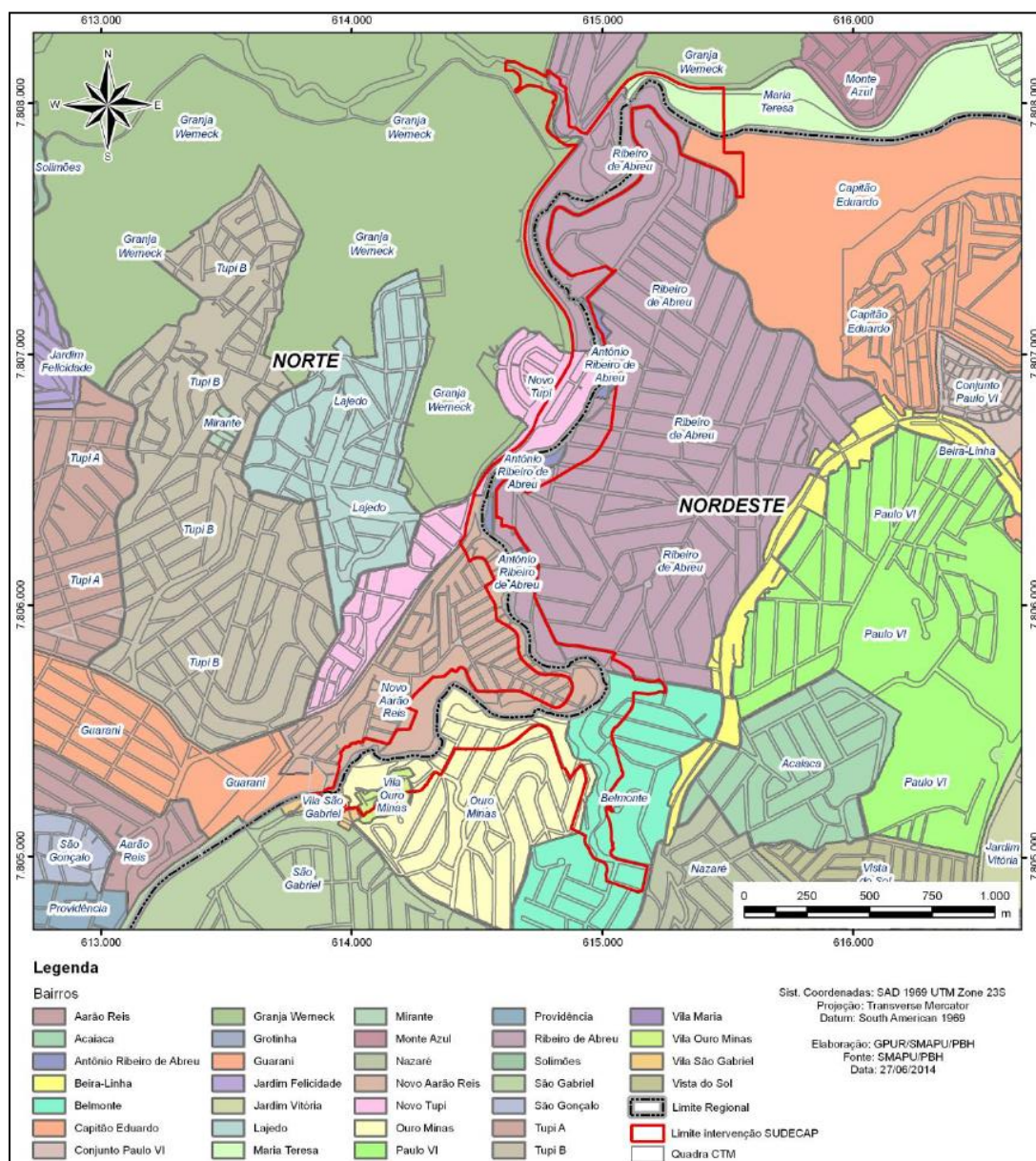
Todos os estudos realizados no âmbito do Parque, adotaram a Carta de Inundação de Belo Horizonte como referência para determinação da mancha de inundação (PBH, 2009a). Porém, deve-se frisar a desatualização da carta de inundações. Ademais, a mancha de inundação com tempo de retorno de 100 anos, usada para delimitação dos limites do parque, não passou por calibração por meio de dados de inundação, justamente devido à ausência desses dados. Para a validação e calibração foram utilizadas entrevistas com os moradores, indicando onde já havia sido inundado no passado recente. Isto provoca distorções na mancha pois a inundação observada pelos moradores não necessariamente representa a inundação de TR de 100 anos.

Realizada entre 2006 e 2007 pela Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos (COBRAPE), a carta de inundações teve como base os dados do Sistema de Macrodrenagem de Belo Horizonte e é resultado de estudos de modelagem hidrológica e hidráulica computacional. Ao longo dos anos, diversos fatores podem modificar a mancha de inundação, dentre os quais, citam-se: o aumento da ocupação e crescimento da malha urbana de Belo Horizonte; o aumento do índice de impermeabilização sobre a bacia; assoreamento; e mudanças da seção do canal do curso d'água. Além destes, por haver apenas monitoramento limnigráfico (nível d'água) e não fluviográfico (vazões), existe considerável incerteza no modelo hidráulico e hidrológico que foi utilizado para delimitação das manchas de inundação do município.

Ademais, devido às recorrentes inundações dos Córrego Cachoeirinha, Ribeirões Pampulha e Onça, a Prefeitura de Belo Horizonte prevê obras de melhorias na macrodrenagem destes trechos. Estas obras apresentam grande potencial de influenciar no pico de hidrogramas de cheia na área de implantação do Parque e, por

consequência, aumentar a mancha de inundação apresentada na Carta de Inundação de Belo Horizonte.

Figura 4.1– Limites de intervenção do Parque Ciliar do Ribeirão Onça (PBH, 2014b)



Uma visão geral do parque é apresentada na Figura 4.2, Figura 4.3 e Figura 4.4, de montante para jusante, a partir da localização da Primeira Cachoeira do Ribeirão Onça. Ressalta-se nas figuras também que o trecho do parque está contido na Unidade Territorial Estratégica do Ribeirão Onça (UTE Ribeirão Onça), que se trata de uma subdivisão da bacia hidrográfica realizada pelo CBH Velhas. Nos subitens é dado destaque para alguns aspectos sociodemográficos da área de implantação do parque. O histórico de ocupação da área, a análise sociodemográfica e os dados de

habitação e moradia apresentados neste capítulo foram retirados do Diagnóstico propositivo do Parque Linear do Ribeirão Onça, de autoria da Prefeitura de Belo Horizonte (PBH, 2014b).

Figura 4.2 – Futura localização do Parque do Ribeirão Onça (trecho alto) (alterado de PBH, 2014b).

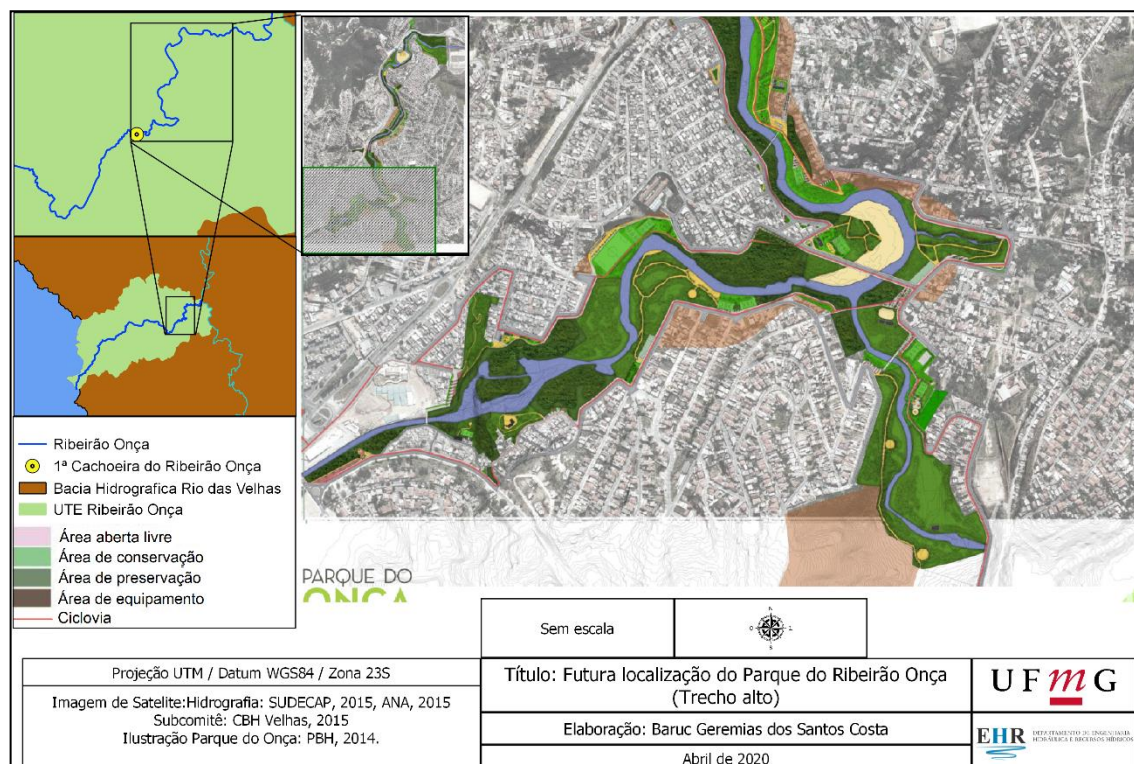


Figura 4.3 – Futura localização do Parque do Ribeirão Onça (trecho médio) (alterado de PBH, 2014b).

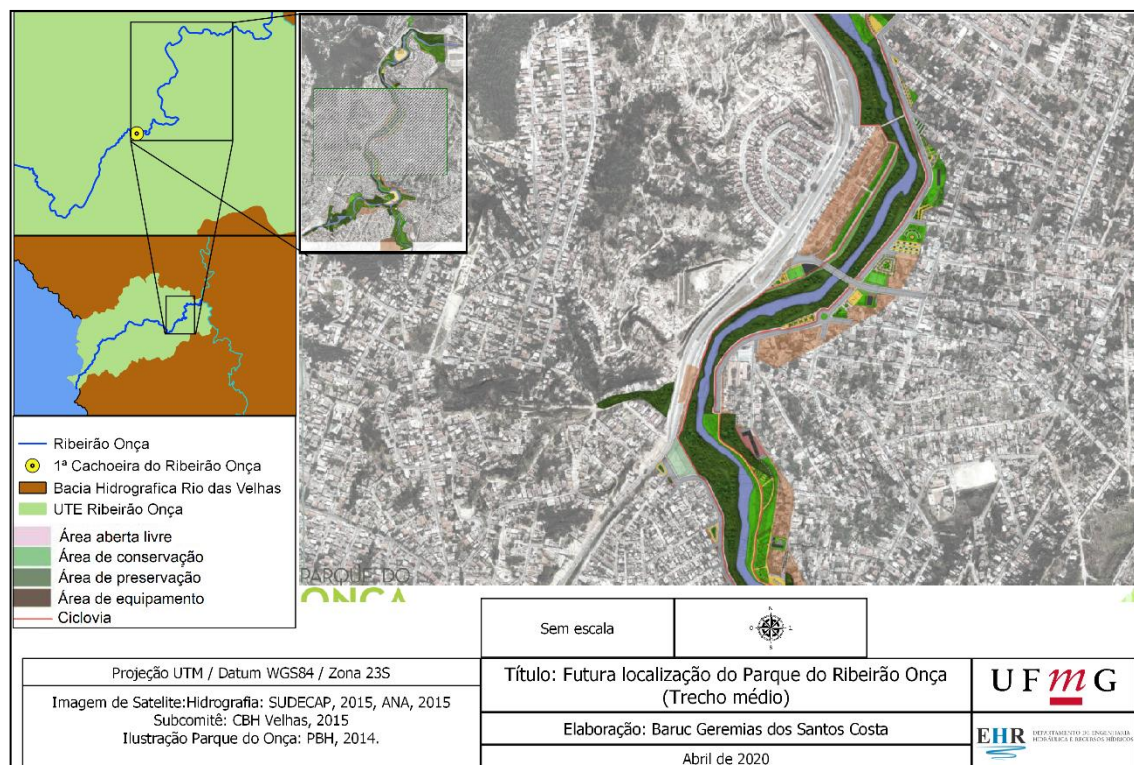
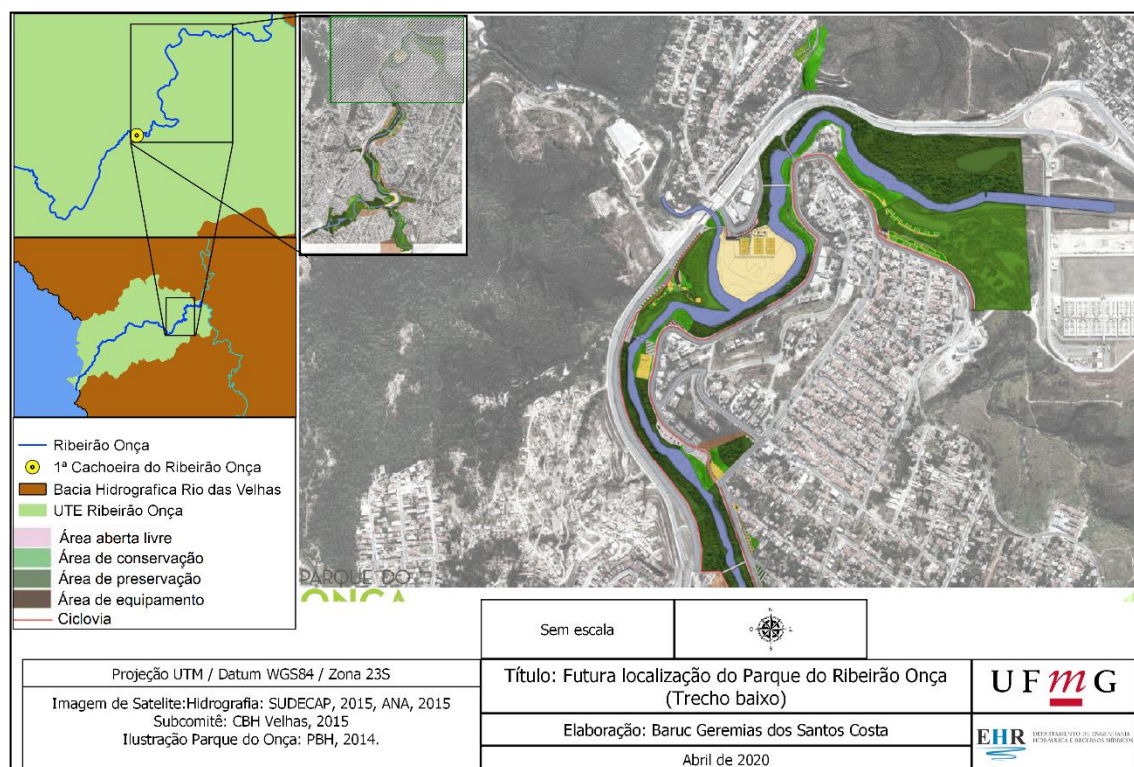


Figura 4.4 – Futura localização do Parque do Ribeirão Onça (trecho baixo) (PBH, 2014b).



4.1. Histórico de ocupação da área – Diagnóstico propositivo do Parque

De acordo com o diagnóstico propositivo de implantação do Parque Ciliar do Ribeirão Onça (PBH, 2014b), a história de como se deu a ocupação do solo desta região deve ser ressaltada por suas características peculiares se comparadas às regiões centrais de Belo Horizonte. Antes da implantação de Belo Horizonte, em 1897, a área de intervenção já era ocupada por fazendas, e chácaras que formavam os povoados no entorno do Ribeirão Onça e Córrego Gorduras. Essas fazendas foram importantes fornecedoras de materiais de construção para as obras de implantação de BH, bem como forneceram alimentos como carne, leite e queijo.

Após a implantação e com o crescimento da capital, as fazendas foram se transformando em pequenos bairros e vilas, implantados ainda que sem planejamento, com moradias próximas às margens dos cursos d'água ou encostas íngremes, suscetíveis às inundações ou escorregamentos de terra.

Diante da crescente demanda por moradia na região, a Prefeitura, os Governos Estadual e Federal deram início a programas habitacionais que incluíram a construção dos conjuntos habitacionais Novo Aarão Reis, Antônio Ribeiro de Abreu e Novo

Belmonte (atual bairro Ouro Minas). Muitos dos conjuntos implantados se deram a partir da doação de terras pelo poder público e a construção foi realizada com recursos dos próprios moradores que organizavam mutirões. Paralelamente, o poder público iniciou um processo de regularização dos loteamentos clandestinos para garantir às comunidades acesso aos serviços de saneamento básico, pavimentação e energia elétrica (PBH, 2014b).

Atualmente, o padrão de ocupação da área é, em geral, caracterizado por ocupações de terrenos de grande declividade ou muito próximo à calha dos cursos d'água, sendo que quanto mais próximo do leito dos corpos hídricos, edificações mais precárias são identificadas. Trata-se de edificações predominantemente residenciais, de um a dois pavimentos e baixo padrão construtivo. Também se verifica a presença de um conjunto habitacional no Bairro Novo Tupi e um no Ribeiro de Abreu, formado por 50 prédios (PBH, 2014b).

São identificados poucos pontos isolados de concentração de comércio e serviços na área de intervenção, normalmente coincidentes com as esquinas. A malha viária da região é bastante diversa, com vias implantadas acompanhando as curvas de nível, em meia encosta, e outras perpendiculares às curvas de nível. Nota-se ainda que em pontos da área de intervenção do parque, nas proximidades com o curso d'água, o sistema viário é bruscamente interrompido. Isto contribui para a ocupação irregular próximo às margens dos córregos (PBH, 2014b).

4.2. Movimentos e participação social

O Conselho Comunitário Unidos pelo Ribeiro de Abreu (COMUPRA) é um dos movimentos sociais que atuam na área de implantação do Parque. O Diagnóstico Propositivo do Parque Linear do Ribeirão Onça apresentou intensa participação social e apoio do COMUPRA (PBH, 2014b; COSTA, 2018)

Em entrevista com um dos fundadores do COMUPRA, o Sr. Itamar de Paula Santos, Costa (2018) obteve informações relevantes relativas à história e luta social dos moradores das redondezas da 1ª Cachoeira do Ribeirão Onça. As principais declarações informadas pelo Sr. Itamar, são explicitadas abaixo:

- Na década de 1970 era possível nadar e pescar no Ribeirão Onça, a jusante da primeira cachoeira.

Os primeiros moradores do bairro relatam que aprenderam a nadar e pescar nas águas do Ribeirão Onça, além de terem usado para diversas finalidades domésticas e de lazer. Entretanto, ao longo dos últimos 50 anos, devido a expansão da malha urbana de Belo Horizonte e Contagem, desacompanhadas de infraestrutura de moradia e saneamento básico adequado, os usos múltiplos da água nesta região da bacia hidrográfica foram inviabilizados.

- O COMUPRA iniciou-se com uma horta comunitária e é idealizado como uma, onde o tempo e o respeito pelas leis da natureza são fundamentais, e os moradores são responsáveis pelo seu cuidado e colhem seus frutos ao longo do tempo.

Atualmente o COMUPRA dialoga diretamente com atores governamentais e ocupa uma área cedida pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) às margens do Ribeirão Onça. A entidade oferece apoio jurídico e representativo para a população, tendo participado ativamente de ações em prol de moradia digna, infraestrutura urbana, saneamento e meio ambiente.

- O movimento entende que para o meio ser ambientalmente saudável, deve ser primeiro, socialmente equilibrado e justo.

O COMUPRA, já no início dos anos 2000, identificou que a carência de moradia digna nos bairros à montante do bairro Ribeiro de Abreu é uma das pressões iniciais responsáveis pelo impacto de poluição do curso d'água com esgotos domésticos. Deste modo, no início da década de 2010 sua área de atuação foi expandida para além dos limites do Ribeiro de Abreu e, além disso, pautas como direito à moradia e direitos sociais foram integradas ao movimento.

- Em 2007 ocorreu o primeiro evento “Deixa o Onça Beber Água Limpa”, que vem ocorrendo em todo segundo sábado do mês de julho. Em 2020 ocorreu sua 12ª edição, onde foi enfatizada a urgência na realocação de famílias que atualmente residem nas áreas de risco elevado a inundações.

O “Deixa o Onça Beber Água Limpa” traz este nome para ser uma provocação a todos os atores que existem na bacia, Governo, cidadãos e empresas. O evento busca ocorrer sempre em concomitância com o Dia Mundial do Meio Ambiente, o 05 de junho, e oferece programação para crianças, jovens e adultos. Aborda temas relativos aos direitos humanos como o meio ambiente equilibrado, saúde, saneamento, moradia e lazer, além de tratar de temas políticos afeitos à região onde ocorre.

Costa (2018), a partir disso, conclui que os processos participativos na região, por meio de movimentos e organizações sociais no bairro Ribeiro de Abreu e redondezas é bem estabelecido, intenso e resiste ainda atualmente. Característica compartilhada por outras regiões da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Onça, como identificado por Wstane (2013), Paiva (2018) e Senra (2018). As três autoras, por sua vez, identificaram sentimento de pertencimento e mobilização social em prol de direitos básicos nas sub-bacias do Córrego Engenho Nogueira, Córrego Tamboril e sobre a Mata da Izidora, respectivamente, todas regiões pertencentes à bacia hidrográfica do Ribeirão Onça.

Wstane, (2013) explora a gestão dos cursos d'água urbanos e o modelo tecnicista de canalização, retificação e apagamento destes bens naturais. A autora explora a mobilização social existente na Bacia do Rio das Velhas, primeiramente no âmbito dos Núcleos Manuelzão, e posteriormente através do comitê e dos subcomitês de bacia hidrográfica dentro do CBH Velhas. É dada ênfase aos núcleos Integrados do Córrego Engenho Nogueira, afluente do meio curso da Bacia do Ribeirão Onça. Nessa sub-bacia, foi ressaltada a existência de uma rede social densa, porém fragmentada em três núcleos, Núcleo Cascatinha, Núcleo Engenho Nogueira e Núcleo Brejinho, que atuam respectivamente no alto, médio e baixo Engenho Nogueira. Um dos motivos destacados para a intensa participação popular é a memória dos moradores que relataram que, em tempos não muito distantes, havia uma relação de harmonia com os cursos d'água, resultando em múltiplos benefícios. Essa memória, segundo a autora, *“serve como combustível, energia vital na luta pela transformação da realidade atual”* e por consequência, provoca a renúncia às práticas de tamponamento e confinamento dos rios urbanos.

Paiva (2018) buscou identificar a existência de relação entre o sentimento de pertencimento social e o engajamento social no bairro Jardim Felicidade, localizado na Bacia do Córrego Tamboril, afluente do Ribeirão Isidora e do Ribeirão Onça. A autora identificou que o processo de formação do bairro, em 1987, que se deu a partir do uso da mão de obra dos próprios moradores para a construção das moradias, favoreceu a formação de uma identidade social, sobretudo com respeito aos mais antigos moradores. Atualmente, os moradores se organizam por meio da associação Apoio ao Desenvolvimento do Bairro Jardim Felicidade pela qual conseguem adotar ações coletivas e estratégias para a promoção de melhores condições de vida e desenvolvimento local. Atualmente, uma demanda comum que une os moradores do bairro em torno de um mesmo objetivo é a revitalização do Córrego Tamboril.

Senra (2018), estudou a Mata da Izidora, o mais extenso remanescente de vegetação nativa de Belo Horizonte, não considerada uma unidade de conservação, com aproximadamente 10 km² de área. Esta mata está contida na porção norte da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Isidora, um dos principais afluentes do Ribeirão Onça. A mata da Izidora apresenta vegetação nativa de transição entre os biomas de Mata Atlântica e Cerrado, 3 ocupações urbanas, propriedades rurais e um povoado quilombola. Após uma detalhada análise socioambiental, a autora sugere a criação de uma Reserva de Desenvolvimento Sustentável para a Mata da Izidora como alternativa para coexistência entre os recursos ambientais e os moradores do seu interior e entorno.

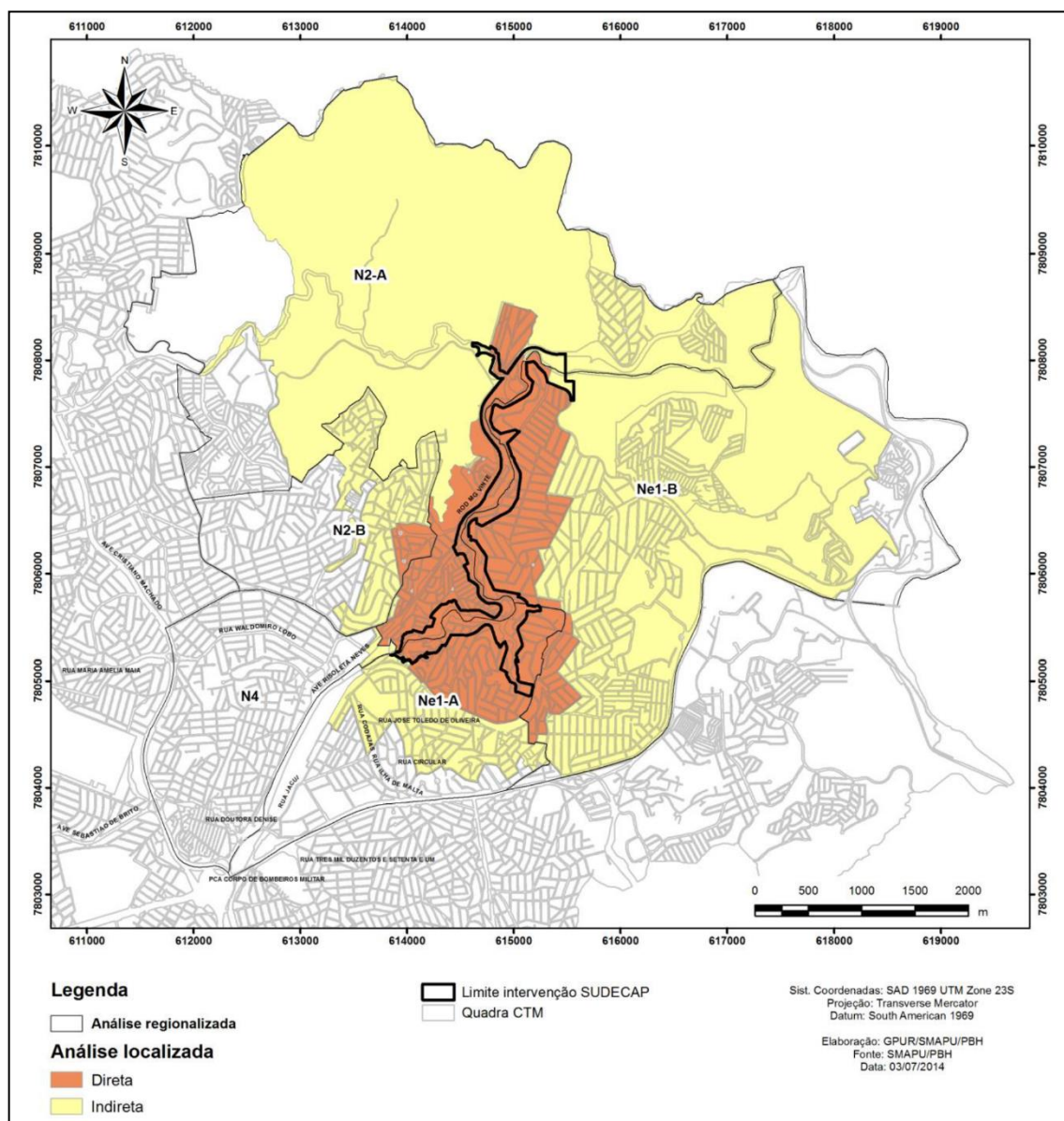
Estes trabalhos supracitados são exemplos que sugerem intensa participação popular na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Onça. Por este motivo, e diante do fato de o Parque Ciliar do Ribeirão Onça ser fruto, inclusive, de tratativas entre sociedade organizada por meio do COMUPRA e a Prefeitura Municipal (COSTA, 2018), se faz essencial serem apresentados e discutidos os aspectos sociais no que diz respeito à bacia hidrográfica e limites imediatos do Parque.

4.3. Análise sociodemográfica – Diagnóstico Propositivo do Parque

No Diagnóstico Propositivo do Parque Linear do Ribeirão Onça (PBH, 2014b), a área de influência do parque foi dividida entre área de influência direta e área de influência indireta. Essa divisão foi feita com base na ocupação urbana existente, bem como na acessibilidade ao uso do parque conforme o sistema viário (Figura 4.5).

Neste diagnóstico, a análise sociodemográfica foi dividida em duas escalas: uma análise regional e uma análise local. Apenas a análise localizada é apresentada aqui, em função de sua maior relevância para o entendimento do estudo de caso que será abordado nesse trabalho.

Figura 4.5 – Diagnóstico demográfico (PBH, 2014b)



As informações gerais sobre número de domicílios, pessoas, média de pessoas por domicílio e renda média dos responsáveis pelos domicílios são apresentados na Tabela 4.1. Ciente de que o salário mínimo adotado no Brasil na época da pesquisa era de R\$ 510,00, nota-se que a renda média dos responsáveis por domicílios é inferior a dois salários mínimos. Na mesma análise, pode ser observado que o

empreendimento impactará direta ou indiretamente uma população de aproximadamente 90.000 pessoas.

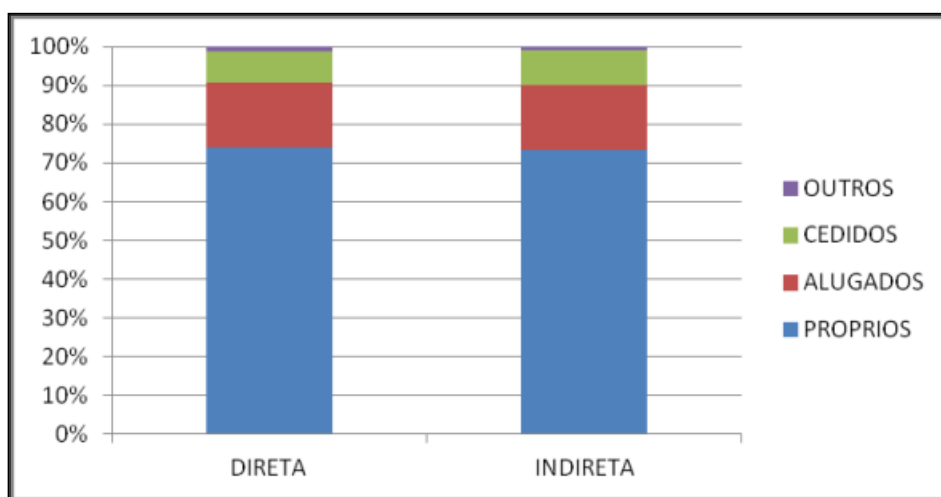
Tabela 4.1 – Informações sociodemográficas básicas

Área	Domicílios	População residente	Média de pessoas por domicílio	Renda média dos responsáveis (R\$, 2010)
Direta	10.627	36.052	3,40	823,81
Indireta	16.915	57.260	3,34	807,59

Fonte: PBH, 2014b

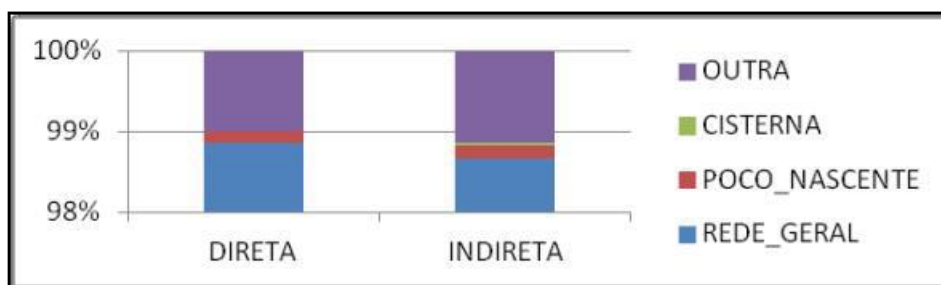
Em relação às condições da posse dos imóveis, em ambas as áreas há predominância de imóveis próprios, representando cerca de 70% da população. O percentual de imóveis alugados também é significativo, aproximadamente 20% dos domicílios (Figura 4.6)

Figura 4.6 – Condições da posse dos imóveis (PBH, 2014b)



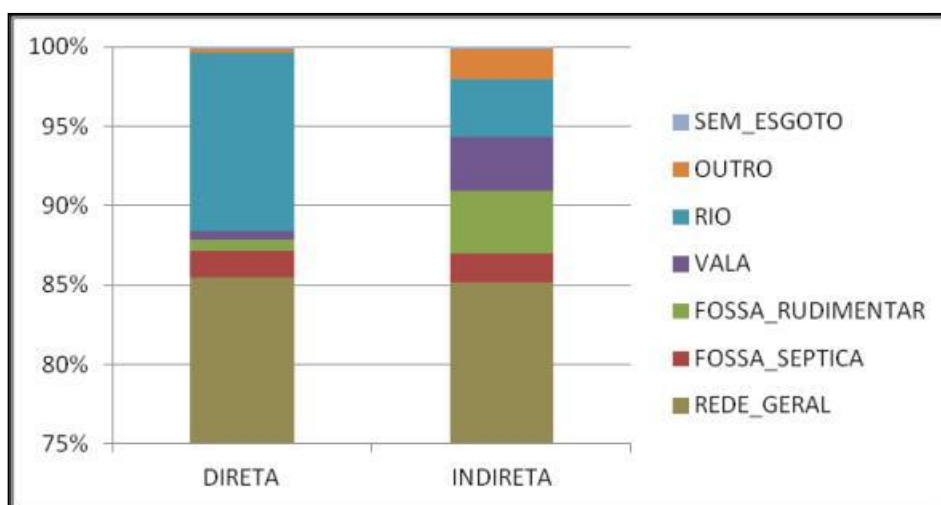
Em relação ao abastecimento de água, a Figura 4.7 indica que praticamente a totalidade dos moradores é servida por rede geral de abastecimento (aproximadamente 99%). Tendo apenas cerca de 1% que possui abastecimento de água de fonte alternativa (poço, nascente, cisterna ou outras) e sujeita a contaminações, não tendo sua potabilidade aferida por monitoramento da qualidade.

Figura 4.7 – Condições do abastecimento de água nos imóveis (PBH, 2014b)



Em relação ao esgotamento sanitário, a maior parte dos domicílios é atendida pela rede geral de esgoto, alcançando em ambas as áreas atendimento de aproximadamente 85%. Além disso, dentre a população que não possui sistema de esgotamento sanitário adequado e reside na área de influência direta, o uso dos cursos d'água para a destinação dos esgotos brutos é predominante, alcançando mais de 10% dos domicílios. Na área de influência indireta outras alternativas possuem maior relevância, como fossa rudimentar, séptica e vala (Figura 4.8).

Figura 4.8 – Condições do esgotamento sanitário dos imóveis (PBH, 2014b)



Em relação às faixas de renda da população, ambas as áreas apresentam similaridade, concentrando 90% da população com faixa de até 2 salários mínimos. A faixa de até 1 salário mínimo representa 60% da população (Figura 4.9).

Figura 4.9 – Faixa de Renda per capita nas residências (PBH, 2014b)

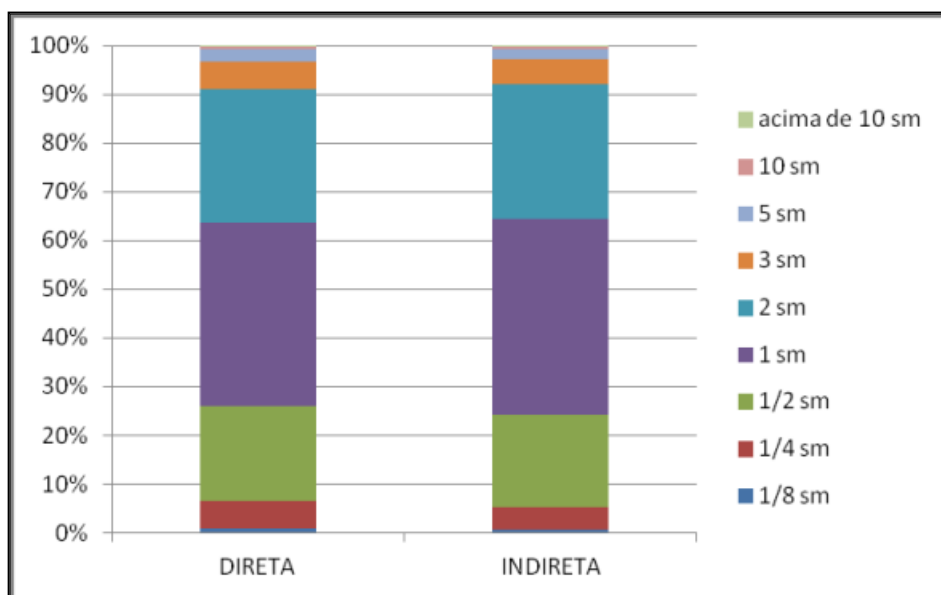
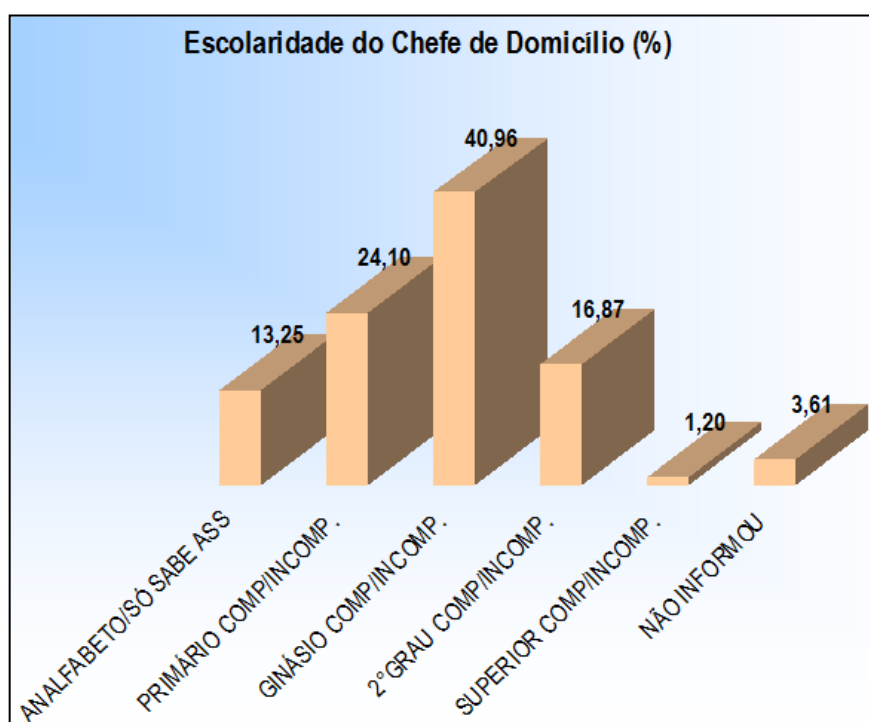


Figura 4.10 Escolaridade do Chefe de Domicílio (PBH, 2014b)



A ocupação funcional é um dado preocupante dentre os moradores permanentes entrevistados para a elaboração do Diagnóstico Propositivo (PBH, 2014b). Foi identificado que dos chefes de domicílio, apenas 32% possuem vínculo empregatício formal e 60% não possuem nenhum vínculo empregatício. A distribuição das atividades exercidas está apresentada na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Ocupação dos chefes de domicílio (principais responsáveis financeiros)

Ocupação da população		
TIPO	FREQUÊNCIA	%
Atividades na Construção Civil	48	18,0
Serviços Domésticos	31	11,6
Atividades de Venda	28	10,5
Aposentado	17	6,4
Serviços Gerais	23	8,6
Serviços de transporte	16	6,0
Somente Responsável pela própria casa	18	6,7
Serviços Pessoais	14	5,2
Atividades de Produção	8	3,0
Atividades de Segurança	6	2,2
Outros	9	3,4
Serviços de Manutenção	5	1,9
Serviços de atendimento ao Público	7	2,6
Serviço Público	3	1,1
Atividades da Educação	4	1,5
Atividades da saúde	2	0,7
Atividades de escritório	1	0,4
Não informado	27	10,1
TOTAL	267	100

Fonte: PBH, 2014b

4.4. Habitação e moradia – Diagnóstico Propositivo do Parque

Conforme Diagnóstico Propositivo do Parque (PBH, 2014b), um ponto crucial para a implantação do Parque Ciliar do Ribeirão Onça é a questão habitacional. Devido aos baixos índices de renda, habitação, escolaridade, qualificação profissional, serviços de saneamento, saúde e lazer da população, se torna ainda maior a relevância do projeto uma vez que busca integrar soluções para estes problemas com os benefícios ambientais de proteção do curso d'água e aumento das áreas verdes do município. É fundamental que haja integração dos objetivos de promover melhores condições de vida para a população em termos de habitação e moradia com os objetivos de incremento dos serviços ecossistêmicos promovidos pela área.

O Diagnóstico Propositivo do Parque levou em conta o conceito de moradia como um direito social, tendo como base para a realização as seguintes diretrizes:

- Garantia ao acesso de serviços de saneamento básico, saúde, educação e lazer.

- Garantia de políticas públicas de inserção ao mercado de trabalho através de cursos profissionalizantes e educacionais para todas as faixas etárias.
- Promoção do reassentamento das famílias preferencialmente nas proximidades imediatas à sua atual localidade, considerando o direito a permanência destes moradores.
- Acompanhamento social em todas as etapas
- Tipologias de assentamento social existentes, áreas potenciais para os reassentamentos e serviços sociais destas localidades.

Um resumo com informações das vilas, favelas, loteamentos públicos e conjuntos habitacionais existentes é apresentado na Tabela 4.3, na mesma tabela são apresentadas observações realizadas na IV Conferência Municipal de Política Urbana – IV CMPU – para revisão da lei de zoneamento municipal 9959/2010.

A legislação municipal delimita como Zonas de Especial Interesse Social – ZEIS, áreas onde o poder executivo tenha implantado conjuntos habitacionais de interesse público, onde há o interesse de ordenamento da ocupação pela implantação de programas habitacionais de urbanização e regularização fundiária, urbanística e jurídica.

Nas proximidades da área de intervenção do parque, são delimitadas duas áreas como ZEIS-I, a Vila São Gabriel e a Vila Antônio Ribeiro de Abreu. A proposta da Prefeitura apresentada na IV CMPU para a revisão da Lei 9959/2010 reconhece mais uma área como ZEIS-1, a Vila Ouro Minas. A legislação atual delimita ainda uma área com ZEIS-3, o Bairro Novo Aarão Reis (ver Figura 4.11).

A área em estudo apresenta regiões delimitadas como AEIS-1 (áreas destinadas à implantação de programas e empreendimentos de interesse social, vinculados ao uso habitacional, compostas de áreas edificadas subutilizadas ou não utilizadas) e AEIS-2 (áreas destinadas à regularização fundiária e legalização urbana, composta por loteamentos precários irregulares ocupados, predominantemente por população de baixa renda), que foram propostas na IV CMPU.

As áreas delimitadas com AEIS-1 podem ser importantes para o reassentamento futuro de famílias a serem removidas da área de intervenção do parque ou áreas de

risco. Citam-se alguns terrenos localizados próximos à Vila São Gabriel e ao Bairro Ribeiro de Abreu.

Algumas das áreas AEIS-2 são consolidáveis para ocupação com pequenas intervenções, localizadas em terrenos do Bairro São Gabriel. Outras AEIS-2 são condicionadas à realização de intervenções estruturais maiores, localizadas na margem direita do Ribeirão Onça em frente ao Bairro Novo Aarão Reis e uma outra AEIS-2 está localizada no bairro Novo Tupi.

Por meio da atualização do novo Plano Diretor de Belo Horizonte (PBH, 2019), houve pequenas alterações nas ZEIS e AEIS (Figura 4.12), sendo aqui destacado o bairro Novo Tupi que foi categorizado como uma área de Ocupação Moderada (OM), favorecendo sua ocupação em detrimento das AEIS-1 e AEIS-2.

Tabela 4.3 – Resumo das vilas, favelas, loteamentos e conjuntos habitacionais existentes

Localidade	área (m²)	Domicílios estimados	Moradores Estimados	Densidad e (hab/ha)	zoneamento lei 9959/2010	Proposta (IV C MPU)	Observações complementares
Vila São Gabriel	21517,0	176	520	241,7	ZEIS-1	Manutenção	Risco de escorregamento e presença de APPs.
Vila Ouro Minas	25802,3	217	728	282,1	ZP-1	Mudança para ZEIS-1	Risco de inundação; Parte dos moradores foram removidos em 2004
Vila Antônio Ribeiro de Abreu	34638,0	186	625	180,4	ZEIS-1	Manutenção	Risco de inundação e escorregamento; presença de APPs
Loteamento Novo Tupi	118300,0	360	1210	102,2	ZPAM, ZAR-2, ZP-2	Sobrezoneada por AEIS-2	Presença de APPs
Conjunto Novo Aarão Reis	Não indicada no Diagnóstico	2337	8880	Não indicado	Não indicado no diagnóstico	Não indicada no Diagnóstico	Ocupação desde 1991, áreas de risco próximas à área de implantação do parque
Assentamento Cigano São Gabriel	21520,0	30	101	46,8	ZAR-2, ZEIS-1, ZEIS-3	Manutenção	Risco de escorregamento e presença de APPs.

Fonte: PBH, 2014b

Figura 4.11 – Habitação e zonas de interesse social (PBH, 2014b)

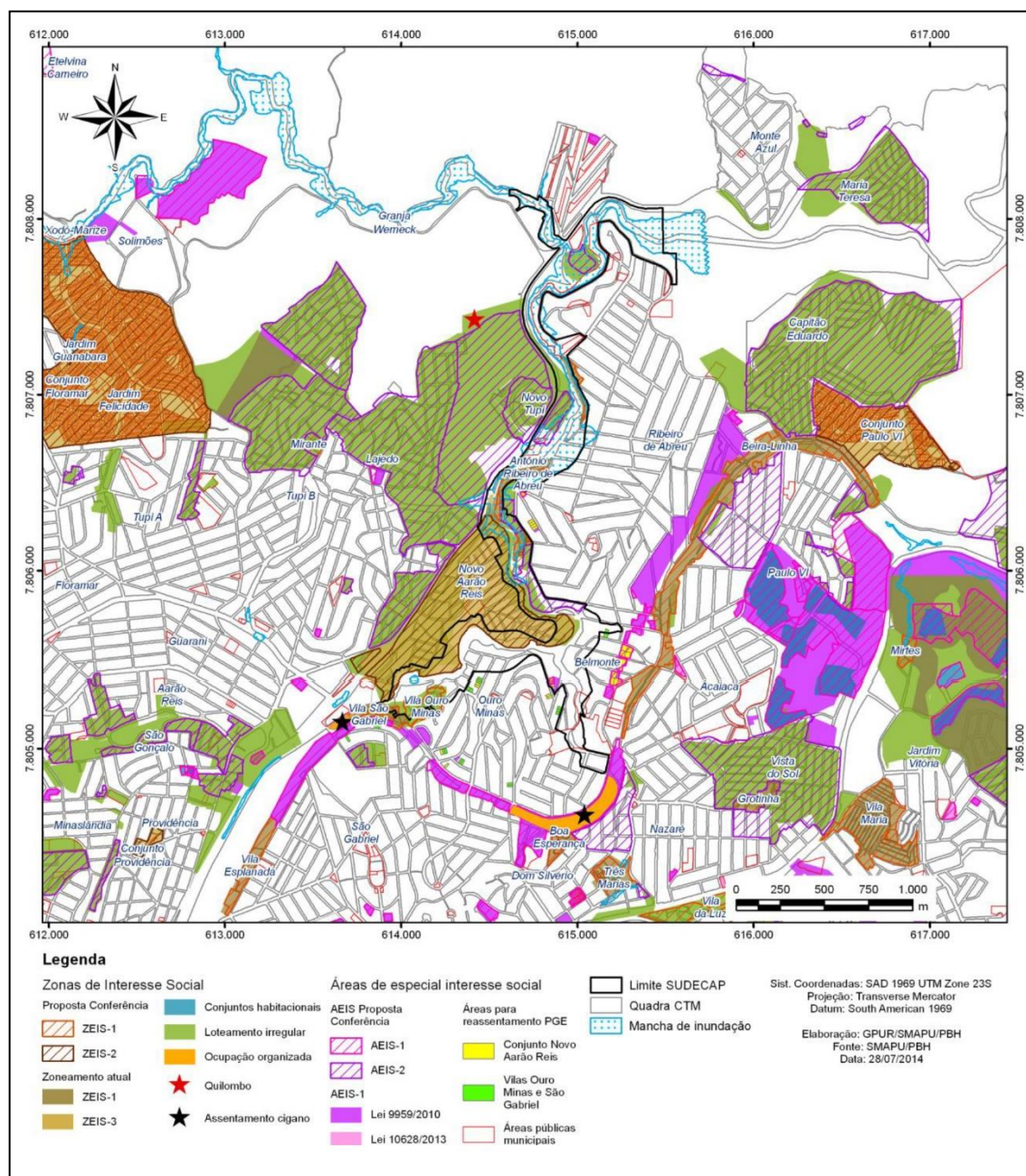
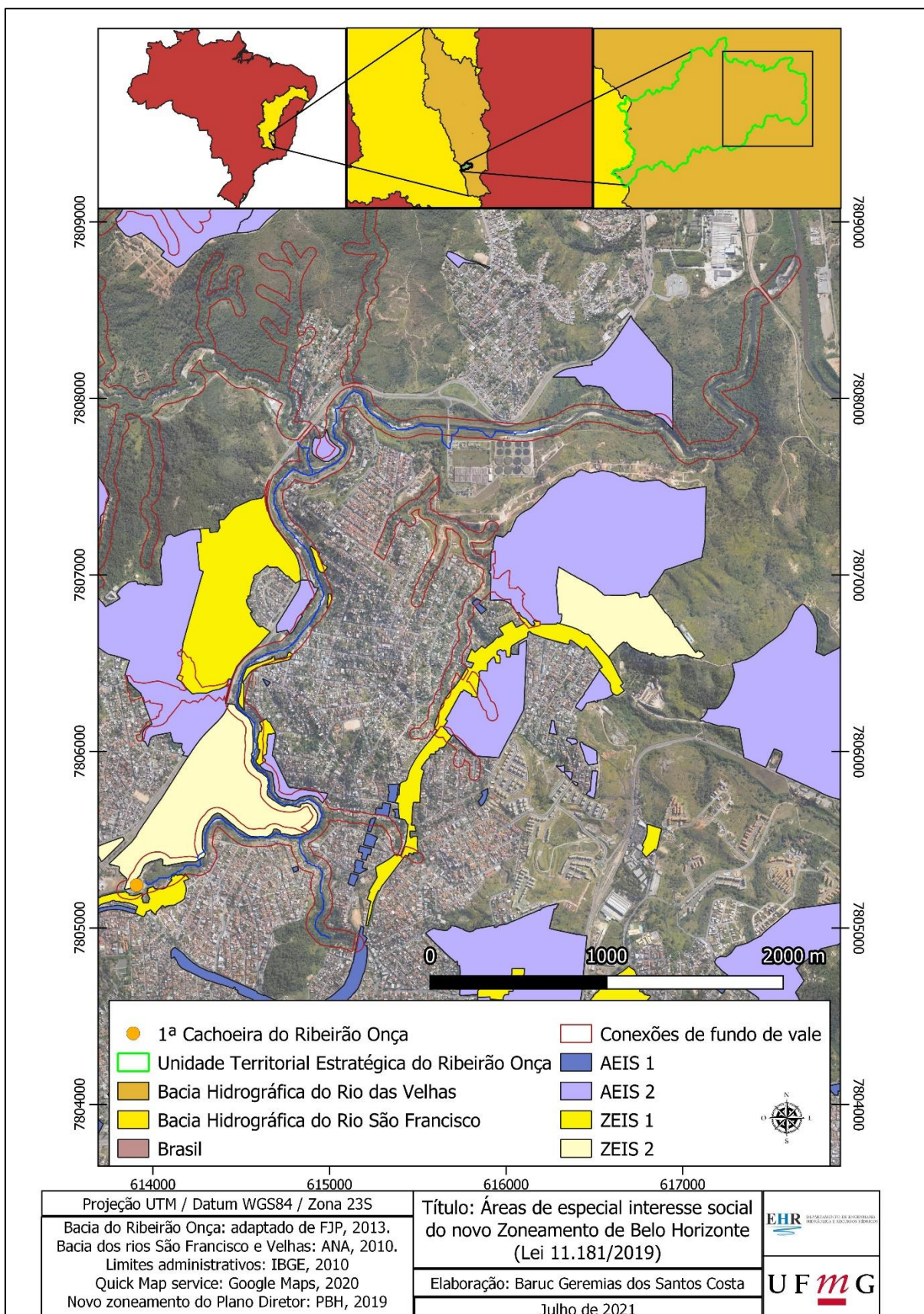


Figura 4.12 Áreas e Zonas de especial interesse social de acordo com o novo Zoneamento de Belo Horizonte (Lei 11.181/2019)



5. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada neste trabalho foi organizada da seguinte maneira:

- Calibração e validação do modelo hidrológico representativo da bacia hidrográfica do Ribeirão Onça;
- Calibração do modelo hidráulico representativo para a área de inundação do Parque Ciliar do Ribeirão Onça;
- Elaboração das manchas de inundação para diferentes tempos de retorno;
- Aplicação por geoprocessamento das manchas de inundações sobre as residências e edifícios comerciais existentes na área impactada;
 - Adota-se aqui a premissa de que os danos de inundações evitados pelo parque podem ser estimados com base nos danos evitados devido a retirada dos moradores completa da área. Não foi estimado danos provocados por inundação sobre a área do parque, os quais devem ocorrer em menor proporção.
- Elaboração de curva de danos probabilística conforme apresentado por Hubert e Ledoux (1999);
- Cálculo dos danos médios anuais provocados por inundação aos edifícios residenciais e comerciais na área impactada.

A metodologia para obter estimativa dos danos provocados por poluição por esgotos apresenta os seguintes pontos principais:

- Definição do custo médio anual de coleta e tratamento per capta na região com base em bibliografia (PESSOA, 2019);
 - Como premissa é tida que a estimativa mínima dos danos provocados pela poluição com esgotos é igual ao custo para coleta e tratamento praticados na região. Essa premissa é forte e pode subestimar os danos monetários encontrados.
- Definição do número de moradores com sistema de esgotamento sanitário inadequado nas proximidades imediatas ao ribeirão Onça;

- Cálculo dos danos provocados pelo lançamento de esgotos por meio do produto do custo médio anual per capita pela população com sistema de esgotamento irregular.

Por fim, um segundo cenário foi simulado. A metodologia de elaboração do segundo cenário é resumida por meio dos seguintes pontos:

- Identificação do padrão construtivo, de quadras parceladas, edifícios e lotes vagos na região;
 - Para o segundo cenário, adota-se a hipótese de eventual adensamento urbano na região, conforme identificado por diversos autores (PBH, 2016; SENRA, 2018; ALMEIDA et. al. 2022).
- Replicação das edificações existentes conforme disponibilidade de espaço físico nas quadras e lotes vagos existentes nas proximidades imediatas do ribeirão Onça;
 - Assume-se que os padrões socioeconômicos, disponibilidade de comércio e serviços e saneamento básico (esgotamento sanitário) aumentam proporcionalmente ao aumento das edificações na região impactada.
- Recálculo dos danos provocados por inundações e lançamento de esgotos conforme segundo cenário.

Por fim, será feita análise crítica dos resultados para melhor entendimento e interpretação dos valores obtidos na análise.

O fluxograma metodológico da presente dissertação, construído com auxílio do software Edraw Mindmap®, é apresentado na Figura 5.1 e Figura 5.2.

Figura 5.1 – Fluxograma metodológico

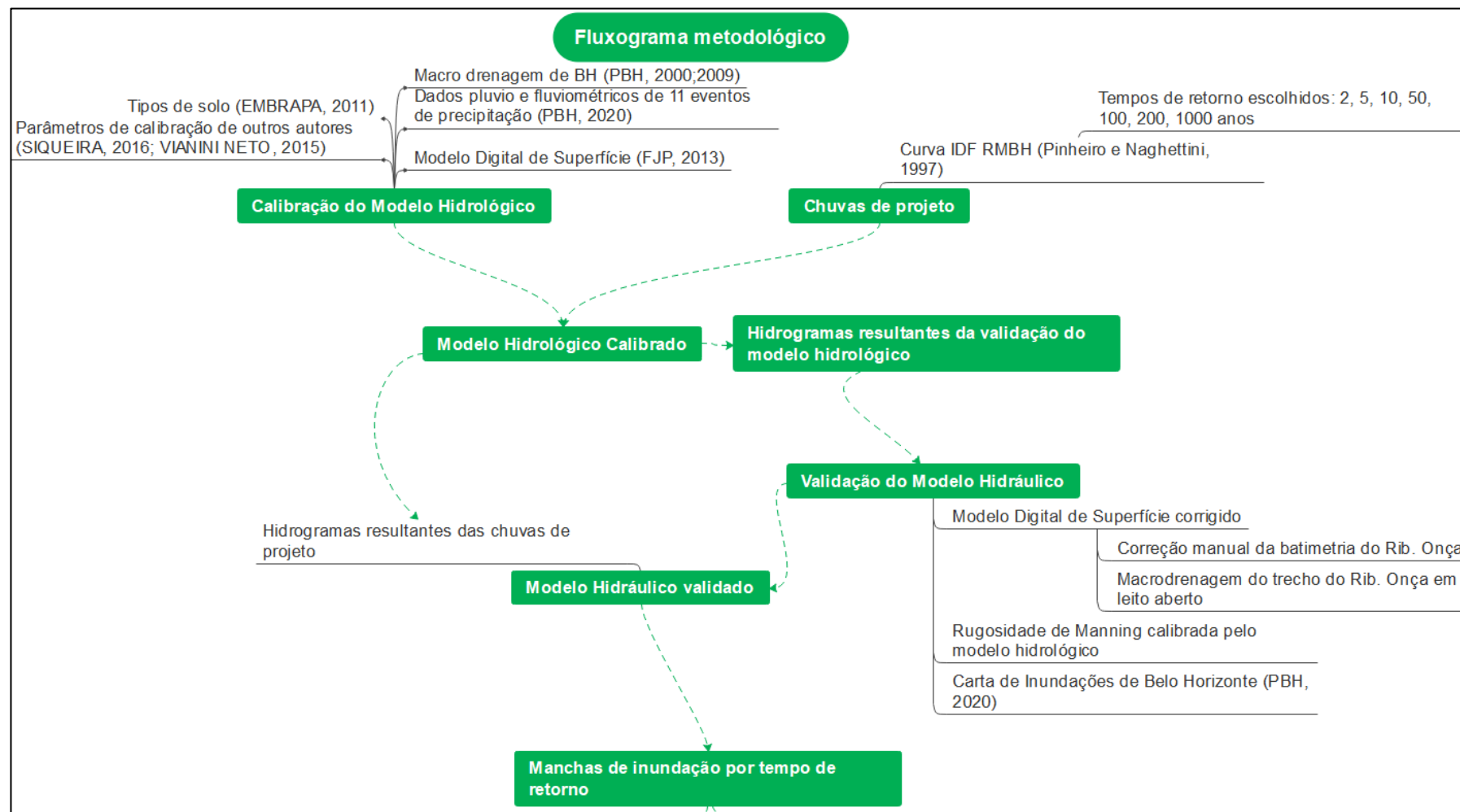
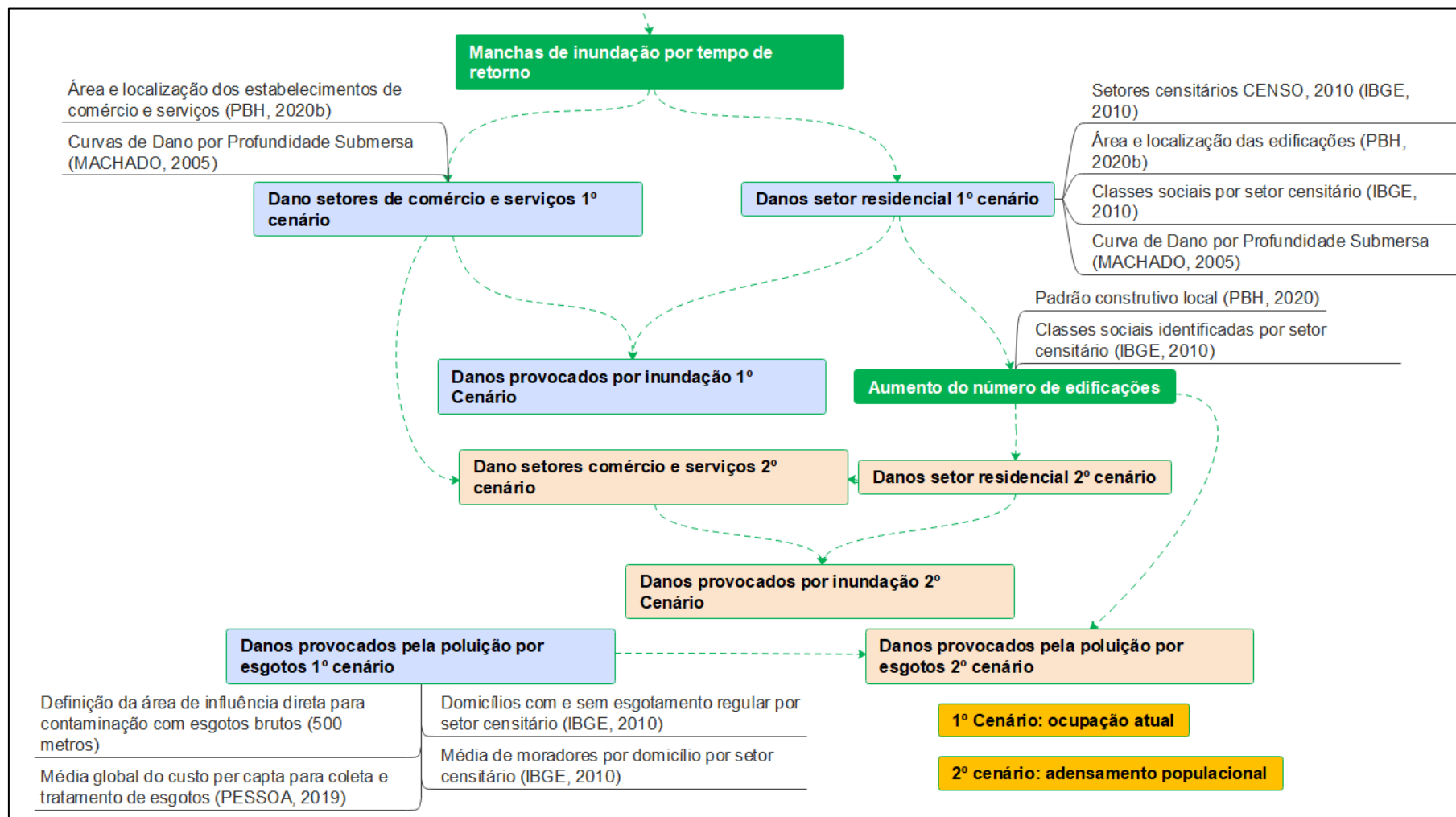


Figura 5.2 – Fluxograma metodológico (continuação)



5.1. Modelo Hidrológico

Para a construção, calibração e validação do modelo hidrológico foram utilizados os seguintes dados:

- Modelo Digital de Superfície (MDS) abrangendo a parte sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte com resolução horizontal de 1,2 metros e vertical vinculada à horizontal. Esse MDS foi obtido junto a Fundação João Pinheiro (FJP, 2013);
- Dados provenientes da rede de monitoramento pluviométrico, fluviométrico e meteorológico de Belo Horizonte, abrangendo 42 estações implantadas pelo município e suas adjacências, entre os anos de 2011 e 2020 (PBH, 2020);
- Fichas cadastrais da macrodrenagem da Bacia do Ribeirão Onça, obtidas junto a Diretoria de Gestão de Águas Urbanas da Secretaria de Obras e Infraestrutura – (DGAU, SMOBI) da Prefeitura de Belo Horizonte (PBH, 2000) e Departamento de Projetos de Infraestrutura (DPPI-SD) da Superintendência de Desenvolvimento Regional (PBH, 2009b);
- Caracterização de solos do Brasil, produzida pela Empresa Brasileira de Agricultura e Pecuária – EMBRAPA (2011);
- Parâmetros de calibração de modelo hidrológico no *software* SWMM na sub-bacia do Ribeirão Onça apresentados por Siqueira (2017); e
- Curva cota-volume e cota-descarga do reservatório da Lagoa da Pampulha apresentados por Vianini Neto (2016).

5.1.1. Delimitação da Bacia Hidrográfica

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Onça e suas sub-bacias foram delimitadas através do aplicativo de geoprocessamento *Quantum Gis (QGis) Versão 3.4* com extensão *GRASS* (QGis, 2018). Para tanto, foi obtido junto à Fundação João Pinheiro o MDS da área abrangendo a parte sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte com resolução espacial de 1,2 metros em arquivos *raster* (FJP, 2013).

A partir do MDS, foram aplicadas as seguintes ferramentas do QGis v. 3.4: *Mosaic Raster Layers* (Extensão *SAGA*); *r. watershed* (extensão *GRASS*); *Polygonize*

(Extensão GDAL); *r. stream extract* (Extensão GRASS). Esses procedimentos visam obter respectivamente (i) o mosaico de imagens reunindo todo o MDS em um único arquivo abrangendo toda a região da bacia hidrográfica; (ii) as sub-bacias hidrográficas em formato raster; (iii) as sub-bacias em formato shape; (iv) e os talvegues da bacia.

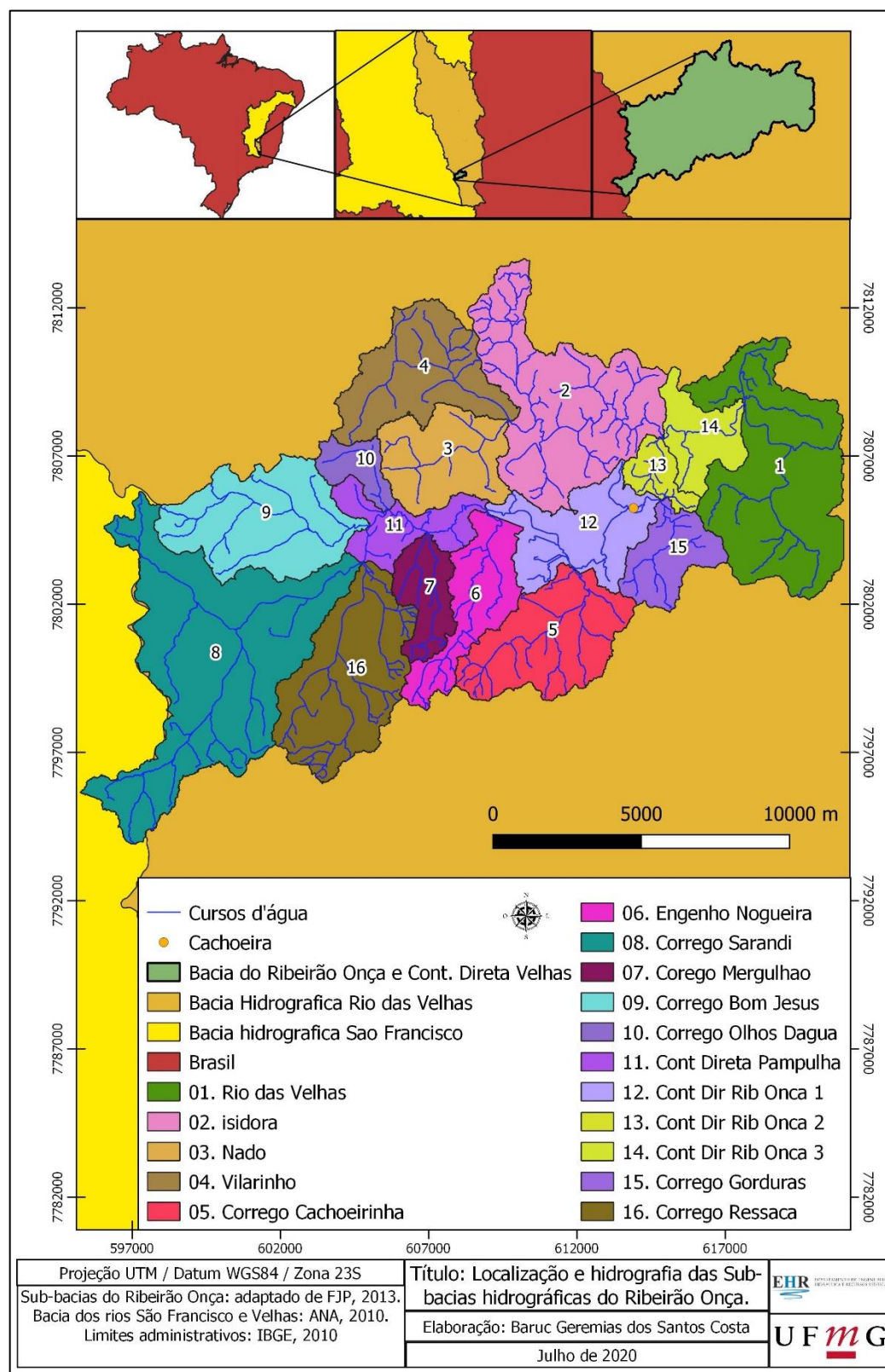
As microbacias resultantes do processo foram reunidas em sub-bacias maiores, contribuintes do Ribeirão onça, de forma a respeitar as características hidráulicas e hidrológicas de cada área de contribuição de acordo com o nível de detalhes necessário para a modelagem da bacia proposta. Ao todo, a Bacia do Ribeirão Onça foi dividida em 15 sub-bacias.

Por fim, as áreas e limites das bacias traçadas também foram comparadas às áreas indicadas pelas bacias Ottocodificadas 1:250.000 disponibilizadas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM (SISEMA, 2019).

Não havendo Modelo Digital de Terreno (MDT) disponível, a delimitação das bacias hidrográficas ocorreu por meio do MDS. Isto influenciou minimamente o traçado da bacia em função de sua extensa área (mais de 210 km²). Dessa forma, pequenos erros nos limites devido a existência de árvores e construções não comprometem a análise hidrológica. Para contextualização, a delimitação e identificação das sub-bacias delimitadas é apresentada na Figura 5.3.

Uma vez que a análise hidráulica exige um nível de detalhe maior no que diz respeito às áreas potencialmente inundáveis, para aumentar sua assertividade foi realizado tratamento do MDT, retirando interferência de árvores e topo de residências nas áreas inundáveis do trecho em análise. Este procedimento é detalhado no item 5.2.1.

Figura 5.3 – Hidrografia das sub-bacias do Ribeirão Onça



5.1.2. Monitoramento hidroclimático

A prefeitura de Belo Horizonte monitora e registra dados hidroclimáticos por meio de 42 estações de monitoramento espalhadas pelo território das bacias hidrográficas do Ribeirão Onça e Arrudas. A localização e a identificação de cada uma delas são apresentadas na Figura 5.4, Tabela 5.1 e Tabela 5.2.

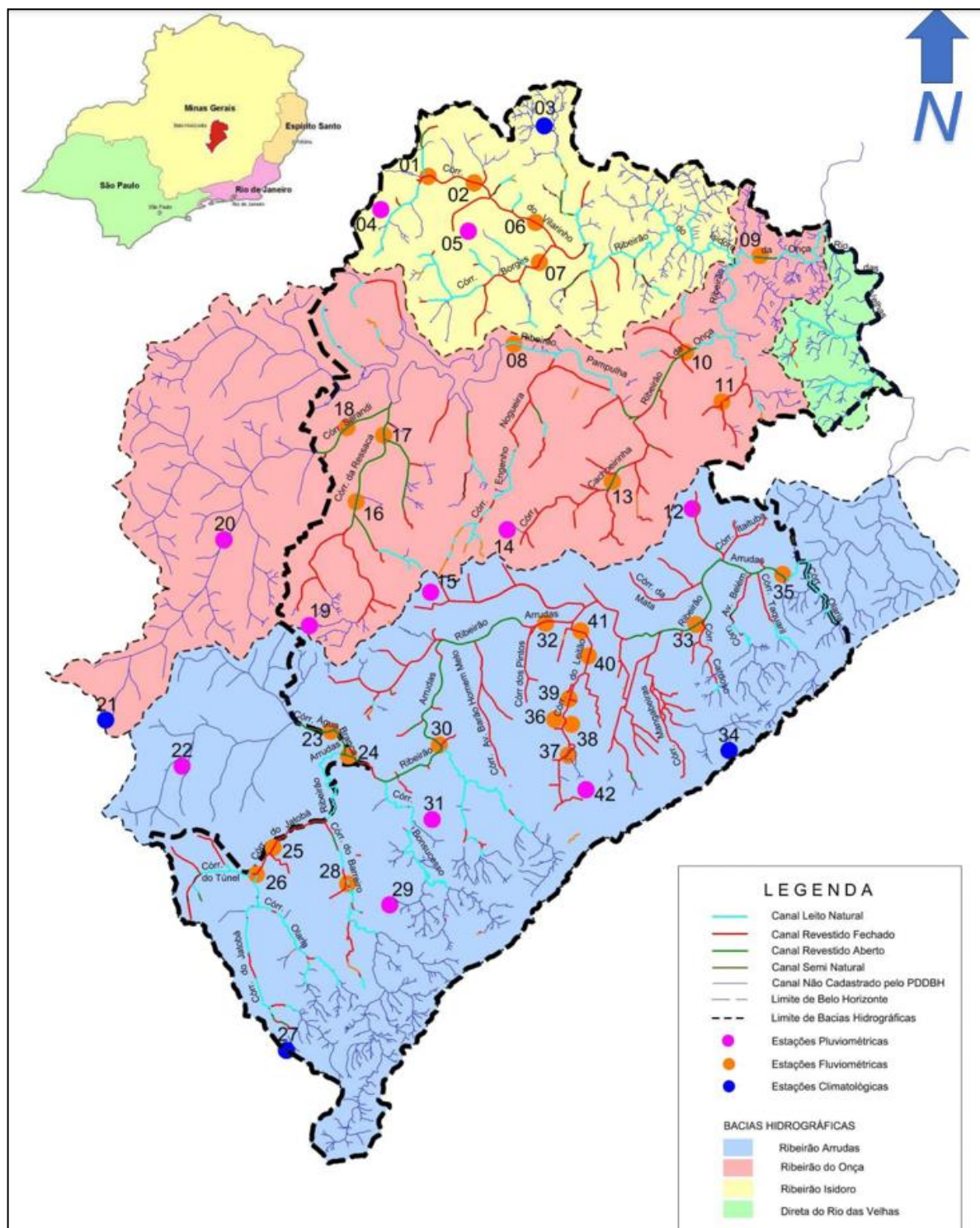
Tabela 5.1 – Estações hidroclimáticas da Prefeitura de Belo Horizonte (PBH, 2016)

Numeração no mapa	Bacia Hidrográfica	Localização	Regional / Município
3 (Climatológica)	Córrego Floresta	Cidade Administrativa – Alameda José Maria Alkimim, 1800 – Bairro Serra Verde	Venda Nova
4	Córrego Vilarinho	Umei Bairro Lagoa – Rua Hécio Fortes	Venda Nova
5	Córrego Nado	Secretaria Administrativa Regional Venda Nova – Av. Érico Veríssimo, 1428 – Bairro Rio Branco	Venda Nova
12	Córrego Santa Inês	Cetec – Av. José Cândido da Silveira, 2000 – Bairro Horto	Leste
14	Córrego Cachoeirinha	Pátio de Manutenção da Sudecap – Rua José Sebastião Dalher, 1340 – Bairro Caiçara	Noroeste
15	Córrego Pastinho	Aeroporto Carlos Prates – Rua Ocidente, 100 – Bairro Carlos Prates	Noroeste
19	Córrego Ressaca	Aterro Sanitário – BR 040, Km 531 – Bairro Jardim Filadélfia	Noroeste
20	Córrego Sarandi	Ceasa – próximo à entrada pela Av. Sarandi – Bairro Guanabara	Contagem
21 (Climatológica)	Córrego Sarandi	PUC Contagem – Rua Rio Comprido, 4580 – Bairro Cinco	Contagem
22	Córrego Ferrugem	Sociedade Hípica MG – Rod. Fernão Dias 381 km 2,5 – Bairro Riacho das Pedras	Contagem
27 (Climatológica)	Córrego Jatobá	Parque Rola Moça – Entrada no final da Av. Luiz de Souza Lima – Bairro Mineirão	Barreiro
29	Córrego Bonsucesso	Hospital Júlia Kubitscheck – Av. Dr. Cristiano Resende nº 2745 – Bairro Araguaia	Barreiro
31	Córrego Cercadinho	Área Rádio Tiradentes – Rua Augusto José dos Santos – Bairro Betânia	Oeste
34 (Climatológica)	Córrego Serra	Parque das Mangabeiras – Caixa de Areia – Av. Anel da Serra – Bairro Mangabeiras	Centro Sul
Provisória 42	Córrego Leitão	Copasa – Rua Sebastião Botelho Nepomuceno s/n – Bairro Belvedere	Centro Sul

Tabela 5.2 – Estações hidroclimáticas da Prefeitura de Belo Horizonte (PBH, 2016)

Numeração no mapa	Bacia Hidrográfica	Localização	Regional / Município
1	Córrego Vilarinho	Av. Vilarinho – Bairro Leticia	Venda Nova
2	Córrego Vilarinho	Av. Vilarinho, próximo à Rua Paula Santos – Bairro Leticia	Venda Nova
6	Córrego Vilarinho	Av. Vilarinho, próximo à Rua Ivan Pereira Lima – Bairro Leticia	Venda Nova
7	Córrego do Nado	Avenida 12 de Outubro, próxima à Rua das Pedrinhas – Venda Nova	Venda Nova
8	Ribeirão Pampulha	Aeroporto da Pampulha – Em frente a guarita de acesso aos hangares	Pampulha
9	Ribeirão do Onça	Área da ETE Onça – Copasa, Rua Serra dos Órgãos nº 335, Bairro Ribeiro de Abreu	Nordeste
10	Ribeirão do Onça	Av. Risoleta Neves – Espaço BH Cidadania Brasilina Maria de Oliveira - B. Novo Arão Reis	Nordeste
11	Córrego Gorduras	Rua dos Limões, próximo à Rodovia MG 5	Nordeste
13	Córrego Cachoeirinha	Av. Bernardo Vasconcelos, próximo à Rua Pio XI – Bairro Ipiranga	Nordeste
16	Córrego Ressaca	Av. Heráclito Mourão de Miranda, próxima à R. Cordilheiras – Bairro Jardim Alvorada	Noroeste
17	Córrego Ressaca	Av. Heráclito Mourão de Miranda, próximo à Av. Santa Terezinha – Bairro Jardim Alvorada	Pampulha
18	Córrego Sarandi	Av. Prof. Clóvis Salgado – Bairro Sarandi	Pampulha
23	Córrego Ferrugem	Vila Magnesita – Bairro Glalijá	Contagem
24	Ribeirão Arrudas	Av. Teresa Cristina – Jusante do Córrego Água Branca – Vila São Paulo	Barreiro / Oeste
25	Córrego Jatobá	Avenida do Canal – Conj. João Paulo II	Barreiro
26	Córrego Jatobá	Avenida do Canal – Conj. João Paulo II - entrada da galeria	Barreiro
28	Córrego Barreiro	Área da Copasa	Barreiro
30	Ribeirão Arrudas	Av. Teresa Cristina – próximo à Rua Santo Antônio do Amparo – Bairro Betânia	Oeste
32	Ribeirão Arrudas	Av. Teresa Cristina – Bairro Coração Eucarístico	Centro Sul
33	Ribeirão Arrudas	Avenida dos Andradas – Sobre a ponte da Av. Mem de Sá – Bairro Santa Efigênia	Leste
35	Ribeirão Arrudas	Avenida dos Andradas – a jusante da ponte da Rua Itamar – Bairro São Geraldo	Leste
Provisória 36	Córrego do Leiteão	Av. Guaicuí c/ Av. Prudente de Moraes	Centro Sul
Provisória 37	Córrego do Leiteão	Reservatório Santa Lúcia – Vertedouro	Centro Sul
Provisória 38	Córrego do Leiteão	Av. Prudente de Moraes esq. com Rua Antônio Dias – Grelha 8	Centro Sul
Provisória 39	Córrego do Leiteão	Av. Prudente de Moraes esq. com Rua Joaquim Murtinho – Grelha 26	Centro Sul
Provisória 40	Córrego do Leiteão	R. São Paulo esq. com Av. Bias Fortes – Grelha 55	Centro Sul
Provisória 41	Córrego do Leiteão	R. Mato Grosso esq. com Rua dos Tamoios – Grelha 73	Centro Sul

Figura 5.4– Localização das estações de monitoramento hidroclimático da Prefeitura de Belo Horizonte (Adaptado de PBH, 2016).



Legenda: sem escala

As estações de monitoramento hidroclimático de Belo Horizonte apresentam dados de nível d'água (limnimétricos) e de altura precipitada com intervalos de dez minutos e abrangem o período entre 2011 e 2020. Em função da excelente discretização

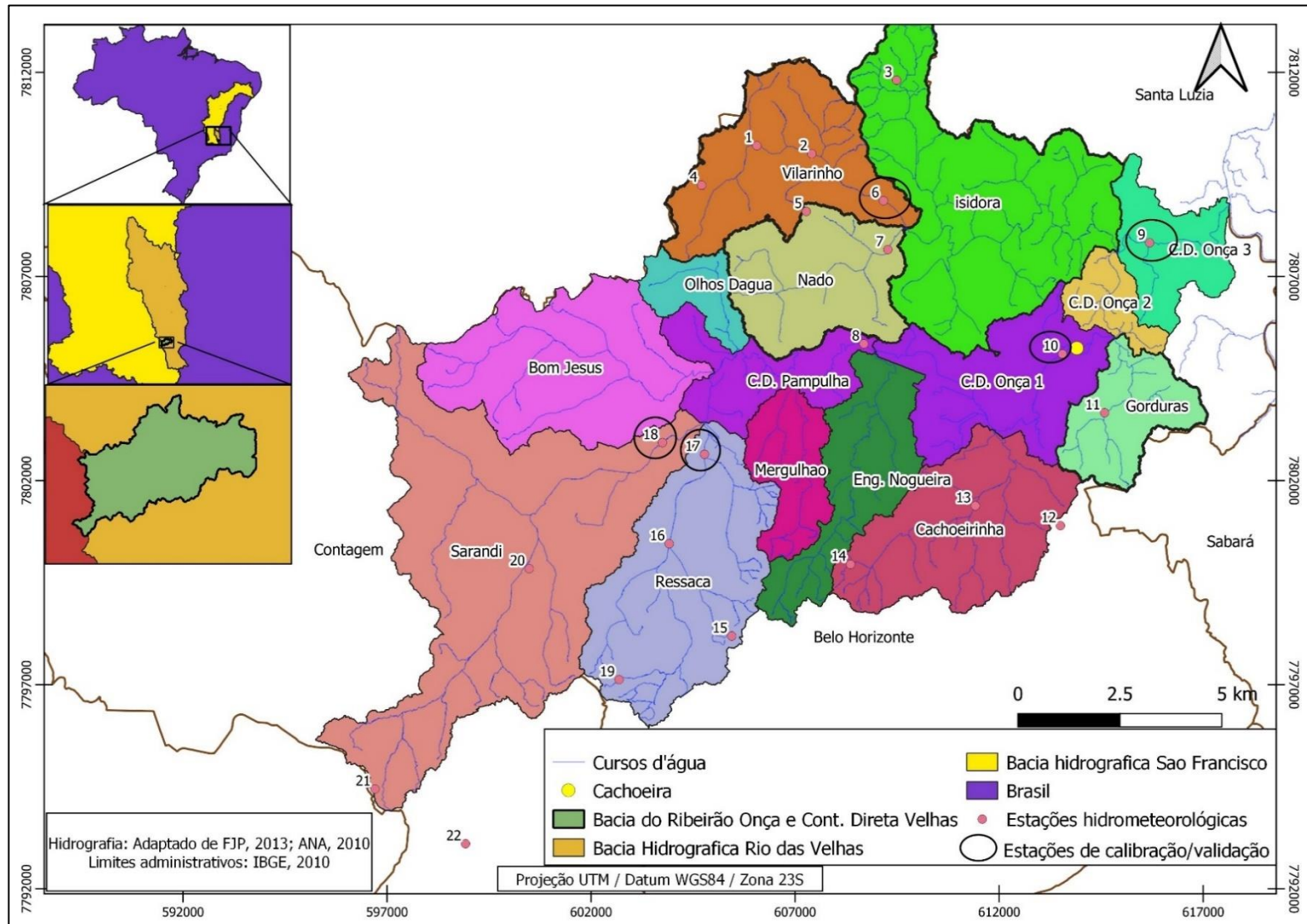
temporal e espacial (Figura 5.4), optou-se por utilizá-los na calibração e validação do modelo hidráulico e hidrológico da bacia.

Os dados pluviométricos e fluviométricos foram fornecidos pela DGAU, SMOBI da Prefeitura de Belo Horizonte (PBH, 2020).

A partir do sistema de monitoramento hidroclimático de Belo Horizonte, foram extraídos os dados das estações limnimétricas e pluviométricas de número 1, 2, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 16, 17, 18, das estações pluviométricas 4, 5, 12, 14, 15, 19 e 20 e das estações climatológicas de número 3 e 21. O número e localização das estações foram retirados do documento referente ao Volume I do Plano Municipal de Saneamento (PMS) 2016-2019 de Belo Horizonte (PBH, 2016). O cadastro das estações permitiu localizar cada estação, com verificação por meio da lista de seus respectivos endereços no PMS. Para obter as coordenadas das estações de monitoramento foi utilizado o *software* Google Earth, tendo sido a maior parte das estações identificadas visualmente no modo *Street View*.

A localização das estações hidrometeorológicas é apresentada para contextualização na Figura 5.5.

Figura 5.5 – Localização das sub-bacias e estações de monitoramento hidroclimático



5.1.3. Escolha das precipitações

A escolha das precipitações para a calibração e validação do modelo se deu com base na análise dos limnigramas monitorados nas estações número 09, localizada a montante da primeira cachoeira do ribeirão Onça, e número 10, localizada junto à Estação de Tratamento de Esgotos do Ribeirão Onça, marcando os limites do Parque Ciliar (ver Figura 5.5).

Os níveis de alerta reportados para a Estação de monitoramento fluviométrico número 10 indicado no PMS 2016-2019 (PBH, 2016) também foi um critério para a seleção de eventos de precipitação. Ao todo foram escolhidas 11 chuvas, sendo seis utilizadas para a calibração do modelo e cinco utilizadas para a sua validação. Os eventos escolhidos estão listados na Tabela 5.3 e o nível d'água provocado nas estações limnimétricas são apresentados no APÊNDICE I – RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO e APÊNDICE II – RESULTADOS DA VALIDAÇÃO.

Ainda na Tabela 5.3 são apresentadas as diferenças entre as características observadas de cada limnigrama. Foram escolhidos eventos de precipitação-vazão que resultaram em diferentes alertas de acordo com o nível do limnigrama observado na Estação 09. A Prefeitura de Belo Horizonte adota os seguintes níveis de alerta (PBH, 2016): (i) quando o canal atinge 100% da sua seção em nível d'água, alerta vermelho; (ii) quando o canal atinge 80% da sua seção, alerta laranja; (iii) quando o canal atinge 50% da sua seção, alerta amarelo. Neste trabalho, para avaliar o desempenho do modelo em eventos de menor impacto, adotou-se uma designação de alerta verde, quando os picos dos limnigramas atingiram, no máximo, 40% da seção do canal.

Tabela 5.3 – Eventos escolhidos para a calibração e validação do modelo hidrológico

	Eventos escolhidos							Alertas da Estação nº 10 – profundidade da seção transversal submersa	
Númer o	Calibração	Est. com falhas	Característi ca	Númer o	Validação	Estaçõ es com falhas	Característi ca		
Chuva 1	14-18/01/2020	7, 19*	Limnigrama com um pico laranja e dois amarelos	Chuva 2	23- 26/01/2020	6*, 7, 19*	Limnigrama com picos amarelo e laranja	Vermelho	100%
Chuva 3	14-16/11/2019	19	Limnigrama com um pico verde e um amarelo	Chuva 4	01- 06/01/2020	7, 19*	Limnigrama com dois picos amarelos	Laranja	80%
Chuva 5	11-13/12/2019	7, 21	Limnigrama com um pico amarelo	Chuva 6	05- 06/12/2019	7, 21*	Limnigrama com um pico verde	Amarelo	50%
Chuva 07	11/30- 04/12/2018	6*, 17*	Limnigrama com dois picos verdes	Chuva 8	24- 27/12/2018	5*	Limnigrama com picos amarelo e laranja	Verde**	40%
Chuva 09	23-25/03/2016	17	Limnigrama com picos amarelo e laranja	Chuva 10	20- 21/01/2013	4*	Limnigrama com um pico vermelho	**Não oficial	
Chuva 11	7-8/1/2013	0	Limnigrama com um pico vermelho						
	* falhas parciais								

Legenda: Vermelho: Alerta vermelho; amarelo: Alerta amarelo; Verde: Alerta verde

Ressalta-se que as chuvas 11 e 10 ocorreram transbordamento na estação nº10 analisada. Apesar disso, uma de cada evento que provocou transbordamento (chuva 11 e chuva 10) foram utilizadas na calibração e validação para avaliar se o modelo representa de fato o transbordamento. Nesses casos, após o transbordamento a avaliação da diferença entre cotas não deve ser incluída na calibração e validação do modelo, em função de que nessa situação a seção hidráulica não é mais bem definida.

5.1.3.1. Preenchimento de falhas da precipitação

Algumas estações apresentaram falhas isoladas ou significativas nos dados de precipitação, o que não inviabilizou sua análise, porém foi necessário preenchê-las. O preenchimento de falhas se deu de acordo com as estações vizinhas mais próximas, tendo sido estabelecido previamente regras para cada estação, as quais se assemelham a uma média ponderada pela distância de cada estação, de acordo com sua(s) estação(ões) vizinha(s) mais próxima(s). As regras para preenchimento de falhas adotadas neste trabalho são apresentadas abaixo:

- Estação 1: Média entre as estações 2 e 4 OU igual a estação 2;
- Estação 2: média entre as estações 1, 3, 5 e 6 OU 1, 3 e 6;
- Estação 3: média entre as estações 1, 2 e 6;
- Estação 4: Valor igual à estação 1;
- Estação 5: Valor igual à estação 2;
- Estação 6: Valor igual à estação 7 OU média entre estações 2 e 5;
- Estação 7: Valor igual à estação 6 OU média entre estações 5 e 8;
- Estação 8: Média entre as estações 7, 10, 14 e 17;
- Estação 9: média entre as estações 10, 11 ou igual à estação 11;
- Estação 10: 70% do valor registrado pela estação 11 somado a 30% do valor registrado pela estação 9;
- Estação 11: Média entre as estações 10 e 12 OU igual à estação 12;
- Estação 12: Média entre as estações 11 e 13;
- Estação 13: Média entre as estações 12 e 14;
- Estação 14: média entre as estações 13 e 15;
- Estação 15: Média entre as estações 14, 16 e 19 OU 14 e 16;
- Estação 16: média entre as estações 15, 17, 19, 20;

- Estação 17: Valor igual à estação 18;
- Estação 18: Valor igual à estação 17;
- Estação 19: Média entre as estações 15, 16 e 20 OU 15 e 20;
- Estação 20: Média entre as estações 16 e 19 OU 16, 18 e 21;
- Estação 21: Valor igual à estação 22 (externa à bacia) OU média entre estações 19 e 20.

5.1.4. Canais da bacia

As fichas cadastrais com os dados dos canais representativos da bacia foram cedidas pela DGAU, SMOBI da Prefeitura de Belo Horizonte, referentes ao levantamento cadastral realizado no ano de 2000 pela prefeitura de Belo Horizonte (PBH, 2000). Além desse registro, também foi cedido pelo DPPI-SD da Superintendência de Desenvolvimento Regional o projeto de ampliação dos Ribeirões Ressaca e Sarandi (PBH, 2009b). Os canais utilizados e seus parâmetros são apresentados na Tabela 5.4.

Foram selecionadas para efetuar a calibração do modelo hidrológico as estações de monitoramento limnimétrico de número 06 (Vilarinho), 17 (Ressaca), 18 (Sarandi), 09 (Rib. Onça, altura da ETE, final do parque) e 10 (Rib. Onça, à altura da primeira cachoeira, início do parque). Essas estações foram escolhidas por estarem geograficamente bem distribuídas na Bacia do Onça, além de possuírem dados de sua seção transversal e localização bem definidos, trazendo confiabilidade ao procedimento de calibração e validação.

Tabela 5.4 – Dados de entrada dos canais utilizados para calibração

Nome	Tipo	Comprimento (m)	Declividade (%)
Isidora_S0-S1	CANRA	1584	0,5745
Isidora_S1_R17	CANLN	8500	0,6741
Onca_27_B2-E5	CANLN	1125	0,7289
Onca_27_E5-Q16	CANLN	3240	0,9352
Onca_27_Q16-T19	CANLN	1370	0,6861
Onca_27_T19-Y23	CANLN	2894	0,1555
Onça_29-DP01-05-15_1	CANRA	248,5	0,3421
Onca_29-DP01-05-15_2	CANRA (Estação 10)	248,5	0,3421
Onça_A1-B2	CANLN (Cachoeira)	182	18,0335
Onça_Canal_1_ETE	CANRA (Estação 09)	200	0,159
Onça_Canal_2_ETE	CANRA	500	0,159

Nome	Tipo	Comprimento (m)	Declividade (%)
Ressaca_29-DP01B-11-15_1_Ampliado_2009	CANRA	280	0,1518
Ressaca_29-DP01B-11-15_2_Ampliado_2009	CANRA (Estação 17)	785,8	0,3341
Sarandi_29-DS0102-05-09	CANRA (Estação 18)	254,5	0,2358
Sarandi_29-DS0102-06-09	CANRA	468,8	0,1067
Vilarinho_28	CANRA	876,5	0,4906
Vilarinho_28_G31-G38	CANRA (Estação 06)	772,2	0,9713
Vilarinho_28-DP01E-55-67	CANRA	79,2	0,1263

Modificado de PBH, 2000; PBH, 2009b. legenda: CANLN: canal natural em leito natural; CANRA: canal natural revestido aberto.

A única bacia de detenção considerada para a simulação no trecho foi a Lagoa da Pampulha, tendo em vista sua maior influência no regime hidrológico da Bacia. Para o reservatório da Pampulha, foi adotada a curva cota-área-volume e curva de descarga calculadas por Vianini Neto (2016) e apresentadas na Figura 5.6 e Figura 5.7. Ressalta-se que o reservatório da Pampulha possui dois extravasores, sendo um tulipa e um canal lateral de soleira livre.

Sabe-se que outras bacias de detenção podem influenciar o regime hidráulico da bacia, todavia tendo em vista a ausência de cadastro disponível para consulta, assumiu-se que os parâmetros hidrológicos da bacia são suficientes para representar o efeito de amortecimento das cheias provocado pelas bacias de detenção.

Figura 5.6 – Curva cota-área-volume do reservatório da Barragem da Pampulha (VIANINI NETO, 2016)

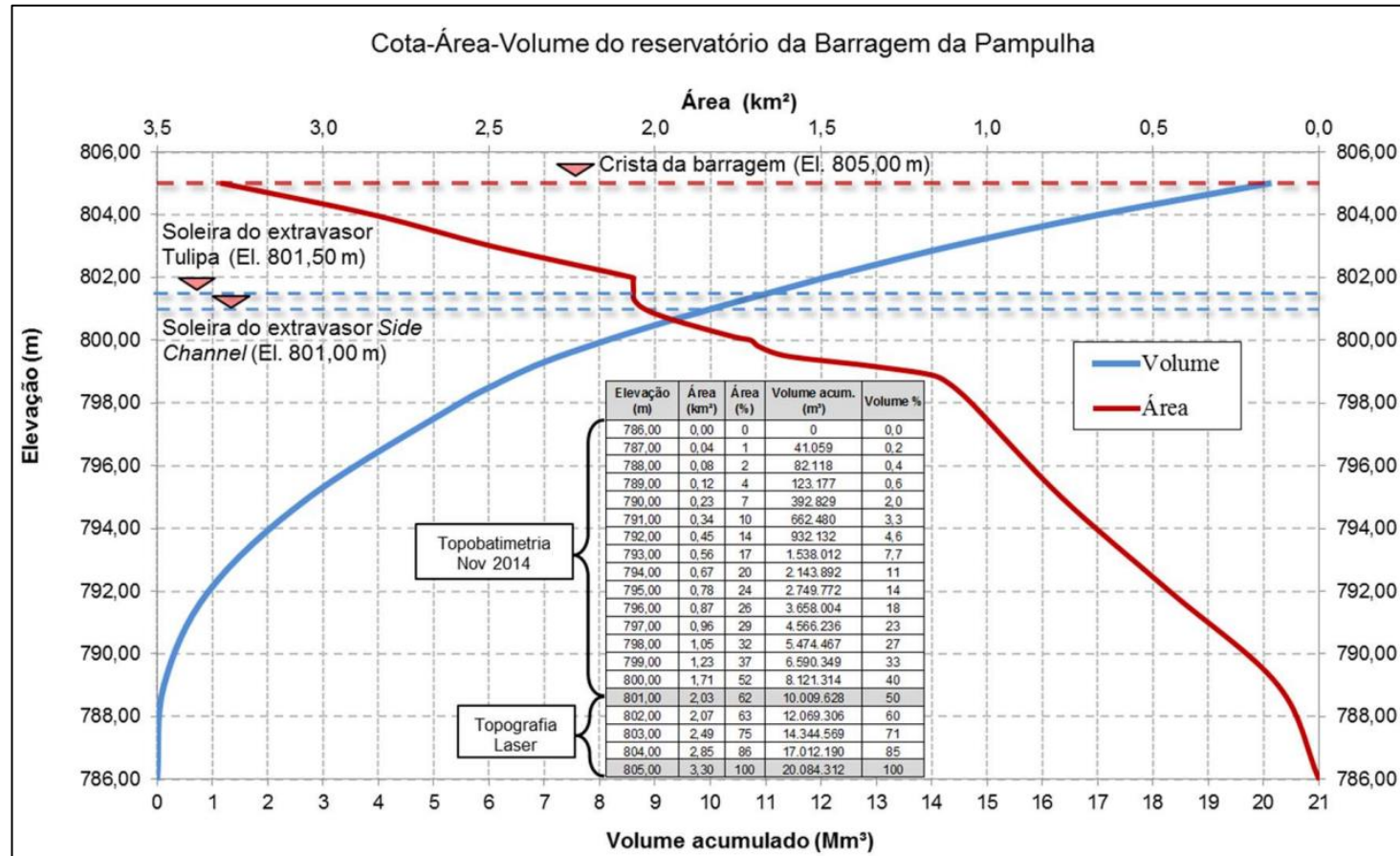
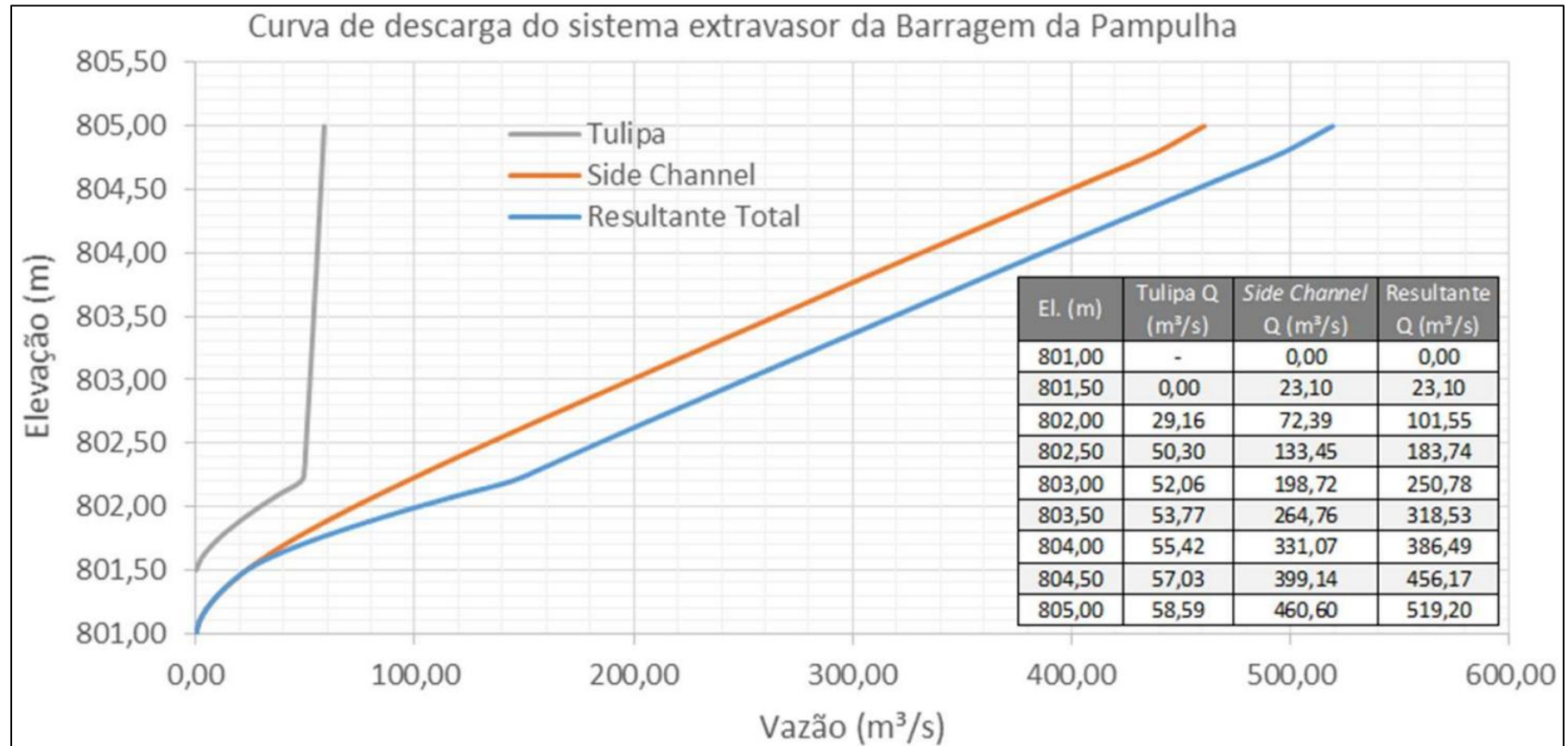


Figura 5.7 – Curva de descarga do sistema extravasor da Barragem da Pampulha (VIANINI NETO, 2016)



5.1.5. Estimativa da precipitação média sobre as sub-bacias

Para obter a precipitação média de cada sub-bacia com base na localização das estações de monitoramento foi utilizada interpolação linear entre as estações pluviométricas contidas na bacia. A interpolação linear foi realizada através técnica de geometria computacional conhecida também polígonos de Thiessen ou diagrama de Voronoi. Essa técnica consiste em traçar a mediatriz entre as estações vizinhas, criando linhas divisórias e por consequência os polígonos de influência de cada uma das estações de monitoramento. Cada ponto dentro de cada polígono está mais próximo de um mesmo pluviômetro em seu interior.

Por criar territórios de influência, esta técnica considera que a precipitação em cada polígono foi exatamente idêntica ao registrado pelo pluviômetro central. Isso é claramente uma fonte de incertezas, tendo em vista a variabilidade espacial das precipitações, e que aumenta à medida em que maiores são os polígonos de influência criados e menor o número de pluviômetros em uma mesma área (DWELLE *et al.*, 2019; GHOSH; GELFAND; MØLHAVE, 2012). Apesar disso, diante da ampla cobertura da bacia hidrográfica por estações pluviométricas, tendo 21 estações pluviométricas em uma área de 214 km² (PBH, 2016), e ciente de que a análise das melhores alternativas para interpolação das precipitações sobre a bacia excede o escopo da presente pesquisa, optou-se pelo uso da técnica supracitada. A técnica foi aplicada com auxílio do *software* QGis v. 3.4 e a ferramenta “*Voronoi Polygons*”.

Em seguida, as 15 sub-bacias foram sobrepostas aos polígonos de influência das estações de monitoramento. Dessa forma, foi calculado o percentual da área de cada sub-bacia que está sob influência de cada estação de monitoramento. Por fim, para obter as precipitações médias de cada sub-bacia foi realizado o somatório da multiplicação entre o percentual da área da sub bacia *i* sobre influência da estação *j* pela altura precipitada na estação *j*, com *j* sendo o número de estações influentes sobre a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Onça. A Equação 5.1 descreve matematicamente o cálculo da precipitação média sobre cada sub-bacia analisada.

$$P_i = \sum A_{i,j} \times p_j$$

Equação 5.1

Onde,

P_i = precipitação média da sub-bacia i ;

p_j = precipitação observada na estação j ;

$A_{i,j}$ = percentual da área da bacia i sob influência da estação j

5.1.6. Calibração do modelo chuva-vazão ou chuva-cota fluviométrica

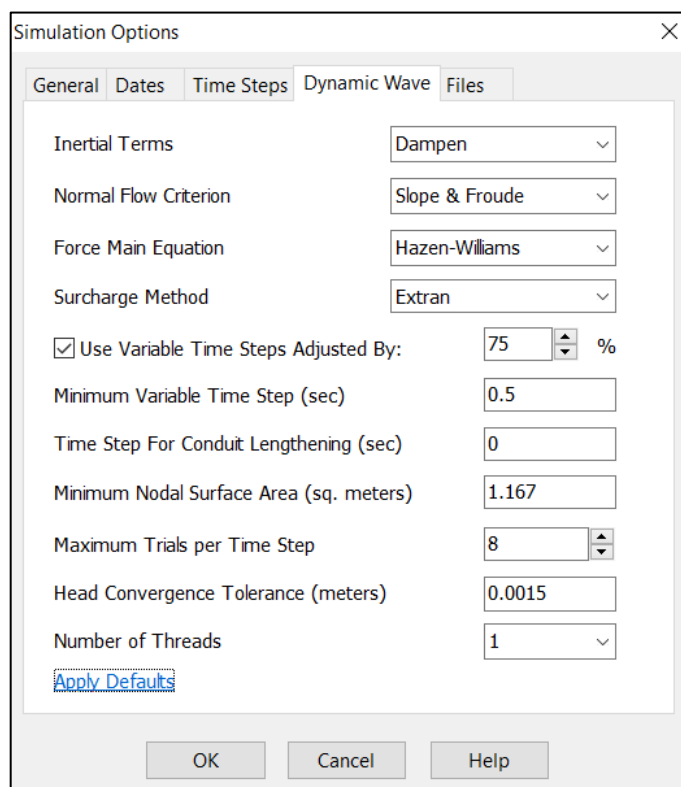
Medições do fluxo em corpos hídricos quase sempre ocorrem por meio do registro do nível d'água e da velocidade do escoamento em determinada seção de controle (eg. ARICÒ; NASELLO; TUCCIARELLI, 2009), e, a partir disso, elaboram-se as curvas cota descarga (ou curva chave) de determinada seção. A velocidade apresenta grande importância na estimativa da vazão devido ao fato que uma mesma vazão pode resultar em cotas distintas por efeito de histerese em regime de escoamento não-permanente.

No presente trabalho é feita a calibração do modelo hidrológico com base nos dados de chuva - cota fluviométrica. Isso foi necessário pois não existe medição de velocidade ou da descarga líquida ou ainda curvas cota-descarga (ou curvas-chave) nas seções onde são localizadas as estações de monitoramento fluviométrico.

Deste modo, este foi um dos pontos responsáveis por aumentar a incerteza da metodologia aplicada. Visando reduzir essa incerteza, foi utilizado um número elevado de eventos de precipitação (ver item 5.1.3), bem como foram calibrados vários pontos ao longo da bacia – Estações limnimétricas 09, 10, 18, 17 e 06 (Para localização, ver item 5.1.2).

5.1.7. Calibração e validação do modelo hidrológico

Na modelagem hidrológica, adotaram-se as seguintes equações para a reprodução de processos hidrológicos no programa SWMM: Modelo de infiltração proposto pelo *Soil Conservation Service (NRCS)* utilizando o parâmetro *Curve Number*; modelo de propagação de fluxo: onda dinâmica, sendo os parâmetros da onda dinâmica mantidos no padrão do programa (Figura 5.8).

Figura 5.8 – Parâmetros de onda dinâmica adotados na simulação

Para a calibração do modelo no software SWMM foram utilizadas as seguintes informações das sub-bacias hidrográficas: (i) parâmetros geométricos das sub-bacias; (ii) uso e ocupação do solo; (iii) cadastro dos canais de macrodrenagem da bacia.

Os parâmetros geométricos e morfológicos foram obtidos por meio de rotinas de geoprocessamento para as sub-bacias delimitadas com base no Modelo Digital de Superfície. Foram estes: Área da bacia, Largura da bacia “W”, perímetro da bacia, declividade, variação altimétrica (dH) e comprimento do curso d’água principal. A largura da sub-bacia foi estimada por meio da raiz quadrada da sua área, semelhante ao método adotado por Siqueira (2017), que utilizou o modelo SWMM para a modelagem da bacia do Córrego Cachoeirinha, afluente do Ribeirão Onça, tendo obtido bons resultados.

GARCIA et. al. (2004) avaliaram o efeito de uma maior discretização da bacia hidrográfica em sub-bacias ao inserir no SWMM. Os autores identificaram que uma maior divisão da bacia, sem um aumento no detalhamento dos parâmetros, não provoca melhoria na calibração do modelo. Neste sentido, para a bacia do Ribeirão

Onça, a divisão em sub-bacias respeitou a disponibilidade e nível de detalhes dos dados disponíveis.

Os parâmetros de uso e ocupação do solo foram obtidos a partir da caracterização de uso do solo realizada pelo projeto MapBiomas a partir de imagens do satélite Landsat registradas em 2018 com resolução espacial de 30 metros (MAPBIOMAS, 2020). A partir desses dados e fazendo uso dos valores típicos apresentados no Manual do Usuário do SWMM 5.1 (USEPA, 2015), foram estimados os parâmetros: armazenamento em depressões de áreas impermeáveis (Paimp); armazenamento em depressões de áreas permeáveis (Paperm); rugosidade das áreas impermeáveis (Nimp) e rugosidade das áreas permeáveis (Nperm).

O modelo de infiltração do SWMM que faz uso do *Curve Number* apresenta algumas particularidades quando comparado ao proposto pelo *Natural Resources Conservation Service* (NRCS), antigo *Soil Conservation Service* (SCS). Por exemplo, como demonstrado em Open SWMM (2009), este modelo não calibra o parâmetro *Curve Number* (CN) para as áreas indicadas como impermeáveis na bacia (%Imperm), o valor do CN varia de 0 a 100, sendo 0 um valor teórico que representa completa permeabilidade e 100, completa impermeabilidade. Para o *software* a área indicada como impermeável automaticamente assume valor fixo (99). No processo de cálculo da chuva efetiva, o modelo combina o CN de áreas impermeáveis (fixo) com os valores de CN calibrados para as áreas permeáveis. Por isso, o %Imperm é um dos parâmetros mais relevantes para a análise em ambiente urbano.

Ainda para cálculo do CN, foi utilizada a caracterização de solos do Brasil intitulado como MAPBIOMAS, produzida pela EMBRAPA (2011), junto da classificação hidrológica dos solos proposta pelo SCS. Para cada sub-bacia foi identificado o percentual de uso e ocupação do solo, tendo sido discretizados em 3 tipos, a saber: Pastagem (CN 79); Savana e floresta plantada (CN 66), floresta natural (CN 55), sendo o valor adotado inicialmente para o CN definido conforme manual do usuário do SWMM (USEPA, 2015).

O percentual de água e área urbana foi considerado como percentual impermeável da bacia (%Imperm). Todavia, para simular as abstrações hidrológicas ocorridas sobre a área impermeável foram utilizados os parâmetros PA_{imp} e N_{imp} , que representam

respetivamente o armazenamento nas áreas impermeáveis e rugosidade das áreas impermeáveis. Os valores foram adotados em função das recomendações existentes no manual do usuário do SWMM, elaborado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2015).

Todos os parâmetros das bacias descritos acima estão apresentados na Tabela 5.5 e Tabela 5.6.

Os parâmetros alterados durante o processo de calibração foram: Largura “W”, declividade, %Imperm, N-Imperm, N-Perm, Paimp, Paperm, %Zero-Imperv. Os parâmetros foram modificados dentro dos limites sugeridos pelo Manual do Usuário do SWMM 5.1 (USEPA, 2015) e de autores que realizaram avaliações semelhantes sobre as sub-bacias (SIQUEIRA, 2017; VIANINI NETO, 2016). Para avaliar o desempenho do modelo foi utilizado o coeficiente de Nash-Sutcliffe (NASH & SUTCLIFFE, 1970) (Equação 5.2),

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_{obs,i} - x_{model})^2}{\sum_{i=1}^n (x_{obs,i} - \overline{x_{obs}})^2} \quad \text{Equação 5.2}$$

Onde,

NSE = coeficiente de Nash-Sutcliffe;

$x_{obs,i}$ = valor observado;

x_{model} = valor modelado;

$\overline{x_{obs}}$ = média dos valores observados.

O NSE tem o limite superior em 1 e não possui limite inferior. O critério de Nash-Sutcliffe é uma medida do percentual de representação pelo modelo da variância da variável modelada, no presente caso, as cotas de nível d'água observadas nas estações fluviométricas. O valor de NSE igual 1 indica que o modelo representa 100% da variância da variável observada. NSE igual a zero indica que o modelo não traz uma melhor representação do sistema do que o simples cálculo da média aritmética

da série temporal da variável observada. Valores negativos de NSA indicam que o desempenho do modelo é inferior ao simples cálculo da média aritmética.

Como critério de avaliação da calibração do modelo, foi realizada uma análise conjunta dos valores de NSE obtidos com a comparação gráfica entre os limnigramas simulados e observados em cada evento e em cada estação limnimétrica. Não foi adotado um valor fixo de NSE para considerar o modelo satisfatório devido ao fato de que valores baixos de NSE podem ser encontrados mesmo com elevada semelhança entre os limnigramas (MCUEN; KNIGHT; CUTTER, 2006).

No caso de falhas pontuais de medição das cotas observadas, foi realizada a média simples entre o valor imediatamente anterior e posterior ao dado faltante. Caso a falha ultrapassasse mais de dois valores consecutivos, os valores eram deixados em branco e não eram contabilizados para cálculo do NSE.

O processo de calibração consistiu na avaliação dos parâmetros que apresentam maior influência nos limnigramas resultantes e em seguida na sua alteração. O processo foi realizado para os seis eventos de precipitação destinados à calibração, sendo que foi repetido diversas vezes até serem obtidos resultados que conciliem (i) similaridade entre o limnigrama observado e o simulado e (ii) valores de NSE elevados para a maioria das estações de monitoramento. Este método é conhecido como método de tentativa e erro.

O objetivo desta etapa foi a calibração das estações 09 e 10, que estão imediatamente antes e após a área de implantação do Parque, entretanto, foram levados em consideração os limnigramas e NSE também das estações 18, 17 e 06 para atribuir maior confiabilidade ao modelo. A vazão de base de cada estação foi estimada com base na média das vazões observadas para a mesma estação antes de cada evento simulado em período que não se observou precipitação.

A validação, por sua vez, consistiu na aplicação do modelo com o conjunto de parâmetros que melhor representou as seis precipitações utilizadas na calibração, para a modelagem dos cinco eventos previamente selecionados para validação, quais sejam, de 23-26/01/2020; 01-06/01/2020; 05-06/12/2019; 24-27/12/2018 e 20-21/01/2013.

O NSE e os limnigramas observados e simulados foram utilizados para a avaliação do desempenho do modelo durante a validação, tendo sido utilizado os mesmos critérios de avaliação da calibração.

Tabela 5.5 – Parâmetros adotados para cada sub-bacia (Parte 1)

Sub-bacias	Area (ha)	Perímetro (m)	Largura "W" (m)	% Imperm	Declividade (%)	dH (m)	Comprimento curso principal (m)	Pa _{imp} (mm)	Pa _{perm} (mm)	N- perm	N- imp	CN
Isidora	2.811,102	46.893,178	1.909,60	63,30%	0,739%	64,00	8654,00	1,905	6,2010	0,5765	0,013	68,863
Vilarinho	1.595,014	35.118,705	4.373,24	95,60%	1,053%	89,50	8498,50	1,905	5,7264	0,5018	0,013	72,298
Nado	1.218,929	26.565,227	4.046,07	97,11%	1,485%	79,70	5367,00	1,905	6,7627	0,6650	0,013	59,800
Contribuição direta Onça 1	1.322,796	34.887,751	2.716,43	95,39%	0,567%	59,50	10493,93	1,905	5,6202	0,4851	0,013	74,002
Contribuição direta Onça 2	340,629	14.645,872	2.494,05	95,16%	1,015%	32,60	3212,00	1,905	6,1208	0,5639	0,013	65,512
Contribuição direta Pampulha	759,551	30.019,824	4.558,60	60,06%	0,211%	16,60	7857,07	1,905	5,4272	0,4547	0,013	75,401
Olhos D'água	365,185	16.132,271	6.533,00	85,73%	1,004%	41,00	4083,00	1,905	5,3571	0,4436	0,013	76,092
Bom Jesus	1.915,670	34.312,564	3.257,75	51,82%	1,818%	176,00	9682,73	1,905	5,8032	0,5139	0,013	72,384
Cachoeirinha	1.641,213	30.367,527	2.756,00	98,44%	1,277%	110,50	8656,01	1,905	5,5510	0,4742	0,013	74,498
Gorduras	737,900	20.171,964	1.909,60	95,87%	1,735%	94,10	5424,90	1,905	5,8875	0,5272	0,013	71,765
Mergulhão	622,112	20.885,404	4.373,24	69,53%	2,610%	159,73	6120,97	1,905	6,7499	0,6630	0,013	60,693
Ressaca	2.080,630	35.282,169	4.046,07	96,12%	1,768%	171,00	9673,80	1,905	6,2404	0,5827	0,013	65,736
Sarandi	4278,721	73.904,542	2.716,43	71,98%	1,231%	192,00	15596,00	1,905	6,3215	0,5955	0,013	67,873
Engenho Nogueira	1.062,533	33.560,567	2.494,05	85,27%	1,341%	142,60	10636,22	1,905	5,7806	0,5103	0,013	72,208

Legenda: %Imperv: percentual de área impermeável; N-Imp: rugosidade das áreas impermeáveis; N-Perm: rugosidade das áreas permeáveis; Pa_{imp}: Armazenamento em áreas impermeáveis em milímetros; Pa_{perm}: Armazenamento em áreas permeáveis em milímetros; %Zero-Imper:: percentual de área impermeável sem armazenamento; subarea-routing: destino da água após precipitar em uma das áreas; outlet: exultório; Pervious: área permeável; Percent Routed: percentual da precipitação direcionada para "subarea routing; dH: desnível do curso d'água principal

Tabela 5.6 – Parâmetros adotados para cada sub-bacia (parte 2 - área em m² exceto onde indicado)

Sub-bacias	Água	Água (%)	Savana	Savana (%)	Pastagem	Pastagem (%)	Floresta Plantada	Floresta Plantada (%)	Area Urbana	Area Urbana (%)	Floresta	Floresta (%)
Isidora	67.398,4	0,2%	495.073,7	1,8%	5.725.949,2	20,4%	14.321,6	0,1%	17.794.390	63,3%	4.013.884	14,3%
Vilarinho	0,0	0,0%	4.212,2	0,0%	523.146,1	3,3%	8.424,3	0,1%	15.248.401	95,6%	165.959	1,0%
Nado	15.160,4	0,1%	0,0	0,0%	113.707,1	0,9%	20.213,1	0,2%	11.837.233	97,1%	202.980	1,7%
Contribuição direta Onça 1	0,0	0,0%	5.895,1	0,0%	479.659,8	3,6%	0,0	0,0%	12.618.720	95,4%	123.688	0,9%
Contribuição direta Onça 2	0,0	0,0%	0,0	0,0%	97.289,0	2,9%	10.949,6	0,3%	3.241.456	95,2%	56.596	1,7%
Contribuição Direta Pampulha	1.579.070,3	20,8%	29.476,1	0,4%	1.255.938,7	16,5%	14.316,8	0,2%	4.561.667	60,1%	155.042	2,0%
Córrego Olhos D'água	136.506,2	3,7%	23.581,5	0,6%	342.085,5	9,4%	6.737,5	0,2%	3.126.093	85,7%	11.568	0,3%
Córrego Bom Jesus	5.895,2	0,0%	266.587,6	1,4%	6.586.723,0	34,4%	16.843,0	0,1%	9910608	51,8%	2.338.591	12,2%
Córrego Cachoeirinha	0,0	0,0%	5.051,7	0,0%	207.916,6	1,3%	1.247,5	0,0%	16.115.433	98,4%	41.037	0,3%
Córrego Gorduras	0,0	0,0%	10.947,4	0,1%	208.004,8	2,8%	0,0	0,0%	7.074.040	95,9%	86.005	1,2%
Córrego Mergulhão	282.856,6	4,5%	42.033,2	0,7%	552.325,8	8,9%	82.517,0	1,3%	4.325.022	69,5%	935.524	15,0%
Córrego Ressaca	0,0	0,0%	46.309,0	0,2%	437.444,7	2,1%	42.940,9	0,2%	19.975.414	96,1%	278.689	1,3%
Córrego Sarandi	41.259,8	0,1%	679.618,3	1,6%	6.092.917,8	14,3%	5.050,9	0,0%	30.720.473	72,0%	5.140.762	12,0%
Engenho Nogueira	0,0	0,0%	907,9	0,0%	1.131.807,7	10,7%	5.052,5	0,0%	9.050.009	85,3%	425.169	4,0%
Total (km²)	2.128	0.97%	1.610	1.38%	23.755	14.00%	0.229	0.10%	165.599	74.4%	13.975	9.19%

Nota: O uso do solo para todas as bacias foi adotado tipo B, conforme metodologia proposta pelo NRCS

5.1.8. Obtenção das chuvas de projeto

A Agência Nacional das Águas (ANA) disponibiliza em seu portal eletrônico, Sistema Nacional de Informações dos Recursos Hídricos (SNIRH) a localização das estações de monitoramento hidrológico, fluviométrico e pluviométrico, de responsabilidade dos estados e dos órgãos da federação. Algumas das estações disponibilizam seus dados através do próprio portal, outras requerem uma solicitação formal ao órgão responsável (ANA, 2020).

Além das indicadas pelo SNIRH, a prefeitura de Belo Horizonte possui e disponibiliza dados da rede de monitoramento hidroclimático com 42 estações distribuídas pela área do município e adjacências, com uma série histórica abrangendo os anos de 2011 a 2020. Os dados são registrados com um intervalo de 10 minutos.

A estação com maior série histórica identificada no SNIRH que se localiza sobre a bacia é a estação de monitoramento pluviométrico número 1943047, localizada próximo ao centro da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Onça, de responsabilidade da Divisão de Pesquisa do Instituto de Controle do Espaço Aéreo, órgão vinculado à Força Aérea Brasileira (ICE-DP, 2020). Essa estação apresenta dados do período entre 1951 e 2020.

Apesar de as estações supracitadas apresentarem séries temporais com dados mais recentes, optou-se por utilizar a curva de Intensidade, Duração e Frequência (IDF) já existente para o território onde a Bacia está inserida, elaborada por Pinheiro e Naghettini (1998) – Equação 5.3. Sua adoção se justifica também uma vez que atualmente é a equação IDF mais utilizada no meio acadêmico e profissional para estudos hidráulicos e hidrológicos na RMBH e, conforme constatado por Nascimento et. al. (2020), não foram constatadas diferenças expressivas na comparação nos quantis obtidos pela IDF de Pinheiro e Naghettini (1998) quando comparados com dados de precipitação mais atualizados.

$$\hat{I}_{T,d,j} = 0,76542 \times d^{-0,7059} \times P_j^{0,5360} \times \mu_{T,d} \quad \text{Equação 5.3}$$

Onde,

$\hat{I}_{T,d,j}$ = intensidade de precipitação média de duração d , do local j , associada ao período de retorno T ;

d = duração da precipitação

P_j = precipitação total anual média do local j

$\mu_{T,d}$ = quantil adimensional regional, obtido através da Tabela 5.7

A distribuição temporal das chuvas se deu conforme metodologia proposta por Huff (1967), em qual de acordo com a duração da chuva, a mesma apresentará uma curva de distribuição temporal, conhecidos como 1º Quartil (chuvas inferiores a 1 hora), 2º quartil (chuvas entre uma e duas horas), 3º quartil (chuvas de duas a quatro horas) e 4º quartil (chuvas de quatro a dez horas) (Figura 5.9).

Figura 5.9 – Distribuições temporais da precipitação para diferentes probabilidades de excedência e durações

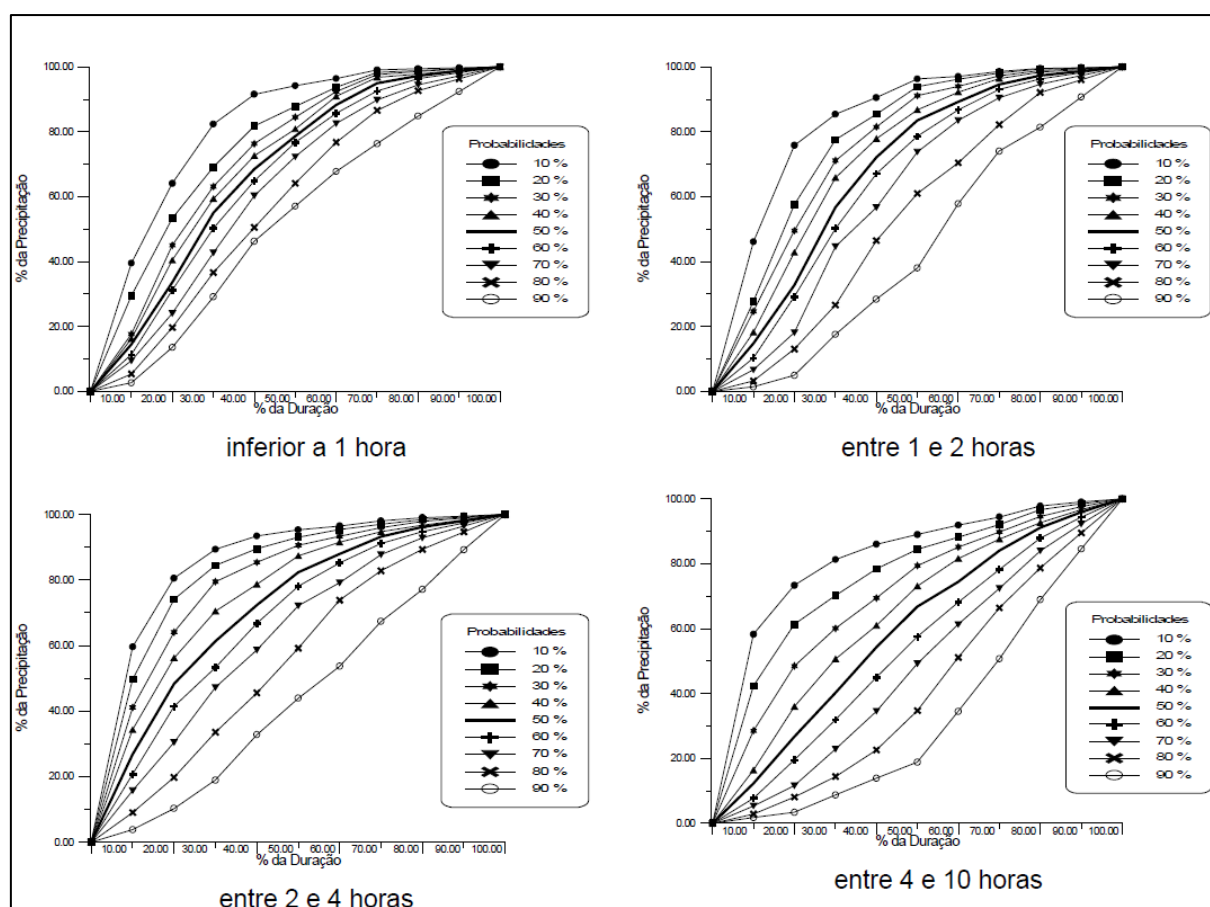


Tabela 5.7 – Quantis adimensionais de frequência para diversas durações de precipitação e tempos de retorno (PINHEIRO E NAGHETTINI, 1998)

Durações	Período de retorno (anos)										
	1,05	1,25	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
10 min	0,691	0,828	1,013	1,221	1,428	1,586	1,791	1,945	2,083	2,300	2,452
15 min	0,695	0,830	1,013	1,218	1,422	1,578	1,780	1,932	2,023	2,282	2,432
30 min	0,707	0,836	1,013	1,210	1,406	1,557	1,751	1,897	2,103	2,035	2,380
45 min	0,690	0,827	1,013	1,222	1,430	1,589	1,795	1,949	2,143	2,305	2,459
1h	0,679	0,821	1,014	1,230	1,445	1,610	1,823	1,983	2,125	2,353	2,512
90 min	0,681	0,822	1,014	1,228	1,442	1,606	1,818	1,977	2,134	2,344	2,502
2h	0,683	0,823	1,014	1,227	1,439	1,602	1,813	1,970	2,143	2,335	2,492
3h	0,679	0,821	1,013	1,229	1,445	1,610	1,823	1,983	2,108	2,353	2,512
4h	0,688	0,826	1,014	1,223	1,432	1,591	1,798	1,953	2,157	2,311	2,465
8h	0,674	0,818	1,014	1,233	1,451	1,618	1,834	1,996	2,157	2,370	2,531
14h	0,636	0,797	1,016	1,260	1,503	1,690	1,931	2,112	2,292	2,530	2,710
24h	0,636	0,779	1,017	1,284	1,550	1,754	2,017	2,215	2,412	2,672	2,862

5.1.8.1. Tempo de concentração da Bacia

Como estimativa inicial para obtenção do tempo de concentração da bacia (T_c), dado de entrada do modelo hidrológico, foi utilizada a equação de Kirpich Modificado, conforme é recomendado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre (DNIT) para bacias com mais de 10 km² de área (BRASIL, 2006) (Equação 5.4).

$$t_c = 85,2 \times \left(\frac{L^3}{dH} \right)^{0.385} \quad \text{Equação 5.4}$$

Onde,

t_c = tempo de concentração (min);

L = Comprimento do talvegue (km);

dH = desnível máximo da bacia (m)

Além do tempo de concentração, foi estimado para o modelo hidrológico a duração crítica da chuva, ou seja, a duração da chuva a qual provoca o maior pico de vazão no talvegue do ribeirão Onça. Isto se torna necessário uma vez que a bacia apresenta área de drenagem extensa (mais de 210 km²) e por apresentar reservatórios/bacias de retenção. Para tanto, após a calibração do modelo, foram simuladas chuvas de 100 anos de tempo de retorno e diferentes durações sobre o modelo da bacia hidrográfica, conforme discretização a partir dos quartis apresentados por Huff, (1967). A duração de chuva que provoca a maior vazão no ponto de interesse foi a duração crítica da chuva para a bacia.

Após a identificação da duração crítica, foram estimadas as precipitações com tempo de retorno equivalente a 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 e 1000 anos.

Após calibração e validação do modelo hidrológico, as chuvas de projeto foram simuladas e os produtos desta etapa em formato de hidrogramas e limnigramas de saída para cada chuva de projeto simulada foram utilizados como parâmetro de entrada do modelo hidráulico.

5.2. Modelo Hidráulico

Para construção, calibração e validação do modelo hidráulico foram utilizados os seguintes dados:

- Modelo Digital de Superfície (MDS) apresentado na seção anterior;
- Fichas cadastrais da macrodrenagem da Bacia do Ribeirão Onça (PBH, 2000), apresentadas na seção anterior. Nessa parte, foram utilizadas apenas as que fichas dizem respeito ao trecho do Ribeirão Onça em leito aberto;
- Rugosidade de Manning para a sub-bacia de contribuição direta do Ribeirão Onça (Cont. Dir. Onça 2), obtida e calibrada com o modelo hidrológico;
- Hidrogramas resultantes da simulação hidrológica das chuvas de projeto; e
- Carta de Inundações de Belo Horizonte (PBH, 2020b). Este dado serviu para comparação e validação com as manchas de inundação simuladas.

A modelagem hidráulica ocorreu por meio do *software* HEC-RAS 5.0.7, em 2 dimensões. Este programa soluciona numericamente as equações para águas rasas de Saint-Venant em uma e duas dimensões a cada célula de computação a cada intervalo computacional. Como resultado são apresentadas as velocidades e nível d'água respectivamente para uma e duas dimensões. Para tanto, deve ser elaborada uma malha com número de células compatível com o nível de detalhamento requerido e a capacidade computacional disponível.

Foi elaborada malha abrangendo todo o comprimento em leito natural do ribeirão Onça, desde o ponto da primeira Cachoeira (início do trecho em leito natural) até a confluência com o Rio das Velhas, com largura média de 300 metros. A malha abrangeu 3,59 km² de área e células computacionais de 10m x 10m, totalizando 38.440 células. O coeficiente de rugosidade de Manning adotado foi de acordo com recomendações da literatura (DNIT, 2009; TUCCI, 2003), sendo seus valores adotados conforme uso do solo e apresentados na Figura 5.10. O intervalo de computação adotado foi de 0,1 segundo para o modelo.

Na Figura 5.10 também são indicados os pontos onde foram adotadas condições de controle para entrada e saída de vazão do sistema. Foram adotados os pontos para

inserção de vazão 1 – Cachoeira do Ribeirão Onça a montante; 2 - Córrego Gorduras, contribuição direita ao Onça; e 3 – Ribeirão Isidora, contribuição esquerda ao Onça. Como condição de contorno de saída (jusante) foi considerada a confluência junto ao Rio das Velhas, com altura normal do fluxo e declividade de 1% em todas as condições de contorno.

O MDS antes de qualquer tratamento realizado é apresentado na Figura 5.11.

Figura 5.10 – Coeficiente de Manning adotado no modelo hidráulico

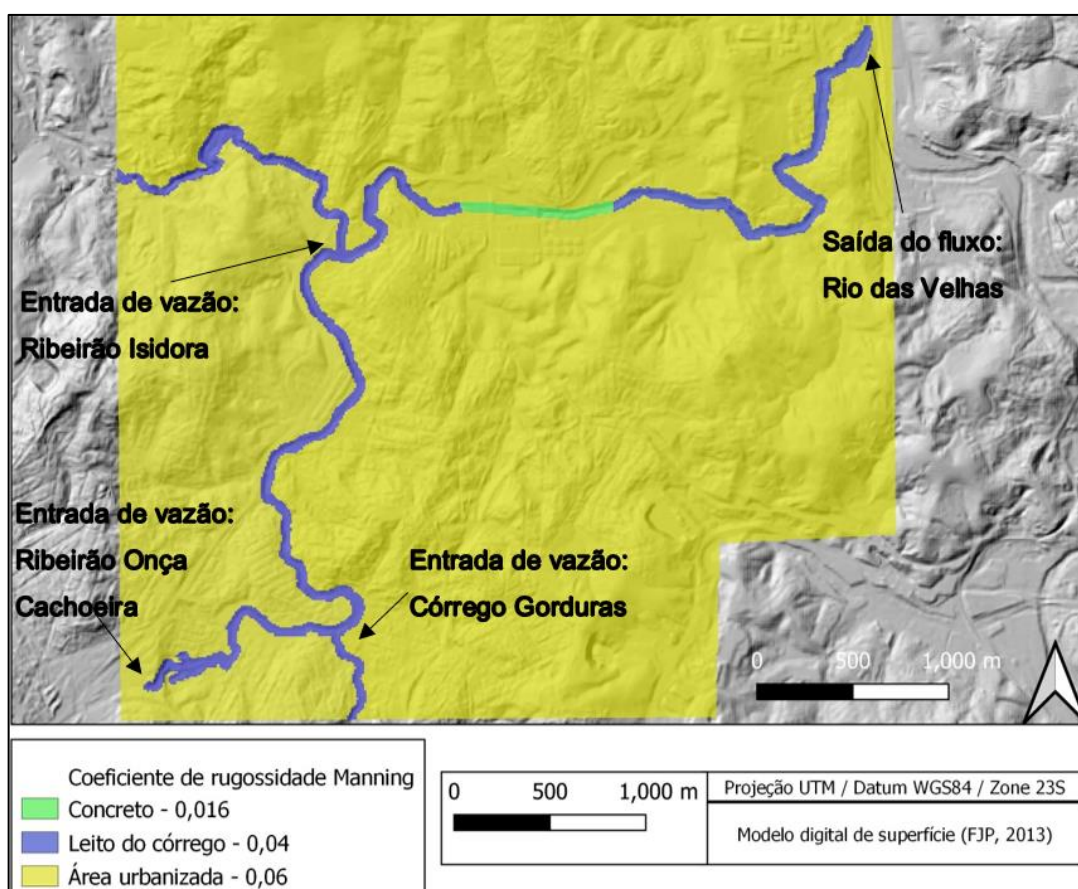
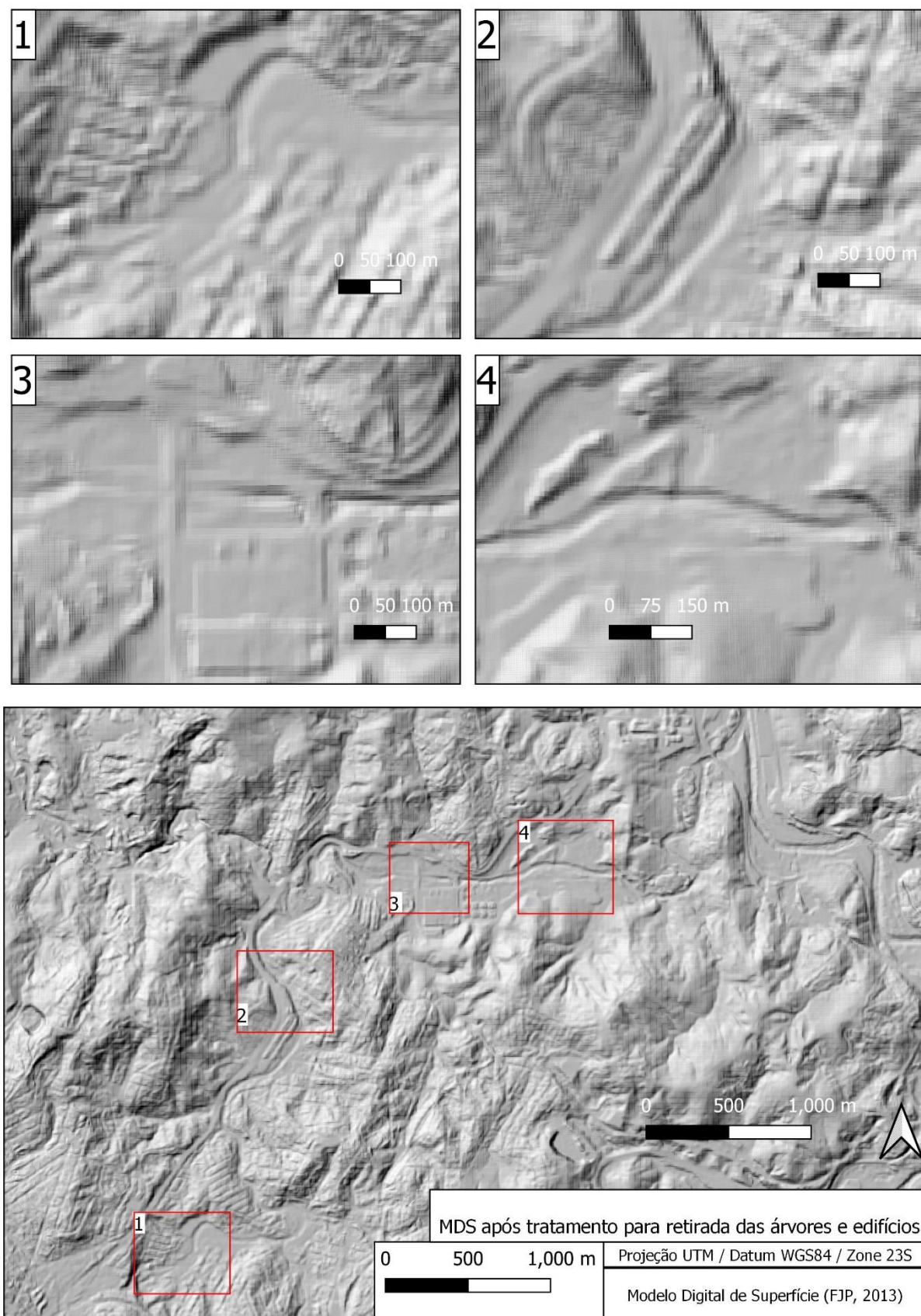


Figura 5.11 – MDS antes do tratamento para retirada das árvores e edifícios



5.2.1. Correção do Modelo Digital de Superfície

O MDS apresenta o nível do terreno com resolução de 1,2 metros, entretanto ele pode ser influenciado pela altura das árvores, pontes e viadutos principalmente na área ribeirinha do curso d'água. E, devido à indisponibilidade da batimetria do Ribeirão Onça, foi necessário construir artificialmente este dado de entrada, para ser combinado com o MDS e representar o leito principal e o nível do terreno nas margens potencialmente inundáveis do curso d'água. Este procedimento foi realizado por meio do *software* HEC Ras v.5.0 (USACE, 2016) com base nas Fichas Cadastrais da macrodrenagem local (PBH, 2000). Foram utilizadas as seguintes fichas relativas ao Ribeirão Onça: 27-DP01-06-15; 27-DP01-07-15; 27-DP01-08-15; 27-DP01-09-15; 27-DP01-10-15; 27-DP01-11-15; 27-DP01-12-15; 27-DP01-13-15; 27-DP01-14-15; e 27-DP01-15-15. Como exemplo é apresentada a ficha nº 08 na Figura 5.12.

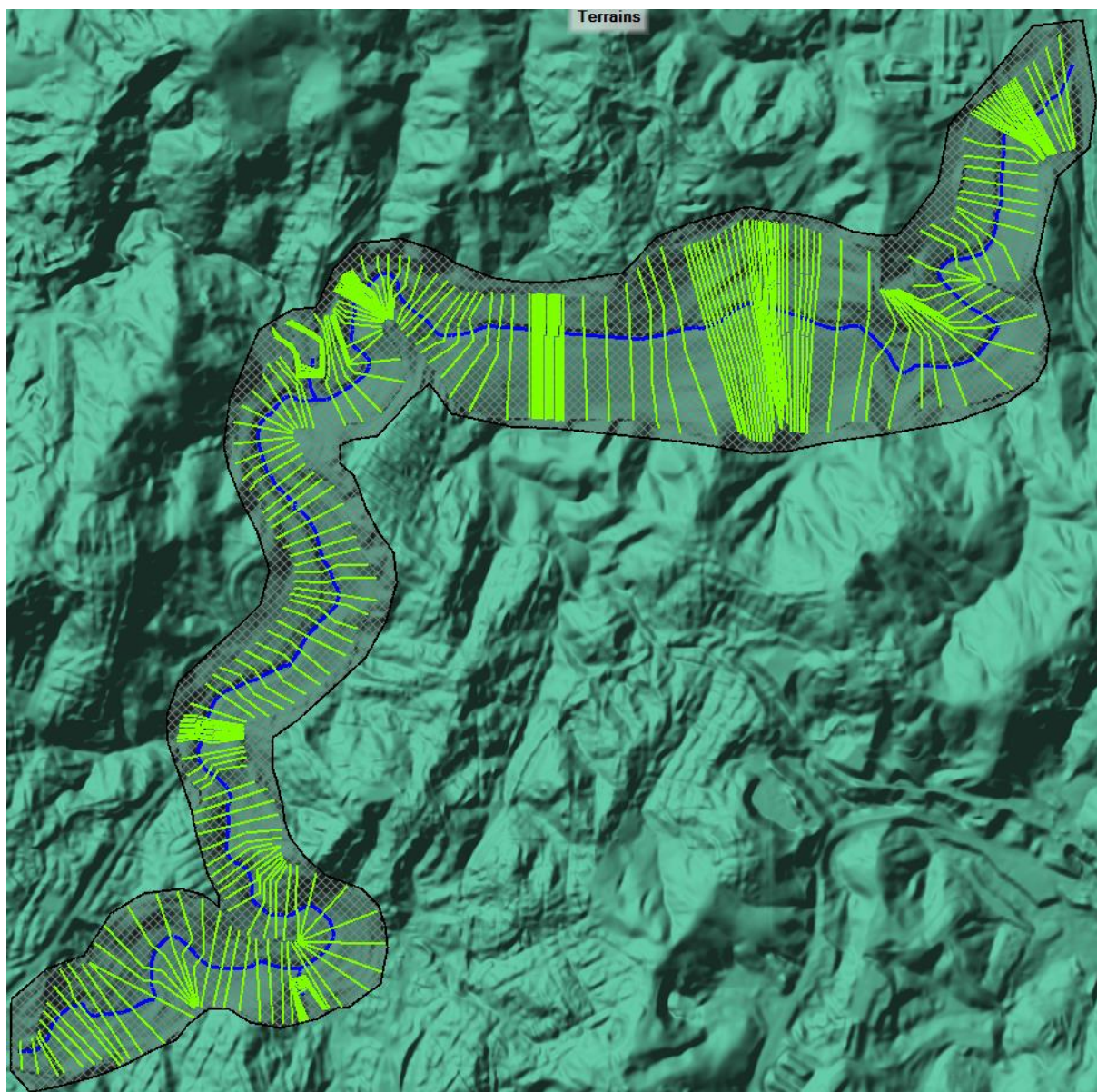
O *software* HEC RAS 5.0.7 permite a inserção de bueiros e pontes na simulação 2D quando combinadas com simulação em 1D. Todavia, foi identificada excessiva instabilidade dos cálculos computacionais, aumentando significativamente os erros numéricos obtidos. Em função destas limitações, não foi considerada no modelo a passagem do fluxo por bueiros, pontes e passarelas. Nestes trechos foi considerada seção livre sem a presença de obstruções como pilares de pontes ou bueiros na calha fluvial. Isto aumenta a incerteza do modelo em pontos localizados, reduzindo as manchas de inundação pontualmente. Todavia, diante da grande extensão do trecho simulado – mais de 5 quilômetros – entende-se que esses erros não impactam de forma relevante nos resultados finais da análise.

Figura 5.12 – Levantamento cadastral da macrodrenagem do Ribeirão Onça (PBH, 2000)

FOLHA: 08 / 15	LEVANTAMENTO CADASTRAL - MACRODRENAGEM	REGIONAL(IS): Norte																
GEOMETRIA DO CANAL EM LEITO NATURAL																		
LOCALIZAÇÃO: R. dos Reis Magos		CÓDIGO(S) DO(S) LOGRADOURO(S): 121657																
BAIRRO: São Gabriel	BACIA: Ribeirão da Onça	CÓDIGO DA BACIA: 4130002																
CURSO D'ÁGUA: Ribeirão da Onça	EXTENSÃO: 1865,00 m																	
CÓDIGO DE CAMPO: D.P.1	DATA DE CADASTRO: 3/13/2000	MAPAS: 5559 / 5659 / 5660																
PERFIL LONGITUDINAL <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="width: 20%;">PONTO INICIAL C3 X = 614101 Y = 7805396 Z fundo = 722,6</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">D4 Contribuição - Córrego Sem Nome - D.S.120 (L.D.)</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">E5 Contribuição do Córrego Gorduras - D.P.6 (L.D.)</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">F6 Contribuição - Córrego R. Carmem Costa - D.S.121 (L.D.)</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">G7 PONTO FINAL X = 614621 Y = 7806011 Z fundo = 714,4</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;"> Passarela de madeira no Braço Esquerdo da 1ª Ilha (L.E.) 190,00 m 805,00 m 230,00 m 640,00 m </td> </tr> </table>			PONTO INICIAL C3 X = 614101 Y = 7805396 Z fundo = 722,6	D4 Contribuição - Córrego Sem Nome - D.S.120 (L.D.)	E5 Contribuição do Córrego Gorduras - D.P.6 (L.D.)	F6 Contribuição - Córrego R. Carmem Costa - D.S.121 (L.D.)	G7 PONTO FINAL X = 614621 Y = 7806011 Z fundo = 714,4	Passarela de madeira no Braço Esquerdo da 1ª Ilha (L.E.) 190,00 m 805,00 m 230,00 m 640,00 m										
PONTO INICIAL C3 X = 614101 Y = 7805396 Z fundo = 722,6	D4 Contribuição - Córrego Sem Nome - D.S.120 (L.D.)	E5 Contribuição do Córrego Gorduras - D.P.6 (L.D.)	F6 Contribuição - Córrego R. Carmem Costa - D.S.121 (L.D.)	G7 PONTO FINAL X = 614621 Y = 7806011 Z fundo = 714,4														
Passarela de madeira no Braço Esquerdo da 1ª Ilha (L.E.) 190,00 m 805,00 m 230,00 m 640,00 m																		
DETALHES: Passarela L.E. - Ponto C3 Diagrama do Canal Coordenadas dos Pontos Notáveis <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>D4</th> <th>E5</th> <th>F6</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X = 614287</td> <td>X = 614891</td> <td>X = 615017</td> <td>X =</td> </tr> <tr> <td>Y = 7805394</td> <td>Y = 7805550</td> <td>Y = 7805690</td> <td>Y =</td> </tr> <tr> <td>Z fundo = 719,8</td> <td>Z fundo = 718,6</td> <td>Z fundo = 718,1</td> <td>Z fundo =</td> </tr> </tbody> </table>			D4	E5	F6		X = 614287	X = 614891	X = 615017	X =	Y = 7805394	Y = 7805550	Y = 7805690	Y =	Z fundo = 719,8	Z fundo = 718,6	Z fundo = 718,1	Z fundo =
D4	E5	F6																
X = 614287	X = 614891	X = 615017	X =															
Y = 7805394	Y = 7805550	Y = 7805690	Y =															
Z fundo = 719,8	Z fundo = 718,6	Z fundo = 718,1	Z fundo =															

Para correção do MDS foram traçadas 179 seções transversais, em seguida essas seções foram editadas manualmente para obedecer às cotas e formatos dos trechos de canais apresentados pelo cadastro das seções transversais oficiais, bem como minimizar ao máximo a interferência com construções e vegetação ciliar. As seções transversais são apresentadas na Figura 5.13.

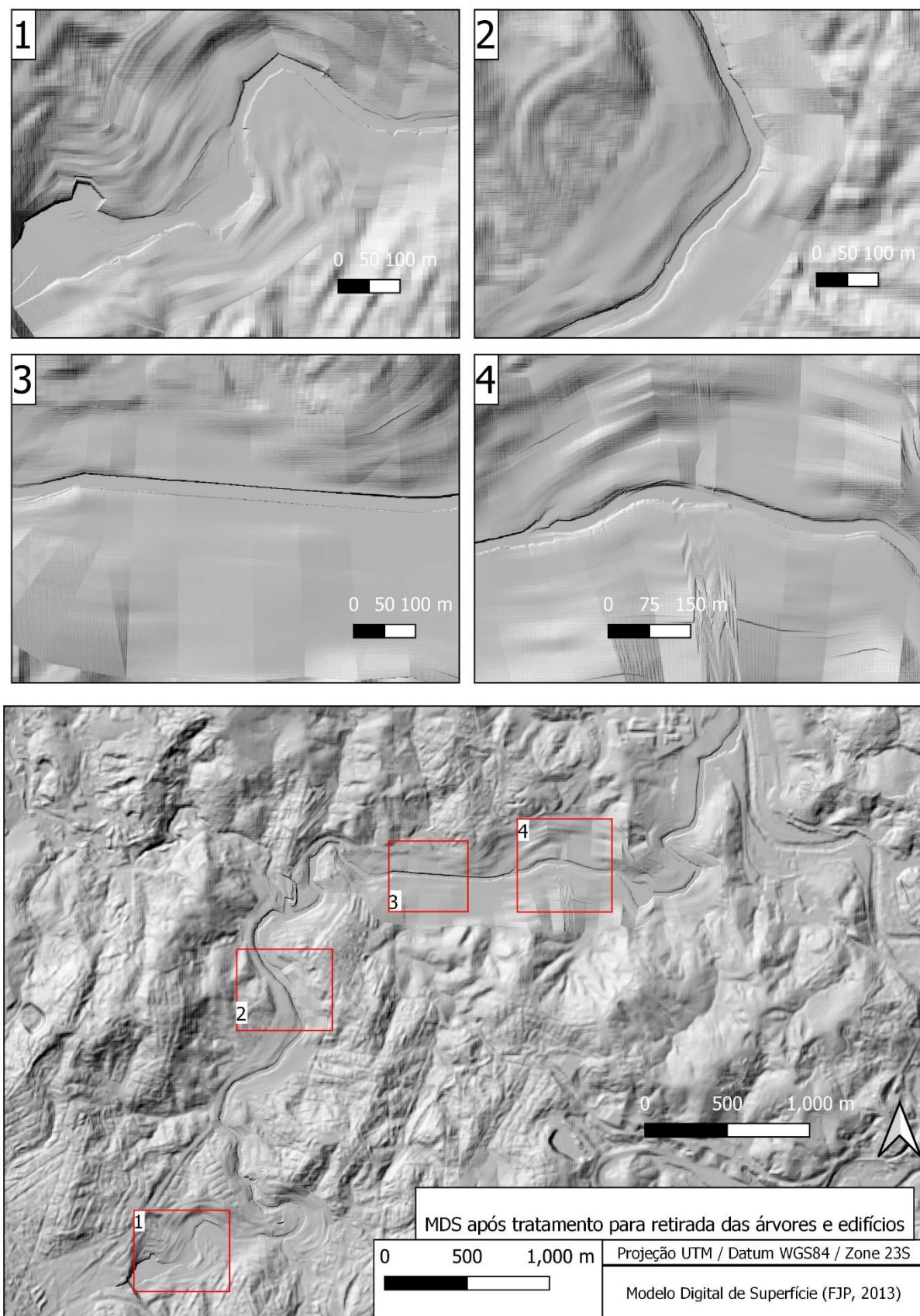
Figura 5.13 – Localização das seções transversais inseridas no modelo



Ressalta-se que as Fichas Cadastrais dos cursos d'água em leito natural, como é o caso destes trechos simulados, podem apresentar divergências com a atual batimetria tendo em vista que elas foram feitas no ano 2000 e eventual perda de solo e/ou assoreamento nestes trechos pode alterar a batimetria e topografia das margens do

curso d'água. Após a correção da elevação, retirando interferências de residências e árvores, foi obtido o MDT (Modelo Digital de Terreno) para a área de interesse, nas margens do Ribeirão Onça (Figura 5.14).

Figura 5.14 – MDS após tratamento para retirada das árvores e edifícios



5.2.2. Calibração e validação do modelo hidráulico

Para garantir que não houvesse perda de volume na transição entre os hidrogramas do modelo hidrológico que são utilizados como dados de entrada para o modelo hidráulico, realizou-se o procedimento descrito nos parágrafos seguintes.

Dividiu-se a área de drenagem da bacia em 3 áreas principais, de forma que o volume escoado por cada uma foi introduzido no modelo hidráulico em uma seção transversal específica representando as contribuições principais e laterais do curso d'água estudado. As áreas de drenagem foram divididas da seguinte maneira e podem ser vistas na Figura 5.5:

- Área 01: Sub bacias dos Córregos Sarandi, Ressaca, Mergulhão, Engenho Nogueira, Cachoeirinha, Olhos d'água, Bom Jesus, Contribuição Direta (CD) da lagoa da Pampulha e CD Ribeirão onça 1 (montante da cachoeira). → Contribuição a montante do trecho.
- Área 02: Córrego Gorduras e CD do Ribeirão Onça 2 (entre a cachoeira e a Estação de Tratamento de Esgotos do Ribeirão Onça). → Contribuição lateral à margem direita do trecho.
- Área 03: Córregos Vilarinho, Nado e Ribeirão Isidora → Contribuição lateral à margem esquerda do trecho.

O procedimento de calibração se deu por meio da avaliação da resposta em termos dos limnigramas do modelo hidráulico resultantes da simulação hidrológica dos cinco eventos de validação. A estação cujos dados simulados foram comparados aos observados foi escolhida em função de ser a estação que se encontra mais próxima do trecho onde será implantado o parque – Estação 09.

Para avaliação do sucesso na calibração, os resultados foram comparados com os dados observados pelo monitoramento hidroclimático da Prefeitura, e os mesmos critérios do NSE utilizados no modelo hidrológico foram adotados nesse caso. Nesse processo de calibração, modificaram-se os seguintes parâmetros: (i) o número de interações em 1D e 2D, (ii) o erro máximo da solução para a superfície de água e o (iii) coeficiente de rugosidade de Manning.

A validação do modelo hidráulico ocorreu de maneira qualitativa. Para validação, foi utilizada a Carta de Inundações de Belo Horizonte para comparar os limites indicados por ela e os limites indicados pela inundação de simulada com tempo de retorno equivalente a 100 anos – assume-se aqui que uma inundação associada ao tempo de retorno de 100 anos simulada deve apresentar resultados similares aos apresentados pelo município em sua carta de inundações (PBH, 2009a). Todavia, apesar de a carta de inundações do município se basear em eventos de recorrência centenária (TR 100 anos), a mesma foi corrigida e adequada com base em entrevistas à população, o que eventualmente pode distorcer a real mancha provocada por um evento com recorrência de 100 anos.

Em função de a carta apresentar desatualização, devido a eventuais mudanças do uso e ocupação do solo e novas obras de drenagem sobre a bacia de contribuição, a validação qualitativa do modelo visou identificar eventuais erros com base em áreas inundadas que divergissem muito entre a carta e o modelo. Ou seja, áreas extensas inundadas no modelo fora da carta de inundações ou áreas inundadas da carta de inundações não terem sido inundadas no modelo, seriam indícios para efetuar uma reavaliação mais criteriosa destes trechos no modelo.

Ao final da validação, obtendo resultados satisfatórios, foram simulados os hidrogramas das chuvas de projeto provenientes do modelo hidrológico. Assim, obtiveram-se as manchas de inundação respectivas a cada chuva de tempo de retorno de 02, 05, 10, 20, 50, 100, 200 e 1000 anos.

5.3. Cálculo do dano devido ao contato da água com edificações e seus conteúdos

Para efetuar o cálculo do dano decorrente ao contato da água com edificações e seus conteúdos, foram utilizados os seguintes dados:

- Setores censitários nas margens do Ribeirão Onça (IBGE, 2010);
- Edificações do município de Belo Horizonte, com dados referentes a área construída. Este dado foi obtido através do Mapa Interativo Oficial de Belo Horizonte (BHMAP) (PBH, 2020b);

- O número médio de habitantes por domicílio e a renda mensal domiciliar per capita por setor censitário, conforme o CENSO 2010;
 - a. Ressalta-se aqui que a utilização de dados do CENSO 2010 foi em função de até julho/2022 não ter sido feito levantamento censitário mais recente no Brasil. Isto certamente incorre em desatualização dos dados utilizados na pesquisa, tendo em vista que conforme Almeida *et. al.* (2022) existem evidências de campo que indicam uma forte tendência de adensamento em especial na região de estudo.
- A localização e área dos estabelecimentos cadastrados junto à Secretaria Municipal de Fazenda de Belo Horizonte – SFMA (PBH, 2020b); e
- Curvas de Dano por Profundidade Submersa (DPS) propostas por Machado (2005). Estas curvas são divididas de acordo com as classes socioeconômicas das residências impactadas, o setor impactado (residencial, comercial e de serviços) e a categoria da atividade caso seja comercial ou de prestação de serviços.

5.3.1. Cálculo dos danos sobre o setor residencial ao conteúdo e à construção

Para estimativa de danos produzidos pelo contato direto da água com os domicílios, no que diz respeito ao seu conteúdo e a edificação em si, foram utilizadas as curvas DPS propostas por Machado (2005). Estas curvas são divididas de acordo com as classes socioeconômicas das residências impactadas, a saber classes socioeconômicas A e B (Figura 5.15) e classes socioeconômicas C e D (Figura 5.16); as classes socioeconômicas decorrem da metodologia adotada pelo Critério Brasil (ABEP, 2021). Machado (2005) não atribuiu uma curva para a classe E devido à ausência de domicílios dessa classe em sua amostra disponível, por este motivo, o presente estudo agregou as classes C, D e E em um único grupo. Entende-se que isso é uma fonte de incerteza que pode elevar os danos totais encontrados.

Figura 5.15 – Curvas de danos x profundidade de submersão para o setor habitacional e classes socioeconômicas A e B (MACHADO, 2005)

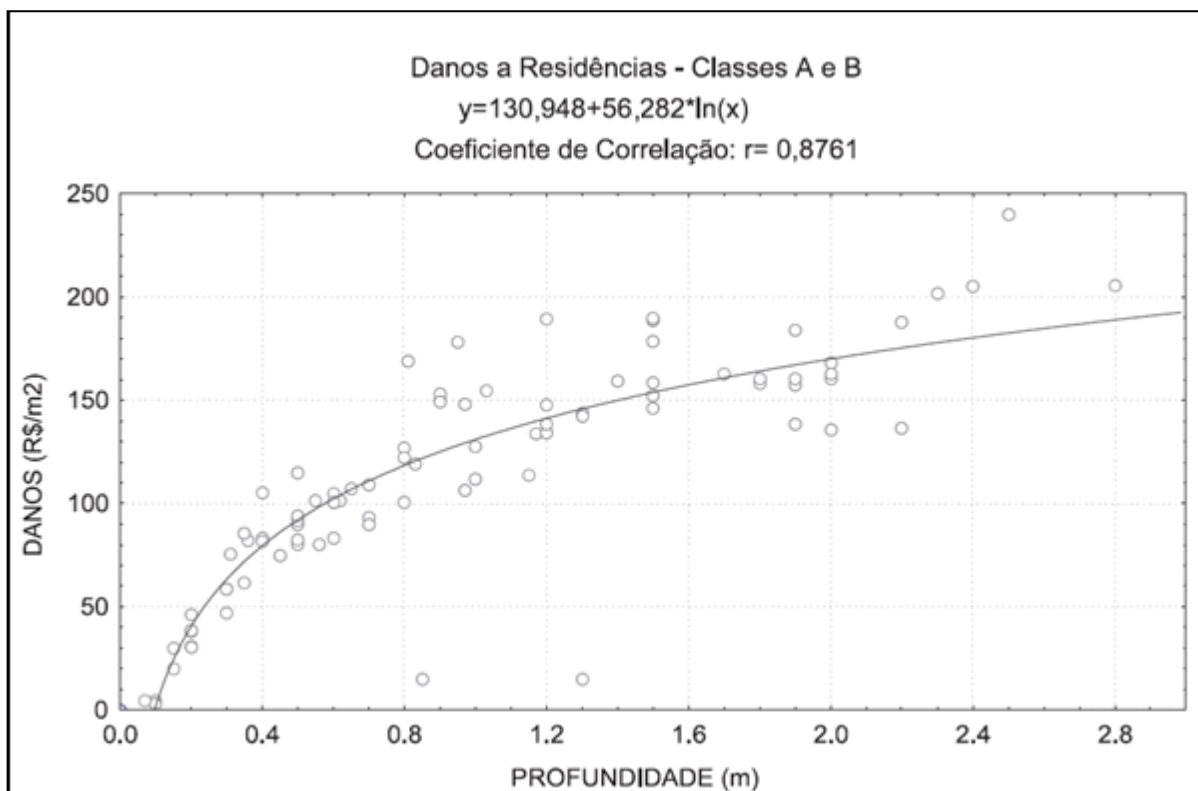
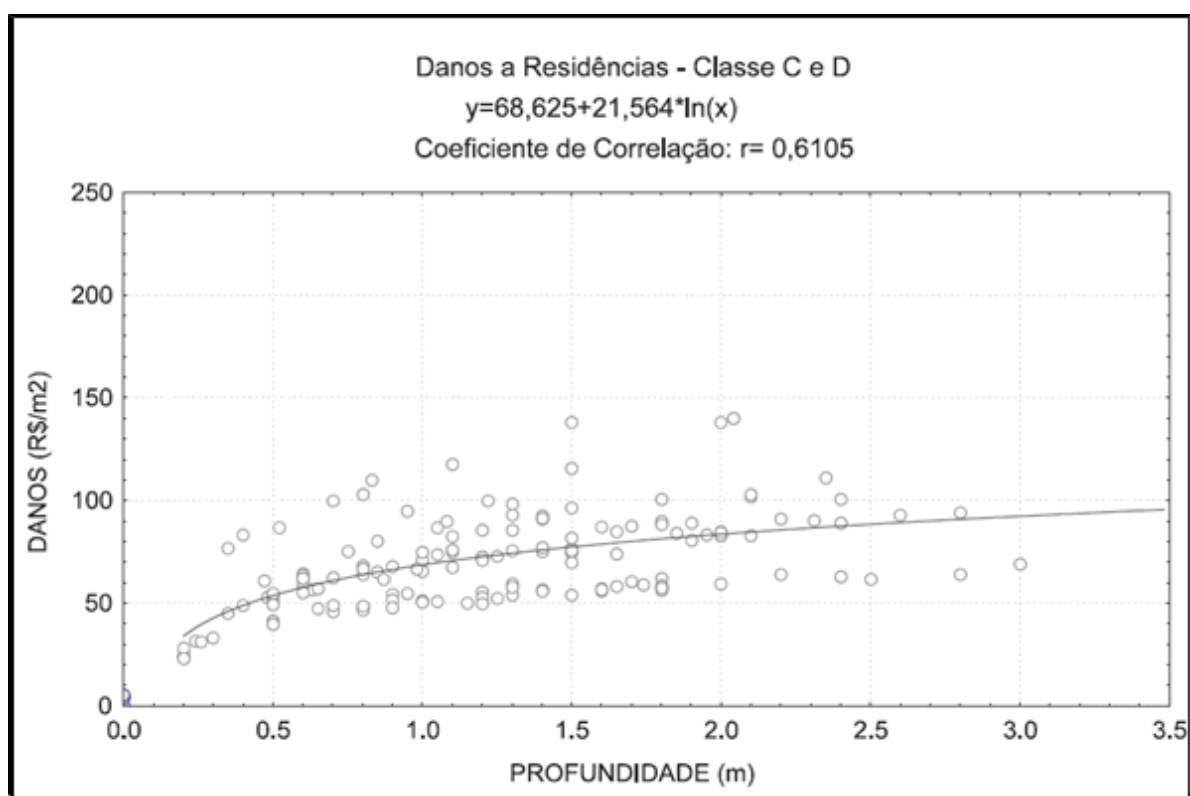


Figura 5.16 – Curvas de danos x profundidade de submersão para o setor habitacional e classes socioeconômicas C e D (MACHADO, 2005)



Conforme apresentado pela autora, as curvas mostradas na Figura 5.15 e Figura 5.16 são resultados de uma mescla entre dados empíricos (danos à construção) e modelos teóricos (danos ao conteúdo), e a dispersão mostra-se elevada, devido às incertezas deste tipo de metodologia. A autora ainda ressalta que as curvas DPS obtidas mostram danos relativamente elevados, como exemplo, para a profundidade de 1,0m, supondo uma residência com 100 m² de área construída, o prejuízo direto total (construção e conteúdo) seria de aproximadamente R\$ 13.100,00 no caso das classes A e B ou de R\$ 6.900,00 para as classes C e D (valores sem atualização temporal).

5.3.1.1. Tratamento dos dados do CENSO 2010

Para identificar a classe socioeconômica das famílias residentes da área de estudo impactada, foi realizado o seguinte procedimento:

- Visando facilitar o processamento em SIG, assumiu-se uma área de influência que poderia ser diretamente afetada devido aos eventos de inundação simulados. Essa área foi definida equivalendo a um *buffer* de 500 metros para cada lado ao longo do Ribeirão Onça, a partir do ponto previsto para iniciar a implantação do seu parque ciliar até sua foz no Rio das Velhas;
 - Para definição dessa área, levou-se em consideração que a maior inundação, de Tr equivalente a 1000 anos, não ultrapassa essa distância em nenhum ponto do trecho do Ribeirão Onça em estudo.
- foi obtido e identificado os setores censitários disponibilizados pelo levantamento do CENSO 2010 (IBGE, 2010) dentro da área de influência direta;
- Foram identificadas as edificações dentro da área de influência direta, sua localização e área construída. A Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte (PRODABEL) disponibiliza estes dados através do BHMAP (PBH, 2020b);
 - Uma hipótese adotada neste ponto foi de que para cada edificação cadastrada pela PRODABEL, reflete uma residência ocupada. Por consequência, não foram discriminadas edificações desocupadas em função da indisponibilidade destes dados.

- Foi identificada a média de habitantes por residência (edificação) em cada setor censitário (**n**). Esse dado está disponível na planilha “Básico-MG” (Coluna V002) da base de informações por setor censitário do CENSO 2010;
- Foi identificado o rendimento nominal mensal domiciliar per capita dos domicílios particulares de cada setor censitário (**R_{pc}**). Esse dado está disponível na planilha “DomicilioRenda_MG” da base de informações por setor censitário do CENSO 2010, (coluna V005 a V013);
- Calculou-se a renda familiar (**R_f**) de cada domicílio de acordo com a Equação 5.5; e

$$R_f = R_{pc} \times n \quad \text{Equação 5.5}$$

- Calculou-se a fração de domicílios que pertence a cada classe social, para cada setor censitário na área de influência direta, com base no parâmetro de renda apresentado Critério Brasil (ABEP, 2021).
 - Foi calculada a fração e não o número absoluto de residências que pertencem a cada classe social tendo em vista o anonimato do CENSO e consequente impossibilidade de identificar quais edificações impactadas correspondem a cada domicílio no CENSO e sua respectiva classe social.

Como o Critério Brasil apresenta elevada variância do parâmetro de renda, podendo haver sobreposição entre diferentes classes sociais sobre a mesma faixa de renda, é recomendado utilizar outros indicadores como o questionário completo de itens domésticos (ABEP, 2021). Entretanto, uma análise mais detalhada sobre o poder econômico da população local excederia a disponibilidade de recursos deste estudo, logo, optou-se por utilizar a renda como parâmetro de definição das classes sociais.

Para efetuar a análise das manchas de inundação sobre as edificações impactadas, inicialmente foi elaborado o MDT a partir da retirada da vegetação e superfície das edificações nas proximidades com o Ribeirão Onça, conforme demonstrado no item 5.2.1. Em seguida, considerou-se o centro geométrico da edificação como ponto de análise do nível d'água atingido em cada uma das edificações impactadas pela inundação.

Para discriminar os diferentes grupos de classes socioeconômicas que foram submetidas a diferentes curvas DPS, foi utilizada a fração de domicílios em cada setor censitário de cada classe social. Também foi levado em consideração que as residências de classe A e B apresentam área maior que as residências das classes C, D e E (Tabela 5.8). Deste modo, foi adotada a Equação 5.6 para o cálculo dos danos em cada residência:

$$Dano_x = f_{dps,A,B}(H_x) \times (A_{x,i} \times fração_{A,B,i} \times 0,7) + f_{dps,C,D,E}(H_x) \times (A_{x,i} \times fração_{C,D,E,i} \times 0,3) \quad \text{Equação 5.6}$$

Onde,

$Dano_x$ = dano sobre a residência x;

H_x = nível d'água atingido no centro geométrico da residência x;

$f_{dps,A,B}$ = curva DPS para classes A e B em função de H_x ;

$f_{dps,C,D,E}$ = curva DPS para classes C, D e E em função de H_x ;

i = setor censitário onde se encontra a residência x;

$A_{x,i}$ = área total da residência x do setor i;

$fração_{A,B,i}$ = fração dos domicílios das classes A e B sobre o total de domicílios no setor censitário i;

$fração_{C,D,E,i}$ = fração dos domicílios das classes C, D e E sobre o total de domicílios no setor censitário i;

E, 0.7 e 0.3 são pesos que representam a diferença de área construída dos domicílios das classes A e B quando comparada a domicílios das classes C, D e E. Esses valores foram adotados com base em dados apresentados por Machado (2005 – Figura 3.1) e são apresentados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Faixa de áreas construídas por classe

Faixa de áreas construídas por classe				
Classes	D	C	B	A
Área aproximada (m ²)	75	75	125	225
Peso relativo sobre a área construída total	0,15	0,15	0,25	0,45
Grupos de classes	A, B	C, D, E		
Peso por curva	0,7	0,3		

Fonte: Baseado em dados apresentados por Machado (2005 – Figura 3.1)

Sabe-se que em função de ter sido utilizados dados referentes ao ano de 2000 e ter sido realizado para a cidade de Itajubá, uma cidade de porte médio da região sul do estado de Minas Gerais, a 440 quilômetros de Belo Horizonte, o peso relativo por área construída pela edificação é uma fonte de incertezas neste trabalho porque o trabalho de Machado (2005) pode não refletir corretamente a realidade local. Todavia, esta proporção foi adotada neste trabalho por ser fruto de uma pesquisa revisada por pares e realizada no mesmo estado da Federação que o presente estudo de caso.

5.3.1.2. Considerações adotadas para utilização da curva DPS de Machado (2005)

De acordo com Machado (2005), as curvas DPS desenvolvidas *a posteriori* são ancoradas em dados empíricos levantados em áreas sinistradas por inundações, ou seja, posteriores à determinado evento de inundação. Procuram, portanto, representar danos efetivamente observados, porém, tornam-se mais dependentes do espaço amostral e suas características particulares. As curvas DPS ditas *a priori*, construídas com base no conhecimento técnico de especialistas podem ser mais abrangentes em relação à variabilidade das características das construções e dos conteúdos dos domicílios. Em ambos os casos, entretanto, além da atualização monetária, deve ser feita uma análise de sua atualidade com respeito à variabilidade dos bens expostos, sujeita a avanços tecnológicos, mudança de perfil dos consumidores e de distribuição de renda, adoção de técnicas do tipo proteção contra inundações nos domicílios, entre outros efeitos do tempo.

As curvas DPS desenvolvidas por Machado (2005) foram comparadas a curvas desenvolvidas *a priori* para bairros de Belo Horizonte (PARISI, 2012) e São Carlos (ABREU, 2019). Estes estudos mostraram boa conformidade dos resultados quando

se considera a dispersão de pontos amostrais das curvas DPS *a posteriori* propostas por Machado (2005). Em razão dos resultados obtidos por meio desses estudos comparativos (PARISI, 2012; ABREU, 2019) e da inviabilidade de fazer um estudo completo de sua atualização com respeito às características originais da amostra em Itajubá, procedeu-se apenas a uma atualização monetária das curvas de Machado (2005) para sua utilização na área de estudo em foco.

A atualização monetária dos valores dos danos obtidos com a curva DPS teve como base o Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), fornecido pelo Banco Central do Brasil (BRASIL, 2021). Tendo sido considerado a variação do índice entre os anos dos sinistros que geraram as curvas de Machado – 2002 – e a data de realização da presente pesquisa – setembro/2021.

Na intenção de evitar superestimativa dos danos nas edificações atingidas pela inundação, e ciente que o piso e os bens dentro de uma residência normalmente ficam com uma elevação mínima em relação ao solo, foi considerado que os danos sobre cada residência só ocorrem se a inundação atinge 0,20 metros de altura em seu centro geométrico. Essa altura mínima necessária para causar danos também foi aplicada em estudos semelhantes para evitar superestimação dos danos causados por inundação (MACHADO, 2005).

Por se tratar de uma área de ocupação residencial unifamiliar e devido à ausência de informações mais detalhadas disponíveis, admitiu-se que todas as edificações sofrem danos exclusivamente no primeiro pavimento e são utilizadas como residências.

Em seguida, somou-se o prejuízo de inundações estimado para cada residência para compor o prejuízo da área de estudo para cada evento de inundação simulado. E por fim, atualizou-se o valor obtido a partir das curvas DPS provenientes de danos estimados no ano de 2002 pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) acumulado até setembro 2021. Para tanto, foi utilizada a ferramenta oficial do Banco Central do Brasil, Calculadora Cidadão (BRASIL, 2021).

5.3.2. Cálculo dos danos para os setores de comércio e serviços

A localização e quantidade dos estabelecimentos comerciais e de serviços foi obtida por meio da Secretaria Municipal de Fazenda de Belo Horizonte (SMFA), que disponibiliza por meio de um mapa interativo fornecido pelo BHMAP (PBH, 2020b).

Ressalta-se que essa é uma base de dados diferente da base de dados utilizada para identificação das áreas das edificações e danos às residências. Ou seja, nem todo estabelecimento comercial e de serviços apresentou na primeira base de dados uma edificação no mesmo local. Neste sentido, entende-se que existe limitação dos dados obtidos e isso insere incerteza na análise aqui apresentada. Todavia, isto não compromete os resultados e a validade da análise realizada.

Para estimativa de danos produzidos pelo contato direto da água com os estabelecimentos de comércio e serviços, foram utilizadas as curvas DPS propostas por Machado (2005). Neste caso, as curvas são divididas de acordo com a tipologia (comércio ou serviço) e a respectiva atividade. As curvas utilizadas estão apresentadas nas equações 5 a 12 em formato de regressão logarítmica junto de seu coeficiente de correlação “r”, conforme apresentado pela referida autora:

$$y = 96,339 + 21,618 \times \ln(x); r = 0,4 \quad \text{Equação 5.7}$$

Serviços: Consultórios, escritórios;

$$y = 62,979 + 66,845 \times \ln(x); r = 0,543 \quad \text{Equação 5.8}$$

Serviços: restaurantes, lanchonetes, bares e cafés

$$y = 48,230 + 30,142 \times \ln(x); r = 0,619 \quad \text{Equação 5.9}$$

Serviços: Escolas;

$$y = 109,773 + 45,578 \times \ln(x); r = 0,606 \quad \text{Equação 5.10}$$

Serviços: consultórios odontológicos, salões de beleza,
barbearia;

$$y = 238,37 + 167,267 \times \ln(x); r = 0,658 \quad \text{Equação 5.11}$$

Comércio: supermercados, mercearias, armazéns;

$$y = 305,919 + 247,611 \times \ln(x); r = 0,594 \quad \text{Equação 5.12}$$

Comércio: lojas de departamento, armarinho, vestuário;

$$y = 120,338 + 52,873 \times \ln(x); r = 0,442 \quad \text{Equação 5.13}$$

Comércio: materiais de construção e ferragens;

$$y = 183,301 + 136,288 \times \ln(x); r = 0,547 \quad \text{Equação 5.14}$$

Comércio: veículos, motos, peças e acessórios;

Onde 'y' representa os danos por m² de área inundada e 'x' representa a altura da lâmina d'água atingida no estabelecimento.

Da mesma forma, as equações são provenientes de curvas DPS que mesclam dados empíricos (danos à construção) e modelos teóricos (danos ao conteúdo). Ademais, nota-se uma dispersão elevada a partir do baixo valor do coeficiente de correlação (r) em função das incertezas da metodologia.

Assim como nas residências, para evitar superestimação dos resultados obtidos, os danos sobre os estabelecimentos foram contabilizados apenas em estabelecimentos onde a inundação atinge no mínimo 0,20 metros de altura em seu centro geométrico. Também se considerou que todos os estabelecimentos se encontram no nível térreo.

Em seguida, somou-se o dano de todas os estabelecimentos para cada evento de inundação simulados. E por fim, atualizou-se o valor obtido a partir das curvas DPS com danos estimados no ano de 2002 pela variação do Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) acumulada até a data de finalização da presente pesquisa – setembro de 2021.

5.3.3. A esperança matemática dos danos evitados por inundações

Para a estimativa da esperança matemática anual dos danos evitados pelo parque será calculada aplicando-se a Equação 5.15 sobre a curva de probabilidade de excedência x custo dos danos similar à G₄ (ver Figura 3.2) e específica para a área em estudo.

$$D_{MA} = \int_0^1 D_i \times i \cdot di$$

Equação 5.15

Onde,

D_{MA} = Esperança matemática de danos anuais;

D_i = dano potencial relacionado a uma inundação específica com probabilidade de excedência i ;

i = probabilidade de excedência dos eventos hidrológicos simulados, variando de zero a um.

O Parque Ciliar do Ribeirão Onça, conforme apontado em seu diagnóstico propositivo, abrangerá a mancha de inundação de um evento com TR equivalente a 100 anos (PBH, 2014b). Neste sentido, para o cálculo da esperança matemática anual dos danos evitados pelo parque foram consideradas apenas as edificações dentro dos limites definidos pela mancha de inundação simulada do evento associado a 100 anos de TR. Estas edificações foram submetidas a todas as inundações simuladas, incluindo as de maior tempo de retorno, obtendo assim os danos para cada probabilidade de excedência.

No cenário em que o Parque está implantado, é esperado que também ocorra uma redução das manchas de inundação e profundidades observadas submersas. Isso se deve ao fato de no ambiente urbano existirem diversas obstruções que com a implantação do parque serão retiradas de forma a favorecer o escoamento. Por essa razão, é esperado que o dano provocado sobre as residências que estão fora da mancha de inundação de TR de 100 anos e dentro das manchas de 500 e 1000 anos, também seja reduzido com a implantação do parque. Entretanto, no presente estudo de caso este cenário não foi simulado.

5.4. Cálculo dos danos provocados pela poluição por esgotos

Para efetuar o cálculo dos danos provocados pela poluição por esgotos, utilizaram-se os seguintes dados:

- Quantidade de Domicílios com e sem esgotamento regular por setor censitário em Belo Horizonte disponibilizado pelo CENSO 2010 (IBGE, 2010).
- Média de moradores por domicílio por setor censitário em Belo Horizonte disponibilizado pelo CENSO 2010 (IBGE, 2010).
- Média global do custo per capita de operação dos serviços de coleta e tratamento de esgotos, apresentada por Pessoa (2019).

Além disso, admitiu-se que:

- Os moradores com esgotamento sanitário irregular na área de influência direta, representada por um raio de 500 metros para cada lado do Ribeirão Onça na área a ser implantada o parque, estão lançando esgotos brutos no curso d'água.
- A implantação do parque irá garantir coleta e tratamento de esgotos para os residentes dentro da área de influência direta do parque.

A metodologia para obtenção dos danos provocados pela poluição com esgotos consiste na (i) estimar o número de pessoas residentes na área de influência direta do Parque Ciliar do Ribeirão Onça que lançam seus esgotos diretamente no curso d'água, com base nos dados do CENSO, 2010; e (II) na estimar os Custos de Controle Evitados multiplicando o número de moradores com esgotamento irregular pelo custo médio de coleta e tratamento de esgotos para a mesma região de estudo, obtida por Pessoa (2019).

Em função de a metodologia não abranger todos os benefícios advindos para a sociedade a partir da existência de sistema de tratamento de esgotos adequado (com coleta, interceptação e tratamento), é fundamental enfatizar que essa tende a ser uma estimativa conservadora, subestimando os benefícios advindos do tratamento de esgotos.

5.4.1. Obtenção dos dados

Os dados dos domicílios que estão presentes na área de influência direta do parque foram obtidos através dos setores censitários delimitados pelo CENSO de 2010

(IBGE, 2010). A localização e a área dos edifícios construídos foram obtidas através do levantamento aerofotogramétrico realizado pela Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte – PRODABEL e publicado pela Prefeitura de Belo Horizonte (PBH, 2020).

Os domicílios com solução de esgotamento sanitário caracterizado pelo CENSO como “fossa rudimentar”, “via vala”, “via rio, lago ou mar” e “via outro escoadouro” foram considerados domicílios que possuem esgotamento sanitário irregular, e por consequência foi considerado que seus moradores lançam esgoto bruto nas margens do Ribeirão Onça. O número de moradores foi estimado a partir da média de moradores por domicílios por setor censitário com esgotamento sanitário irregular, indicado pelo CENSO 2010.

Um infortúnio deste trabalho foi a ausência do CENSO 2020, o qual até a presente data não foi divulgado pelo IBGE. Os dados mais recentes relativos à ocupação urbana, características da população e esgotamento sanitário não puderam ser utilizados neste caso. Neste sentido, optou-se por utilizar os dados referentes ao CENSO 2010 (IBGE, 2010), o que aumentou os níveis de incerteza dos resultados aqui obtidos.

5.4.2. Cálculo dos custos de controle evitados

A metodologia aplicada considera os custos relacionados à coleta e ao tratamento dos esgotos, e é descrita pela NBR 14653-6/2009 8.6.1.4 – Custos de controle evitados. Apresenta como finalidade valorar os danos ambientais por meio da estimativa dos gastos necessários que foram evitados para controlar ou minimizar as atividades ofensivas ao meio ambiente (ABNT, 2009).

Os custos relativos à coleta, tratamento de esgotos sanitários de determinada localidade variam de acordo com (i) a tecnologia de tratamento de esgotos; (ii) a localização da área de estudo, tendo em vista o possível ganho de escala em sistemas de tratamento de esgotos produzidos de áreas com grande adensamento urbano; (iii) política de subsídios entre áreas adensadas e superavitárias e áreas esparsas e deficitárias; (iv) ociosidade de redes; dentre outros (PESSOA, 2019; VON SPERLING, 2017).

Segundo Soares (2018) o Ministério Público de Minas Gerais (MPMG) para aplicação de multas a pessoas jurídicas que poluem ilegalmente os cursos d'água, aplica a metodologia dos custos de controle evitados a partir dos custos de manutenção e operação de um reator anaeróbico de fluxo ascendente apresentados por Von Sperling (2017). Entretanto, os valores de custo por tecnologia de tratamento apresentados por Von Sperling (2017) não levam em conta todos os parâmetros que influenciam o custo final ao consumidor e segundo o próprio autor serve apenas para dispor-se de uma aproximação dos valores médios aplicados no país.

Para entender os custos relativos a coleta e tratamento de esgoto em Belo Horizonte, deve-se conhecer minimamente as concessões de serviços de esgotamento sanitário às companhias estaduais de saneamento básico existentes no Brasil.

Em Belo Horizonte o serviço de esgotamento sanitário é de responsabilidade da COPASA, uma companhia estadual de economia mista. Esta companhia, como outras, promove o financiamento cruzado entre regiões deficitárias e superavitárias e, por lei, é obrigada a realizar investimentos constantes visando a universalização dos serviços para a população beneficiada (PESSOA, 2019). A estimativa do custo de tratamento e coleta de esgotos da população não é uma tarefa trivial em razão, por exemplo destes fatores supracitados.

Por essa razão, optou-se, para o presente estudo de caso, utilizar os resultados apresentados por Pessoa (2019) referentes ao custo médio global per capita de tratamento e coleta de esgotos por uma companhia estadual, tendo em vista a proximidade regional e semelhanças com a localidade em estudo.

Dessa forma, a estimativa dos custos de controle evitados relativos à coleta e tratamento dos esgotos lançados no Ribeirão Onça foi realizada pelo produto entre a média global do custo per capita segundo Pessoa (2019) pelo número de moradores com esgotamento irregular na área de influência direta. O resultado foi corrigido pelo IPCA entre agosto 2017, data base dos dados apresentados por Pessoa (2019), e setembro de 2021.

5.5. Segundo cenário: Intensificação da ocupação e parcelamento da área

Na hipótese de não haver a implantação do Parque Ciliar do Ribeirão Onça, supõe-se que as ocupações irregulares e até mesmo o parcelamento regulamentado das margens do Ribeirão Onça seria realizado, uma vez que isto foi visto em grande intensidade na região norte de Belo Horizonte nas últimas décadas (PBH, 2016; SENRA, 2018) e as pesquisas mais recentes indicam um adensamento populacional nessa região (ALMEIDA et. al. 2022). Aliado a desatualização dos dados do CENSO 2010 que foram utilizados, optou-se por estimar os danos provocados pelas inundações e lançamento de esgotos brutos sob um segundo cenário de intensificação da ocupação e parcelamento da área.

Como principal parâmetro para estimar este segundo cenário, foram utilizados o padrão construtivo das quadras, calçamento das ruas, disposição espacial uniforme e área média construída das edificações próximas ao leito do córrego, a partir de dados fornecidos pela Prefeitura (PBH, 2020b). Dessa forma, a partir da existência de lotes vagos identificados no cadastro imobiliário do banco de dados da prefeitura, estimou-se um aumento acentuado na ocupação destas áreas.

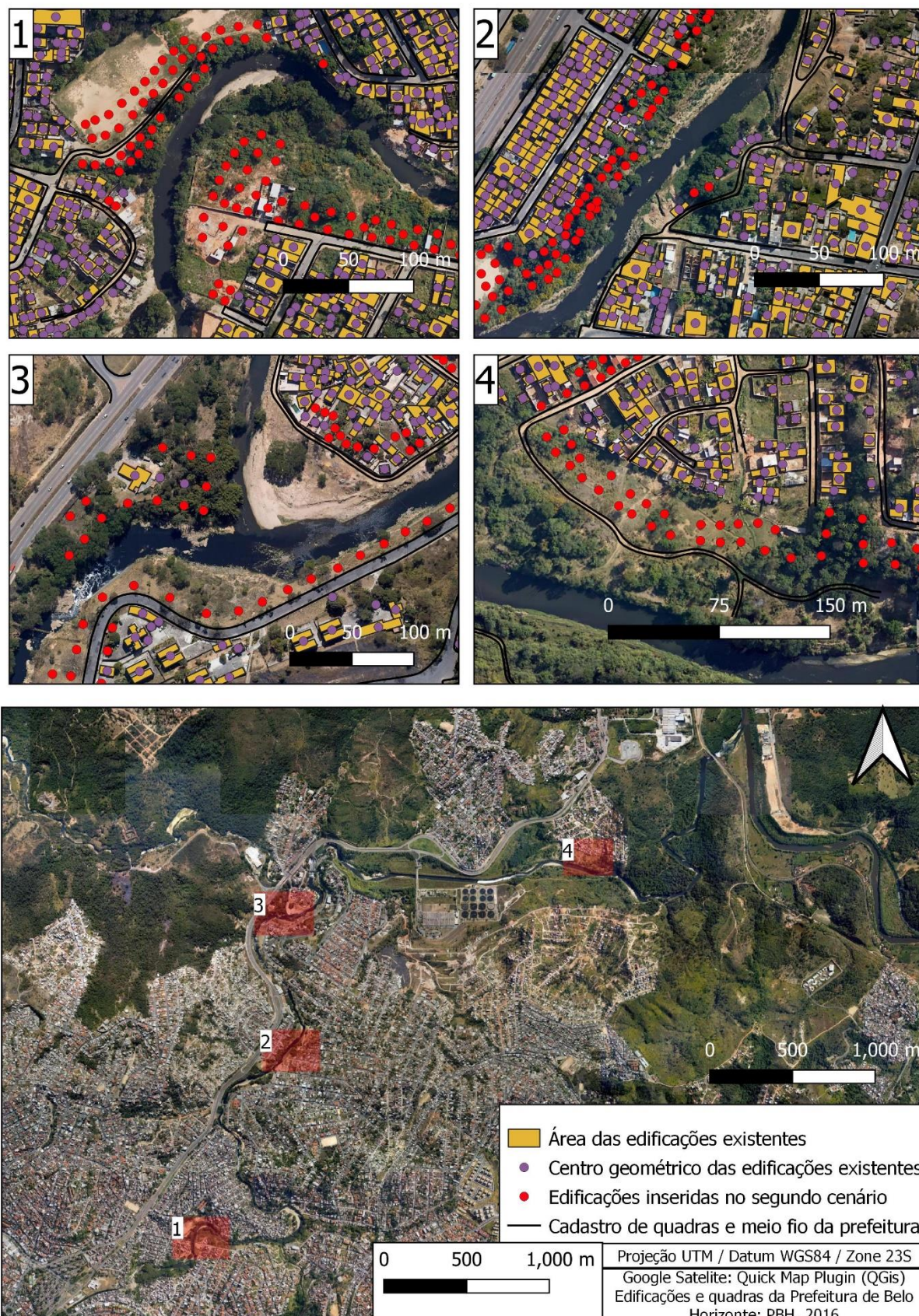
As classes sociais dos domicílios nos setores censitários obtidos no CENSO (IBGE, 2010), localizadas nas margens do ribeirão Onça, foram respeitadas. Ou seja, para cada residência nova em lote vago, sua classe social foi estabelecida com base nas classes predominantes ao seu lado.

A metodologia para a concepção do segundo cenário se deu através do aumento do número de residências dentro das áreas de inundação do Parque. Para isso, considerou-se o desenho da ocupação atual da área, com a distribuição das residências e lotes vagos passíveis de ocupação. Para tanto, foi obedecido o padrão construtivo de quadras, calçamento de ruas e disposição de residências principalmente nas margens do ribeirão Onça. As edificações foram adicionadas exclusivamente nas quadras e calçadas onde existisse pelo menos uma edificação e onde havia área disponível para construção de novas edificações. Foi respeitado o leito menor do Ribeirão, não tendo sido este ocupado, e a área construída atribuída para as novas residências foi idêntica às edificações vizinhas. As classes sociais por setor censitário também foram aplicadas para as novas edificações de acordo com o

setor em que se encontravam. Ressalta-se que não foi realizado um modelo de crescimento ou movimento populacional.

Visando exemplificar o aumento hipotético do segundo cenário, é apresentada a Figura 5.17.

Figura 5.17 – Exemplo de aumento hipotético do número de edificações adotado para o segundo cenário



Sobre este cenário, o cálculo da esperança matemática anual de danos provocados por inundações sobre o setor residencial foi refeito conforme metodologia apresentada anteriormente.

- Comércio e serviços

Espera-se que o aumento no número de residentes na área irá resultar no aumento da demanda por comércios e serviços locais. Deste modo, assume-se que os estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços locais irão aumentar sua capacidade e número total para atender à maior população. Deste modo, haverá um aumento do valor total dos danos ao setor quando ocorrem inundações.

Entretanto, sobre o setor de comércio e serviços, o aumento do número de estabelecimentos a partir da análise espacial e de padrão construtivo não se mostrou a melhor alternativa, devido a sua disposição ser não-uniforme. Ou seja, apenas o aumento do número de comércios onde já existem comércios e/ou serviços poderia não refletir a realidade da intensificação da ocupação esperada.

Por este motivo, assume-se que o aumento do dano médio anual calculado sobre os setores de comércio e serviços para o segundo cenário ocorre de maneira proporcional ao aumento dos danos para o setor residencial.

- Poluição por esgotos

Da mesma forma, o aumento das residências que despejam esgotos brutos no Ribeirão Onça no segundo cenário foi calculado proporcionalmente ao aumento do número de edificações impactadas pelas inundações.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área da bacia de contribuição do Ribeirão Onça obtida pelo MDS, ao ser comparada com as bacias ottocodificadas pelo IGAM, resultou em uma pequena variação positiva de 1,47% (Tabela 6.1). Uma variação era esperada pois a Base Hidrográfica Ottocodificada (1:100.000) apresenta resolução espacial inferior ao MDS, além de o MDS mesmo com uma excelente resolução espacial de 1,2 metros ser influenciado pela superfície das árvores e edificações.

Tabela 6.1 – Comparação entre a área da bacia hidrográfica oficial e calculada

Bacia	Área (km ²)	Área (ha)	Diferença
Modelo digital de superfície (FJP, 2013)	214,5	21454,5	+1,47%
hidrografia ottocodificada (SISEMA, 2019)	211,4	21143,6	-

6.1. Modelagem Hidrológica da Bacia do Ribeirão Onça

A localização exata das estações de monitoramento hidroclimático utilizadas nesse trabalho é apresentada na Figura 6.1 e Tabela 6.2. Durante a obtenção das coordenadas, algumas estações não foram visualizadas nitidamente pelo *Google Earth* e *Google Street View*, o que pode ser devido a resolução limitada de imagem ou por estarem em pontos cegos dos sensores utilizados. Nestes casos, foi registrada a coordenada do endereço ou ponto de referência indicado pelo Plano Municipal de Saneamento Básico.

Figura 6.1 – Localização das estações de monitoramento hidroclimático da Prefeitura de Belo Horizonte.

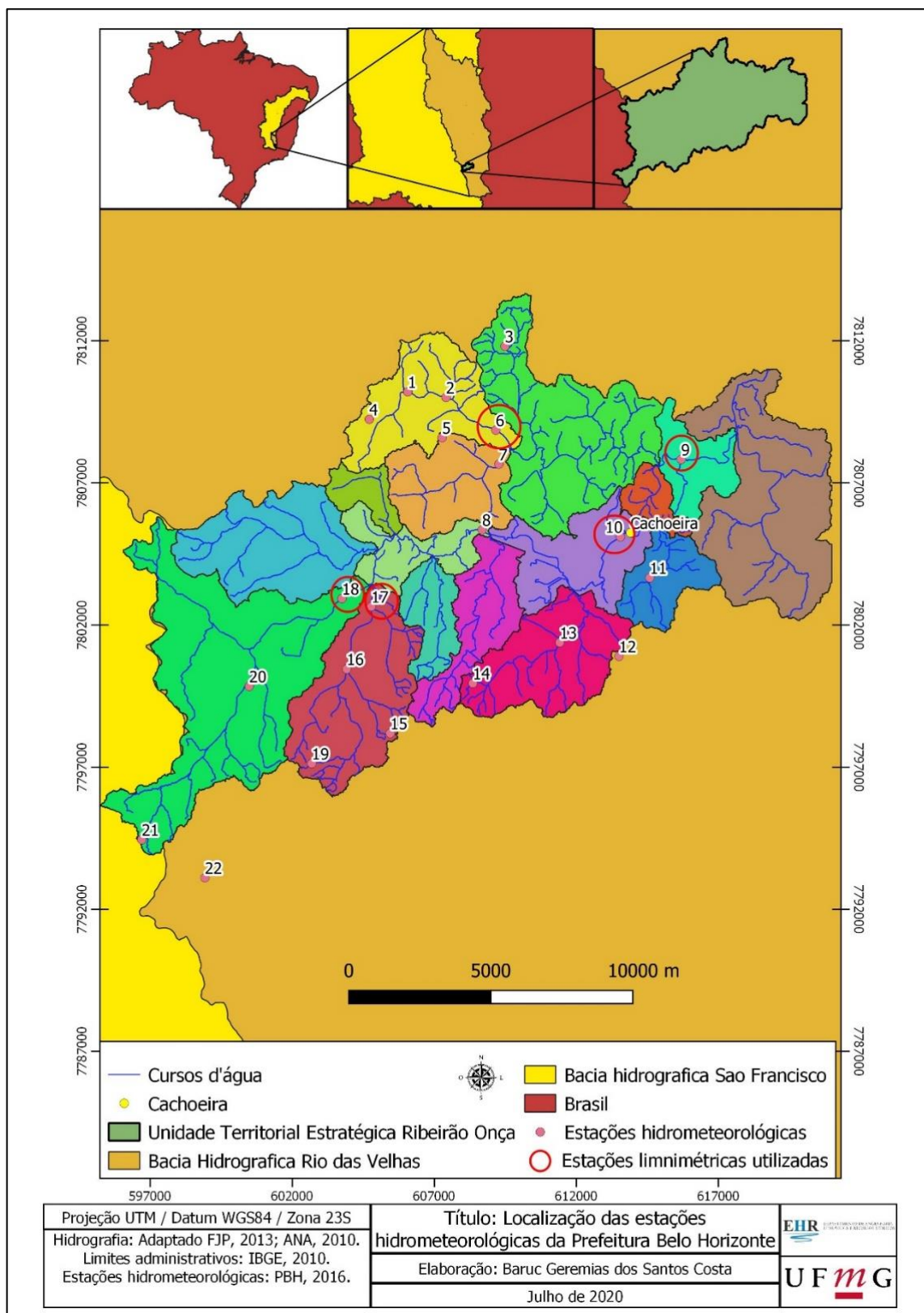


Tabela 6.2 – Localização das estações hidrometeorológicas da Prefeitura de Belo Horizonte

Estações pluviométricas		Coordenadas geográficas	Coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM)	
nº	Localização		X	Y
1	Av. Vilarinho Bairro Letícia	-19,80120, -43,98736	606063,96434	7810200,45341
2	Av. Vilarinho próximo à Rua Paula Santos Bairro Letícia	-19,80291, -43,97448	607411,77010	7810002,85551
3	Cidade Administrativa – Alameda José Maria Alkimim, 1800 – Bairro Serra Verde	-19,78650, -43,95476	609488,83138	7811806,10878
4	UMEI Bairro Lagoa - Rua Hércio Fortes, Venda Nova	-19,81000, -44,00022	604711,14186	7809234,78767
5	Secretaria Administrativa Regional Venda Nova Av. Érico Veríssimo, 1428	-19,81568, -43,97570	607275,93963	7808590,57504
6	Av. Vilarinho próximo à rua Ivan Pereira Lima, Bairro Letícia	-19,81319, -43,95767	609165,67415	7808854,27190
7	Av. 12 de Outubro próximo à rua das Pedrinhas, Venda Nova	-19,82402, -43,95657	609274,01558	7807655,53356
8	Aeroporto da Pampulha em frente a guarita de acesso aos hangares	-19,84492, -43,96204	608686,27015	7805345,91085
9	área da ETE Onça - COPASA	-19,82213, -43,89531	615691,04117	7807823,14083
10	Av. Risoleta Neves - espaço BH Cidadania Brasileira Maria de Oliveira - B Novo Aarão Reis	-19,84687, -43,91554	613554,732860	7805099,36362
11	Rua dos Limões, próximo à rodovia MG 5	-19,85983, -43,90559	614587,08452	7803658,41638
12	CETEC, Av. José Cândido da Silveira, 2000	-19,88487, -43,91577	613503,80972	7800894,02786
13	Av. Bernardo Vasconcelos, próximo à rua Pio XI	-19,88060, -43,93572	611417,91322	7801379,70445
14	Rua José Sebastião Dalher, 1340, Caiçara,	-19,89373, -43,96487	608357,57525	7799945,80791
15	Aeroporto Carlos Prates, Rua Ocidente, 100. Noroeste	-19,90977, -43,99255	605448,97296	7798188,31876
16	Av. Heráclito Mourão de Miranda, próximo à R. Cordilheiras - Jardim Alvorada	-19,88941, -44,00732	603915,55165	7800450,34441
17	Av. Heráclito Mourão de Miranda, próximo à Av. Santa Terezinha, Jardim Alvorada	-19,86955, -43,99919	604780,05131	7802642,68882
18	Av. professor Clóvis Salgado, Bairro Sarandi, Pampulha	-19,86704, -44,00905	603748,89414	7802927,23944

Estações pluviométricas		Coordenadas geográficas	Coordenadas <i>Universal Transversa de Mercator</i> (UTM)	
nº	Localização		X	Y
19	Aterro Sanitário BR 040, km 531 Noroeste	-19,91955, -44,01887	602687,66536	7797121,79153
20	Ceasa - próximo à entrada pela Av. Sarandi, bairro Guanabara, Contagem	-19,89511, -44,04006	600484,82963	7799839,61201
21	PUC Contagem – Rua Rio Comprido, 4580 – Bairro Cinco	-19,94406, -44,07589	596704,07803	7794442,96567
22	Sociedade Hípica MG, Rod. Fernão Dias 381 km 2,5. Riacho das Pedras, Contagem	-19,95607, -44,05460	598924,55089	7793101,62852

Adaptado de PBH, 2016

6.1.1. Precipitação média sobre as sub-bacias

Os resultados da aplicação da metodologia dos polígonos de Voronoi, são apresentados na Figura 6.2 e Tabela 6.3. Apesar da estação 22 não se localizar sobre a bacia, seus dados foram utilizados para substituição de falhas da estação 21.

Figura 6.2 – Divisão da área de influência das estações de monitoramento por polígonos de Voronoi

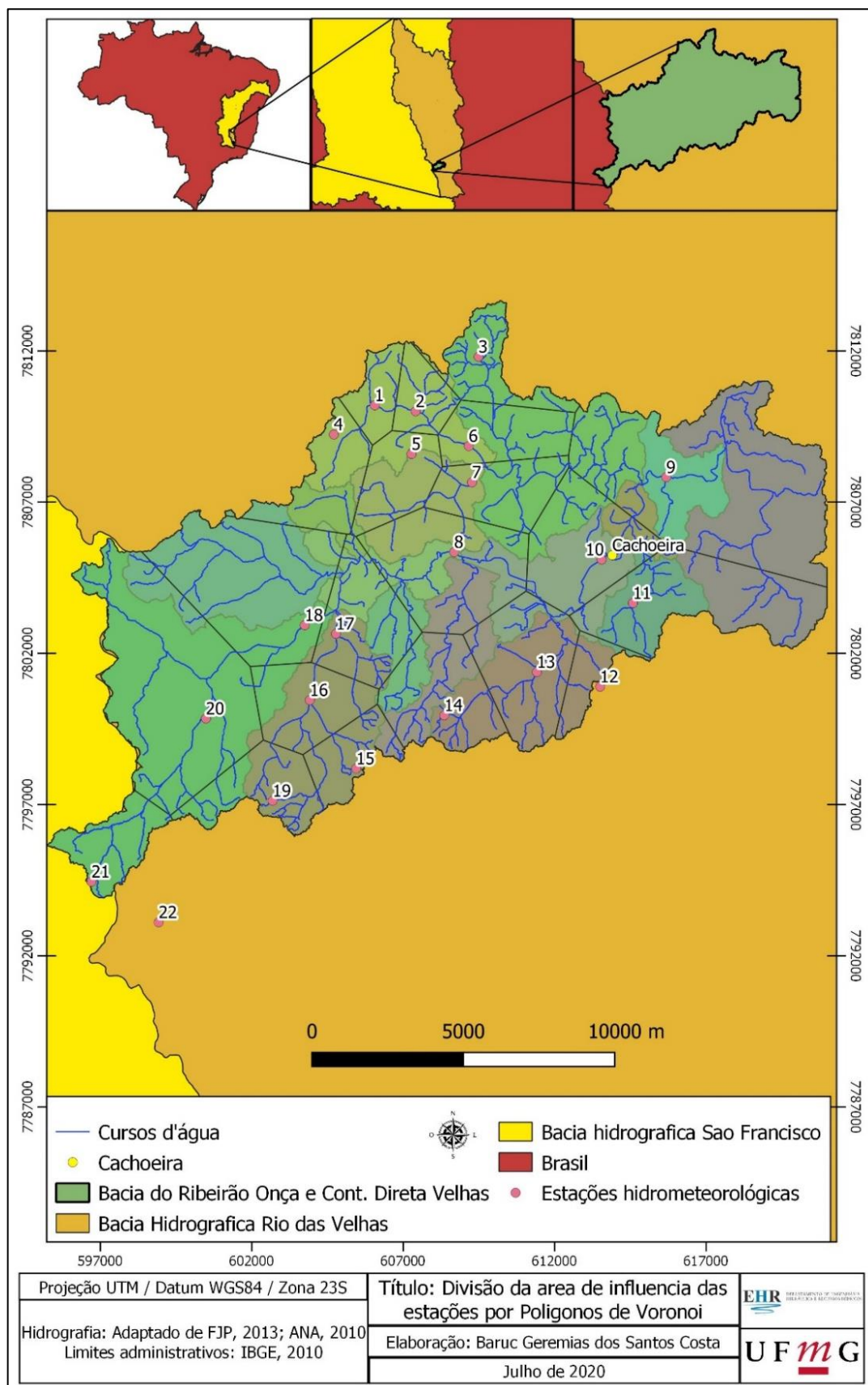


Tabela 6.3 – Fração de influência das estações pluviométricas sobre a chuva média em cada sub-bacia

Sub-bacias	Fração de influência das Estações pluviométrica sobre a chuva média em sub-bacias pela técnica dos polígonos de Voronoi																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Rio das Velhas	-	-	-	-	-	-	-	-	0,70	-	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Isidora	-	0,00	0,22	-	-	0,20	0,19	0,04	0,23	0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nado	-	-	-	0,03	0,39	0,01	0,21	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vilarinho	0,24	0,26	0,02	0,24	0,11	0,12	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.D. Rib Onça 1	-	-	-	-	-	-	-	0,20	-	0,54	0,10	0,01	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-
C.D. Rib Onça 2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	0,48	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.D. Pampulha	-	-	-	0,02	-	-	-	0,42	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	0,18	-	-	-
Olhos D'água	-	-	-	0,78	0,04	-	-	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	0,10	0,05	-	-	-
Bom Jesus	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,82	-	0,13	-
Cachoeirinha	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,18	0,56	0,25	-	-	-	-	-	-	-
Gorduras	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04	0,93	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mergulhão	-	-	-	-	-	-	-	0,13	-	-	-	-	-	0,39	0,00	0,01	0,47	-	-	-	-
Ressaca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,22	0,32	0,18	0,01	0,25	0,01	-
Sarandi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04	0,01	0,10	0,06	0,64	0,15
Engenho Nogueira	-	-	-	-	-	-	-	0,38	-	-	-	-	0,11	0,44	0,07	-	0,00	-	-	-	-

6.1.2. Calibração do modelo hidrológico da bacia

Como resultado da calibração do modelo são apresentados (i) os NSE's na Tabela 6.4; (ii) A comparação entre todos os limnigramas observados e simulados APÊNDICE I – RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO; e (iii) os parâmetros obtidos ao término da calibração (Tabela 6.5) que maximizam a semelhança entre o limnigrama observado e simulado das estações calibradas.

Alguns eventos da calibração merecem atenção, como a Chuva de 14 de novembro de 2019, em qual os dados observados superam significativamente os dados simulados em todas as estações, sobretudo os picos dos limnigramas observados que é cerca de 100% maior do que os dos limnigramas simulados nas estações 09 e 10. Isso pode ser devido a: erro tendencioso nos dados de precipitação registrados em alguns pluviogramas; umidade antecedente elevada do solo da bacia ao início da simulação; e/ou operação de esvaziamento de bacias de retenção e reservatórios sobre o território monitorado.

Outro comportamento observado se refere a resultados insatisfatórios de NSE e a baixa similaridade dos limnigramas observados e simulados de algumas estações em determinados eventos de precipitação. Como exemplo, citam-se o evento de 11 de dezembro de 2019, estação 18 e 17, e o evento de 07 de janeiro de 2013, estação 18. Isso se deve ao fato de que as referidas estações e eventos supracitados estarem localizadas em sub-bacias em que foram registrados baixíssimos níveis de precipitação. Neste caso, entende-se que é possível que a vazão de permanência dos córregos tenha sido mais influente do que os picos nos limnigramas simulados e, dado que se buscava simular os eventos de grande intensidade, estes outros não foram bem simulados.

Contudo, o resultado global da calibração, dado os 6 eventos simulados e as 5 estações analisadas pode ser considerado bom. Ressalta-se que na grande maioria dos casos o NSE explicou mais de 70% da variabilidade dos eventos simulados. Por fim, para a finalidade de representar precipitações intensas (Tempo de retorno igual ou superior a 2 anos) e que ocasionam inundações sobre o trecho em estudo, a calibração hidrológica foi considerada satisfatória.

Tabela 6.4 – Resultado da calibração - NSE's obtidos

Chuva 14 jan. 2020	NSE	Observação	Chuva 14 nov. 2019	NSE	Observação
estação 10	0,888	-	estação 10	0,603	Comportamento atípico
estação 09	0,706	-	estação 09	0,469	
estação 18	0,785	-	estação 18	0,683	
estação 06	0,655	-	estação 06	0,843	
estação 17	0,772	-	estação 17	0,466	
Chuva 11 dez. 2019			Chuva 30 nov, 2018		-
estação 10	0,872	-	estação 10	0,836	-
estação 09	0,968	-	estação 09	0,886	-
estação 18	0,005	Vazão de base predominante	estação 18	0,841	-
estação 06	0,936		estação 06	0,698	-
estação 17	-4,063	Vazão de base predominante	estação 17	0,743	-
Chuva 23 mar. 2016			Chuva 07 jan, 2013		-
estação 10	0,883	-	estação 10	0,916	-
estação 09	0,530	-	estação 09	0,790	-
estação 18	0,915	-	estação 18	-0,730	Vazão de base predominante
estação 6	0,842	-	estação 6	0,670	-
estação 17	-	Sem dados	estação 17	0,459	-

Tabela 6.5 – Parâmetros adotados após calibração manual das sub-bacias do Ribeirão Onça

Parâmetros	Área (ha)	Largura (m)	Declividade (%)	%Imperv	N-Imp	N-Perm	Pa _{imp} (mm)	Pap _{perm} (mm)	%Zero-Imper	Subarea Routing	Percent Routed	CN
Isidora	2811,102	7422,00	0,739	50	0,013	0,577	4	8	20	Pervious	30	68,86
Vilarinho	1595,014	5591,00	5,56	55	0,013	0,501	4	8	10	outlet	100	72,30
Nado	1218,929	4887,00	2,97	65	0,013	0,660	4	8	10	outlet	100	59,80
Cont. Dir. Onca1	1322,796	5090,00	3,1752	85,85	0,005	0,485	4	8	80	outlet	100	74,00
Cont. Dir. Onca2	340,629	2583,00	1,015	75	0,013	0,564	4	8	30	Pervious	30	65,51
Cont. Dir. Pampulha	759,551	3850,00	0,211	68,72	0,011	0,455	4	8	25	outlet	100	75,40
Olhos D'água	365,185	2675,00	1,91	71,58	0,011	0,444	4	8	35	outlet	100	76,09
Bom Jesus	1915,670	6100,00	1,818	41,48	0,011	0,514	4	8	35	outlet	100	72,38
Cachoeirinha	1641,213	5670,00	7,1512	93,52	0,005	0,474	4	8	35	outlet	100	74,50
Gorduras	737,900	3800,00	1,735	80	0,013	0,527	4	8	35	outlet	100	71,77
Mergulhão	622,112	3490,00	2,61	70,38	0,011	0,663	4	8	35	outlet	100	60,69
Ressaca	2080,630	7982,44	7,072	91,31	0,005	0,583	4	8	35	outlet	100	65,74
Sarandi	4278,721	8500,00	1,5	45	0,015	0,596	4	8	25	outlet	100	67,87
Engenho Nogueira	1062,533	4560,00	7,5096	81,01	0,005	0,510	4	8	35	outlet	100	72,21

Legenda: %Imperv: percentual de área impermeável; N-Imp: rugosidade das áreas impermeáveis; N-Perm: rugosidade das áreas permeáveis; Pa_{imp}: Armazenamento em áreas impermeáveis em milímetros; Pa_{perm}: Armazenamento em áreas permeáveis em milímetros; %Zero-Imper:: percentual de área impermeável sem armazenamento; subarea-routing: destino da água após precipitar em uma das áreas; outlet: exultório; Pervious: área permeável; Percent Routed: percentual da precipitação direcionada para “subarea routing”.

Em relação aos parâmetros adotados após calibração, notou-se uma redução da “Largura”, P_{perm} , P_{aimp} , e N_{imp} . Ao mesmo tempo, houve um aumento do % Imperm. O conjunto de parâmetros quando avaliados individualmente podem causar impressão de distorção da realidade física do processo de transformação chuva-vazão. Por exemplo, o N_{Imperm} apresentou valor igual a 0,005 para sub-bacias Cachoeirinha, Engenho Nogueira e Cont. Dir. Onça1, valor de rugosidade inferior aos materiais lisos (geomembrana, concreto liso). Outro exemplo são valores altos de N_{Perm} , P_{aimp} e P_{perm} , apresentando valores superiores a florestas densas. Entretanto, em função das incertezas e simplificações na metodologia de representação dos fenômenos hidrológicos, bem como as particularidades hidráulicas existentes em meio urbano, como estruturas de drenagem e reservação antrópicas, durante a calibração alguns parâmetros podem vir a ser “forçados” visando a melhor calibração do modelo.

Ressalta-se ainda que o “*percent routed*”, que representa o percentual da precipitação direcionada para a “*subárea-routing*”, só é diferente de 100 nas bacias que apresentam “*Subarea-routing*” permeável (*pervious*). Isso acontece pois para as sub-bacias “Cont Dir. Onça2” e “Isidora”, foi considerado que um percentual de sua contribuição (30%) está sendo direcionada para uma superfície parcialmente permeável antes de seguir ao exultório (bacia de jusante). Para as demais bacias, a variação do percent routed não influenciaria seus resultados, em função de o “*Subarea routing*” já estar sendo adotado o exultório, “*Outlet*”.

Por fim, o conjunto de parâmetros adotados quando analisados em conjunto, garantem que a bacia do Ribeirão Onça em análise seja bem representada para o tipo de precipitação que se deseja analisar. Isto é reforçado pelos altos valores de NSE atingidos e pela similaridade dos limnigramas observados e simulados.

6.1.3. Validação do modelo hidrológico da bacia

Como resultado da validação do modelo são apresentados (i) no APÊNDICE II – RESULTADOS DA VALIDAÇÃO deste trabalho a comparação entre todos os limnigramas observados e simulados; (ii) na Tabela 6.6 o resumo dos resultados de NSE’s obtidos para cada evento simulado e em cada uma das estações. Alguns gráficos da validação são apresentados neste item como forma de ilustrar visualmente os resultados obtidos.

Assim como na calibração, a tentativa de simular as chuvas de pequena intensidade e/ou mal distribuídas nas sub-bacias provocou baixos valores de NSE e de similaridade entre os hidrogramas. Como exemplo, cita-se a estação 17 do evento de 05 a 06/12/2019, onde a vazão de base foi predominante no hidrograma, ou seja, teve influência maior se comparada às vazões em decorrência da precipitação. Em análise mais profunda, identificou-se que para esta chuva, a vazão de pico simulada na estação 09 (Figura 6.3) foi de 24,09 m³/s, enquanto a vazão associada a um evento de TR de 2 anos simulada seria de 550 m³/s. Essa análise indica que o modelo não foi calibrado para chuvas ordinárias. Por outro lado, a chuva de 01-06/01/2020 (Figura 6.4) apresentou vazão de pico simulada na estação 09 de 689,35 m³/s, valor próximo à vazão associada a um evento com TR de 5 anos (712,37 m³/s).

Por fim, em função da elevada similaridade dos hidrogramas e valores de NSE aceitáveis (NSE>0.6) na grande maioria das estações e boa calibração (NSE>0.75) nas estações principais – 10 e 09 – nas chuvas associadas a um TR igual ou superior a 2 anos, foi considerada que a validação foi satisfatória para a finalidade deste trabalho.

Tabela 6.6 – Resultado da validação - NSE's obtidos

Chuva de 20-21/01/2013	NSE	Observação	Chuva de 01-06/01/2020	NSE	Observação
estação 10	0,943	Evento associado a TR de 2 anos	estação 10	0,809	Evento associado a TR de 5 anos
estação 09	0,900		estação 09 (Figura 6.4)	0,881	
estação 18	0,516		estação 18	0,660	
estação 06	0,487		estação 06	0,734	
estação 17	0,766		estação 17	0,461	
Chuva de 24-27/12/2018			Chuva de 23-26/01/2020		
estação 10	0,853	Evento associado a TR de 2 anos	estação 10	0,914	Evento associado a TR de 50 anos
estação 09	0,855		estação 09 (Figura 6.5)	0,656*	
estação 18	0,736		estação 18	0,644	
estação 06	0,688		estação 06	0,495	
estação 17	0,857		estação 17	0,703	
Chuva de 05-06/12/2019					
estação 10	0,843	Evento associado a TR inferior a 2 anos			
estação 09 (Figura 6.3)	0,027				
estação 18	0,671				
estação 6	0,688				
estação 17	-4,002				

***Houve transbordamento da seção fluvial na estação 09 durante a chuva de 23-26/01/2020**

Os dados observados da chuva de 23-26/01/2020 (Figura 6.5) indicaram transbordamento da calha fluvial na estação 09. Por esse motivo, o tempo de retorno associado foi obtido por meio da comparação dos resultados de vazão de pico simulados na estação 10. O gráfico dessa estação não foi excluído da análise visando simular o que ocorre com o modelo hidrológico na situação de transbordamento da calha fluvial.

Após a análise da similaridade entre os limnigramas e coeficientes NSE obtidos pode-se afirmar que a calibração e validação hidrológica se mostrou muito satisfatória e bem sucedida para a análise.

Figura 6.3 – Resultados da validação com a chuva de 05-06/12/2019 da Estação 09

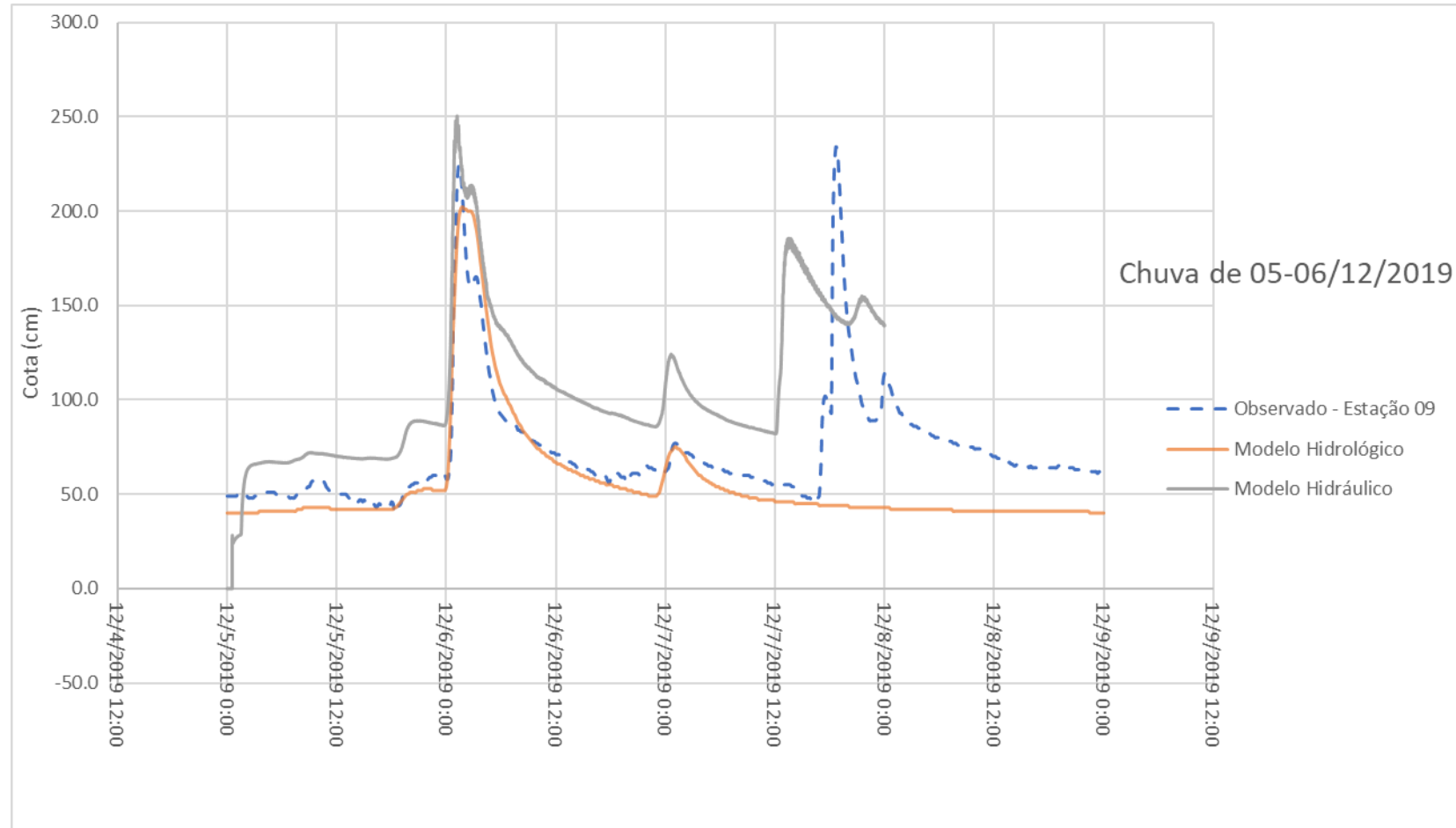


Figura 6.4 – Resultados da validação com a chuva de 01-06/01/2020 da Estação 09

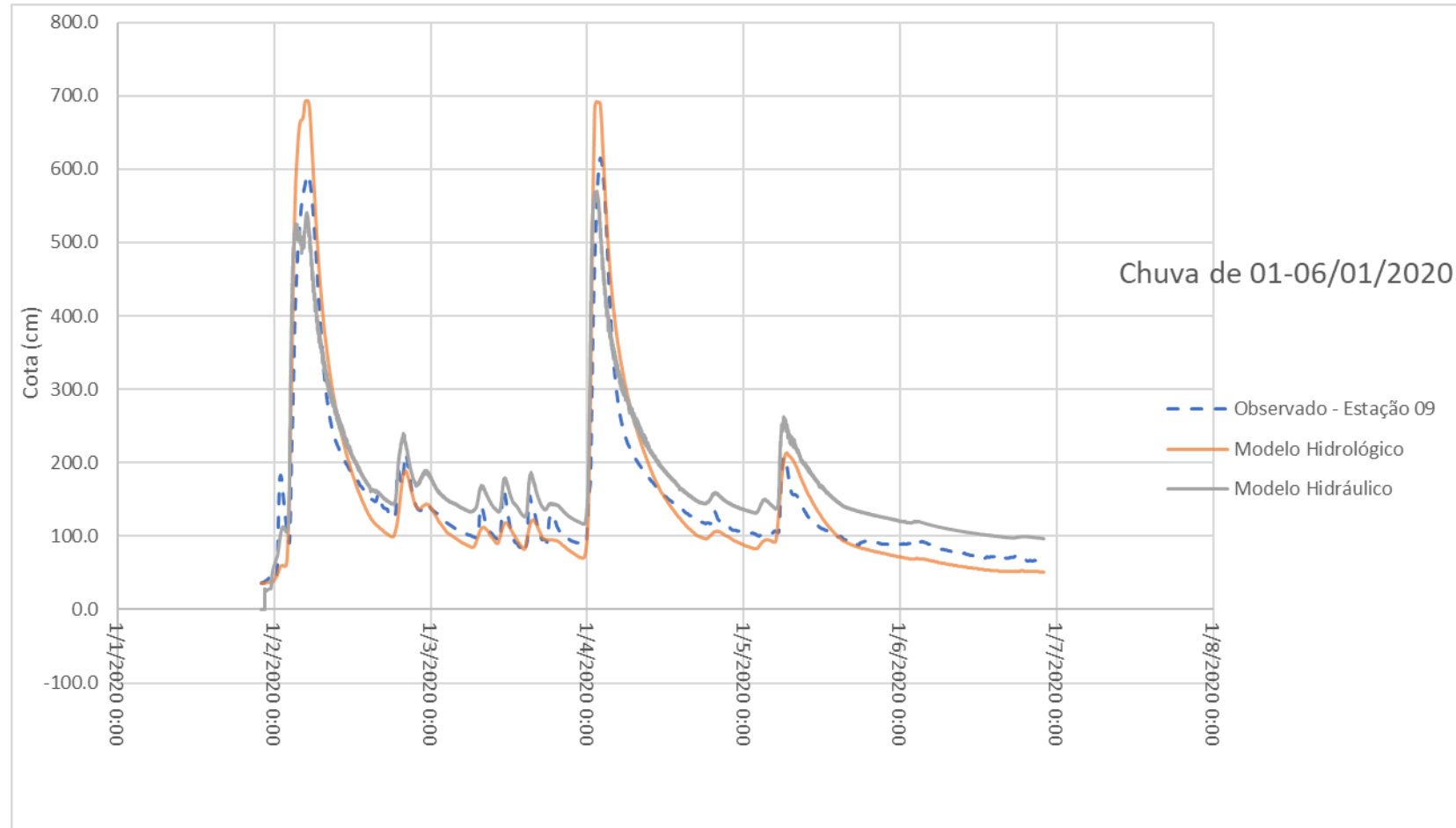
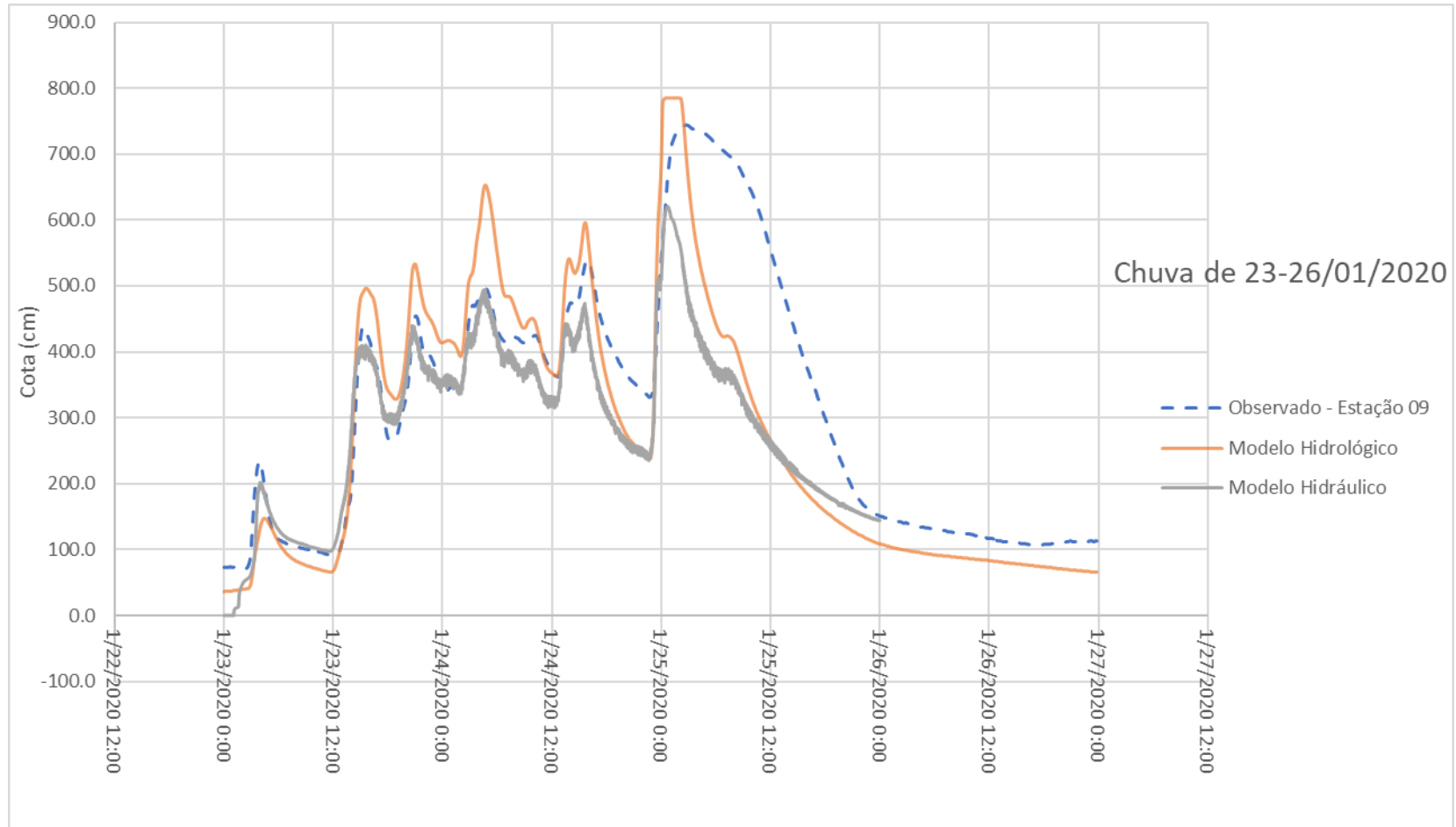


Figura 6.5 – Resultados da validação com a chuva de 23-26/01/2020 da Estação 09



6.1.4. Validação do modelo hidráulico

Como resultado da validação do modelo hidráulico são apresentados no APÊNDICE II – RESULTADOS DA VALIDAÇÃO deste trabalho os limnigramas observados e simulados na estação de monitoramento fluviométrico 09. Os NSE's obtidos durante a validação do modelo hidráulico para os 5 eventos de precipitação escolhidos são resumidos na Tabela 6.7.

Assim como o modelo hidrológico, o modelo hidráulico teve dificuldade para reproduzir respostas às chuvas de baixa intensidade sobre a bacia, como é o caso da chuva entre 05e06/12/2019. Entretanto, tendo em vista a finalidade de reproduzir chuvas de grande intensidade, responsáveis pelas inundações, o modelo foi considerado satisfatório, apresentando NSE entre 0.607 e 0.794.

Tabela 6.7 – NSE's obtidos durante a validação do modelo hidráulico

Chuvas	NSE Estação 09
Chuva de 20-21/01/2013	0,766
Chuva de 24-27/12/2018	0,794
Chuva de 05-06/12/2019* (Figura 6.3)	0,130
Chuva de 01-06/01/2020 (Figura 6.4)	0,777
Chuva de 23-26/01/2020 (Figura 6.5)	0,607

***Chuva de baixa intensidade**

6.2. Chuva de projeto

Após a análise de resultados de vazão obtidos por meio da simulação de chuvas com diferentes durações, foi identificado que a duração crítica para o modelo é de 1,5h ou 90 minutos (Tabela 6.8). As chuvas de projeto utilizadas para este trabalho são apresentadas em formato de precipitação por tempo decorrido na Figura 6.6.

Tabela 6.8 – Identificação da duração crítica

Duração da chuva	Pico do hidrograma simulado (m³/s)				
3h	910,45	960,07	974,57	970,55	953,6
2h	950,26	979,87	1001,55	990,33	941,34
1,5h	719,53	965,31	1007,89	979,76	888,32
1h	643,19	939,2	981,36	927,25	814,97
30 min	217,22	490,94	896,79	896,28	814,2

Também é apresentado o comportamento em termos de hidrograma da estação 09, ETE Onça, das chuvas de diferentes tempos de retorno na Figura 6.7.

Figura 6.6 – Hietograma acumulado das chuvas de projeto para a RMBH (PINHEIRO & NAGHETTINI, 1998)

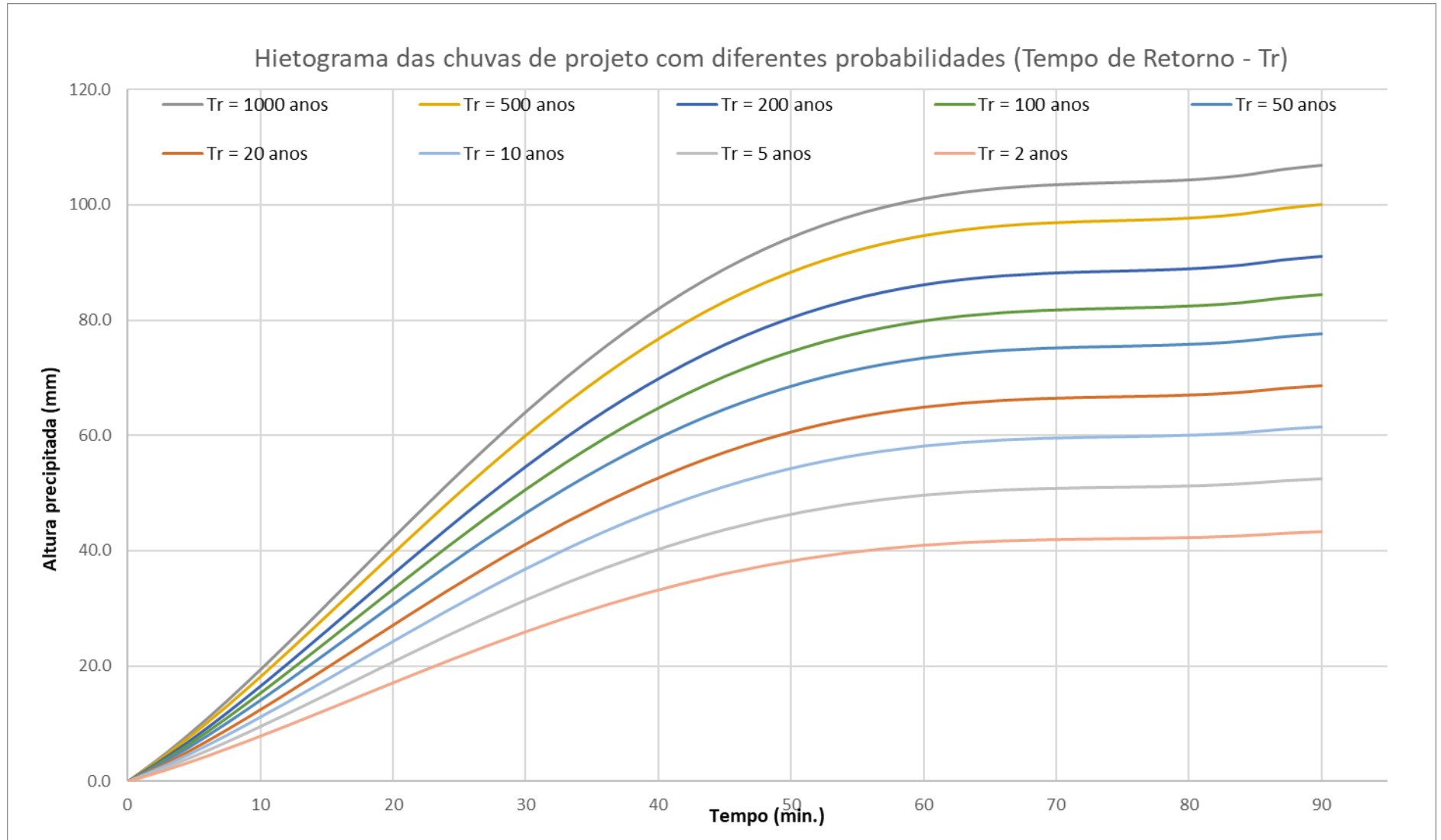
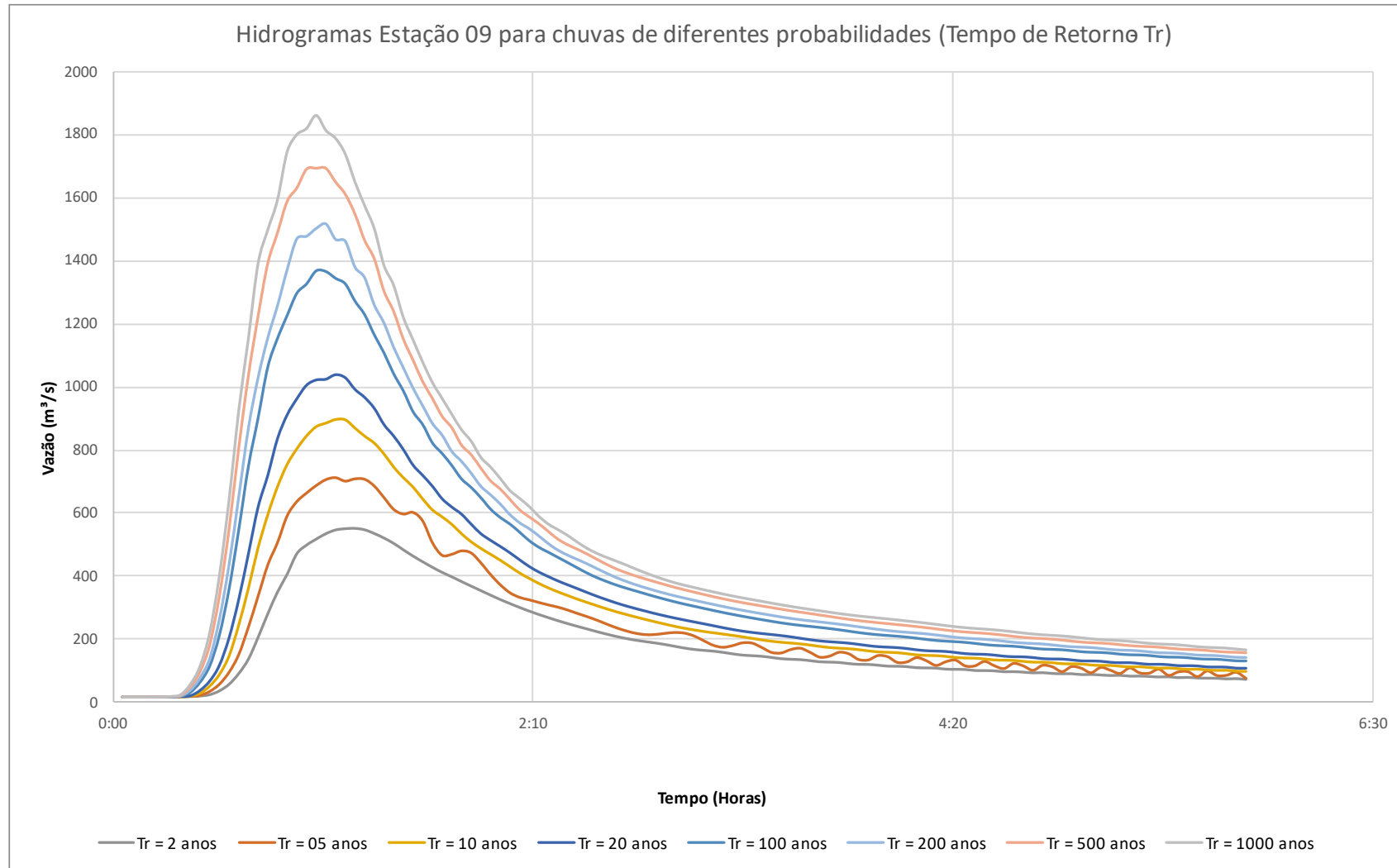


Figura 6.7 – Hidrogramas simulados na estação 09 para as chuvas de projeto



6.3. Manchas de inundação

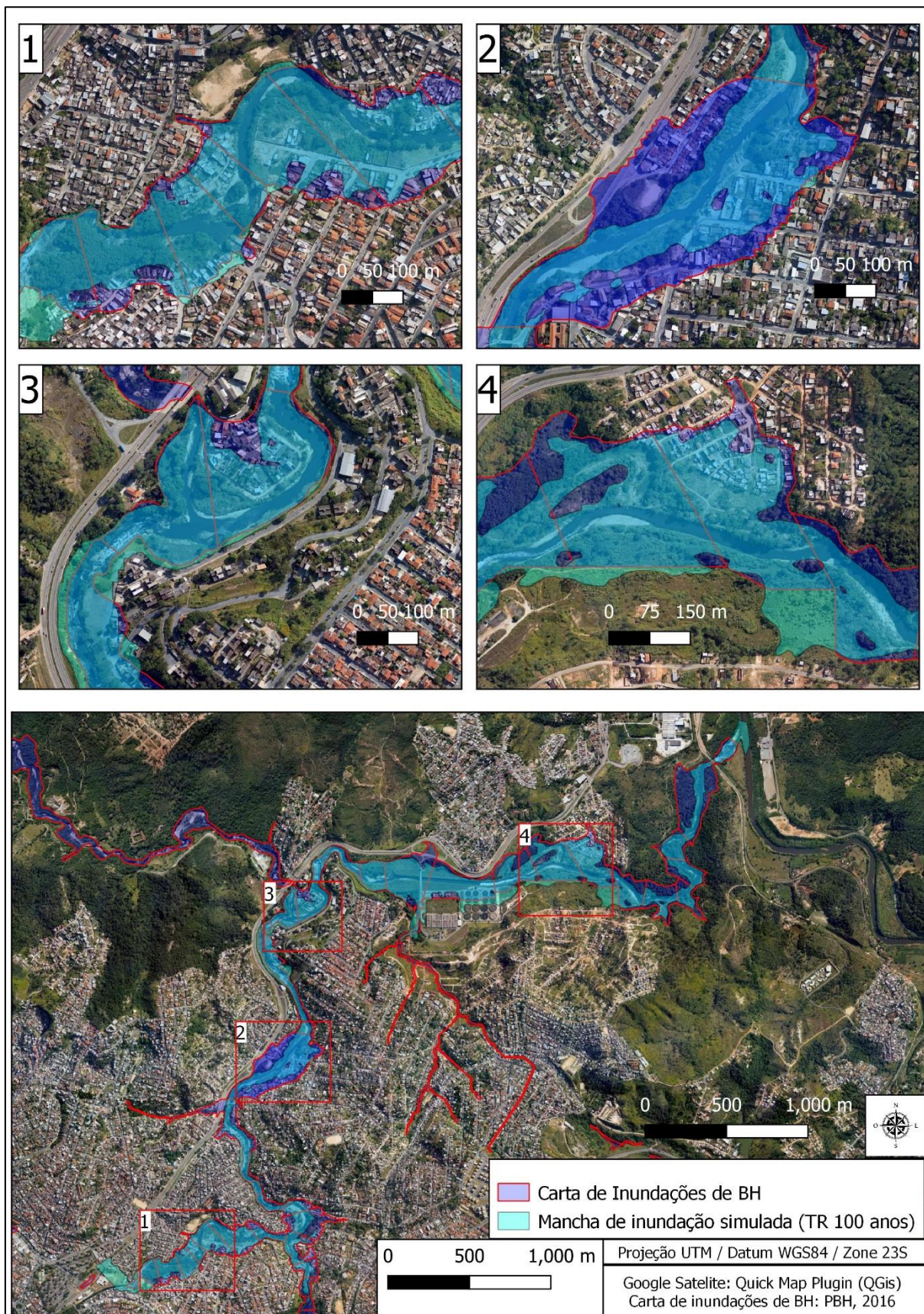
A Figura 6.8 apresenta a comparação entre a mancha de inundação simulada para TR de 100 anos com a mancha de inundação de TR 100 anos proposta pela Carta de Inundações de Belo Horizonte (PBH, 2009a).

Sabe-se que a Carta de Inundações está desatualizada, tendo sido proposta nos anos de 2006-2007, além de ter sido modificada com base em entrevistas aos moradores (PBH, 2014b). Além disso, a mancha de inundação produzida no âmbito do presente trabalho também utilizou um dado crucial, o cadastro da macrodrenagem de Belo Horizonte, realizado no ano de 2000 para o trecho em questão.

Por meio da Figura 6.8, nota-se que as manchas de inundação apresentaram boa similaridade, conforme exemplificado nos quadrantes 1, 3 e 4. Os resultados são tidos como muito bons, uma vez que representa bem a carta de inundações de Belo Horizonte. Todavia, justamente devido às incertezas contidas na elaboração da carta de inundações do município – como a correção a partir de entrevistas à população (PBH, 2014b) e incertezas epistêmicas da modelagem hidrológica – desvios pontuais eram esperados e estão dentro do previsto.

No geral, foi identificada pequena diferença da mancha de inundações neste trabalho se comparado à Carta de Inundações. Apesar disso, ciente que a Carta também apresenta possivelmente incoerências com as inundações reais na área de estudo, e evitando superestimar os danos de inundação posteriormente calculados, considerou-se que a simulação de propagação hidráulica está satisfatória para a finalidade deste estudo.

Figura 6.8 – Comparação entre mancha de inundação calculada (TR 100 anos) e Carta de Inundações de BH



6.4. Estimativa dos danos evitados por contato direto das inundações

6.4.1. Setor residencial (cenário atual)

Foram identificadas 724 residências sob a mancha de inundação produzida por um evento de precipitação com tempo de recorrência de 1000 anos, conforme apresentado na Tabela 6.9.

Tabela 6.9 – Distribuição de residências impactadas por Tempo de Retorno do evento simulado

Número de residências impactados por tempo de retorno							
2 anos	5 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos	200 anos	1000 anos
171	240	375	451	537	582	631	724

O número de residências impactadas está em consonância com dados históricos de inundações na região, já tendo sido identificadas inundações de intensidade elevada atingindo centenas de residências em um único evento nesta região (REDE GLOBO 2013, 2018, 2020).

A proporção das residências de cada classe social é apresentada na Tabela 6.10, também é apresentada a proporção de residências por área construída com base em dados apresentados por Machado (2005).

Tabela 6.10 – Proporção das residências por classe social

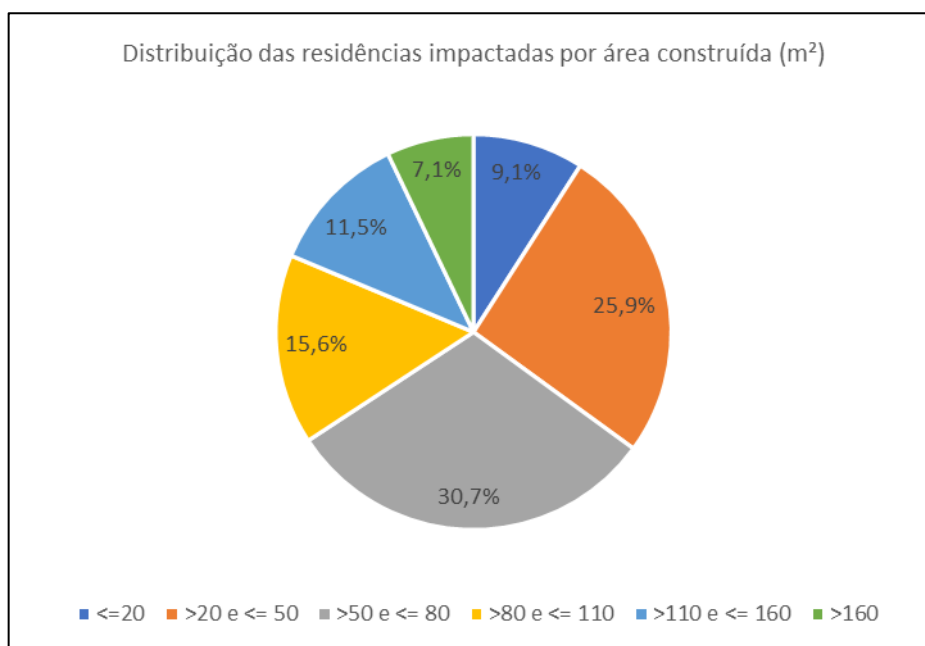
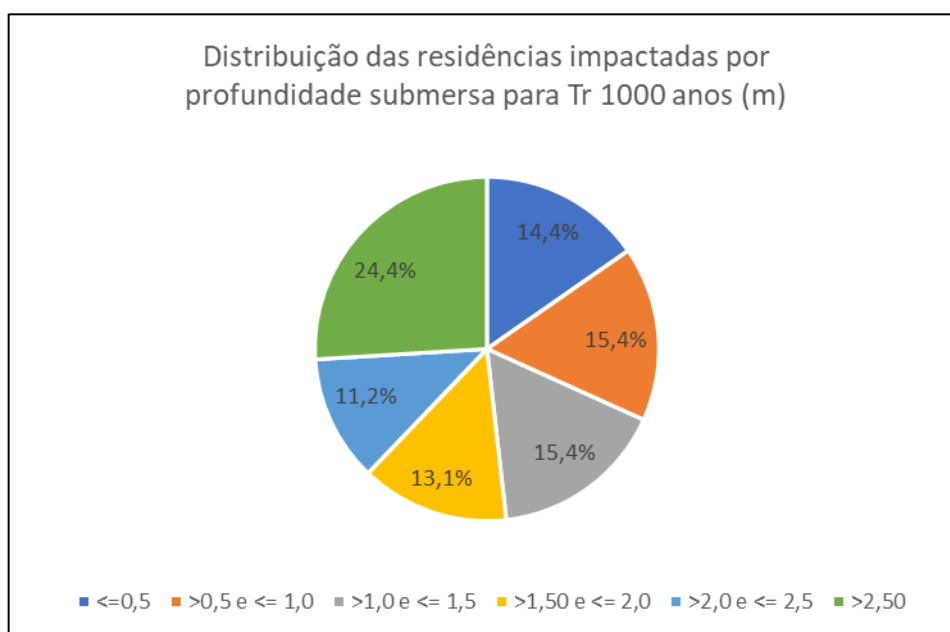
Proporção de residências por classe social na área do estudo					
Classe social (critério brasil – renda)	E	D	C	B	A
Por número total de residências	28,4%	37,6%	30,3%	2,5%	1,1%
Peso relativo por área (MACHADO, 2005)	0,15	0,15	0,15	0,25	0,45
Ponderada por área construída	27,3%	36,1%	29,2%	4,1%	3,3%

A distribuição das residências por área construída que foi impactada pelos eventos de inundação simulados é apresentada na Figura 6.9. A área obtida se refere à área em planta, sem considerar mais de um pavimento em cada edificação. Nota-se que a maioria das residências (65,7%) possui área construída de até 80 m², o que está condizente com o baixo poder aquisitivo da população apresentado na Tabela 6.10.

Dentre os 724 edifícios impactados, 75 não atingiram 0,20 metros de profundidade submersa em seu centro geométrico em nenhuma simulação, por isso, não foram considerados para a análise dos danos. Os resultados dos danos provocados por inundação sobre o setor residencial para cada evento de probabilidade de excedência calculado são apresentados na Tabela 6.11. Ressalta-se que para a definição do nível térreo das edificações, foi adotado a superfície gerada do MDT, após a retirada de interferências no MDS como árvores e casas, como apresentado no item 5.2.1. A localização das residências atingidas pelas manchas de inundação é apresentada na Figura 6.10.

Tabela 6.11 – Danos provocados por inundação sobre o setor residencial por probabilidade de excedência (cenário 01)

	Danos provocados por inundação sobre o setor residencial: Cenário 01:									
	*	danos calculados								*
Tr (anos)	1	2	5	10	20	50	100	200	1000	Max.
Dano (R\$*10⁵; 2020)	-	17,7	25,3	43,4	56,3	70,5	82,6	92,5	102,9	110,0
Probabilidade	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,001	0

Figura 6.9 – Distribuição das residências por área construída**Figura 6.10 – Distribuição das residências por profundidade submersa.**

A Figura 6.11 apresenta quatro dos trechos impactados pelas inundações de eventos associados a diferentes tempos de retorno. Entende-se que o modelo teve representação satisfatória das inundações no talvegue do ribeirão Onça.

Figura 6.11 – Edifícios impactados pelas manchas de inundação.

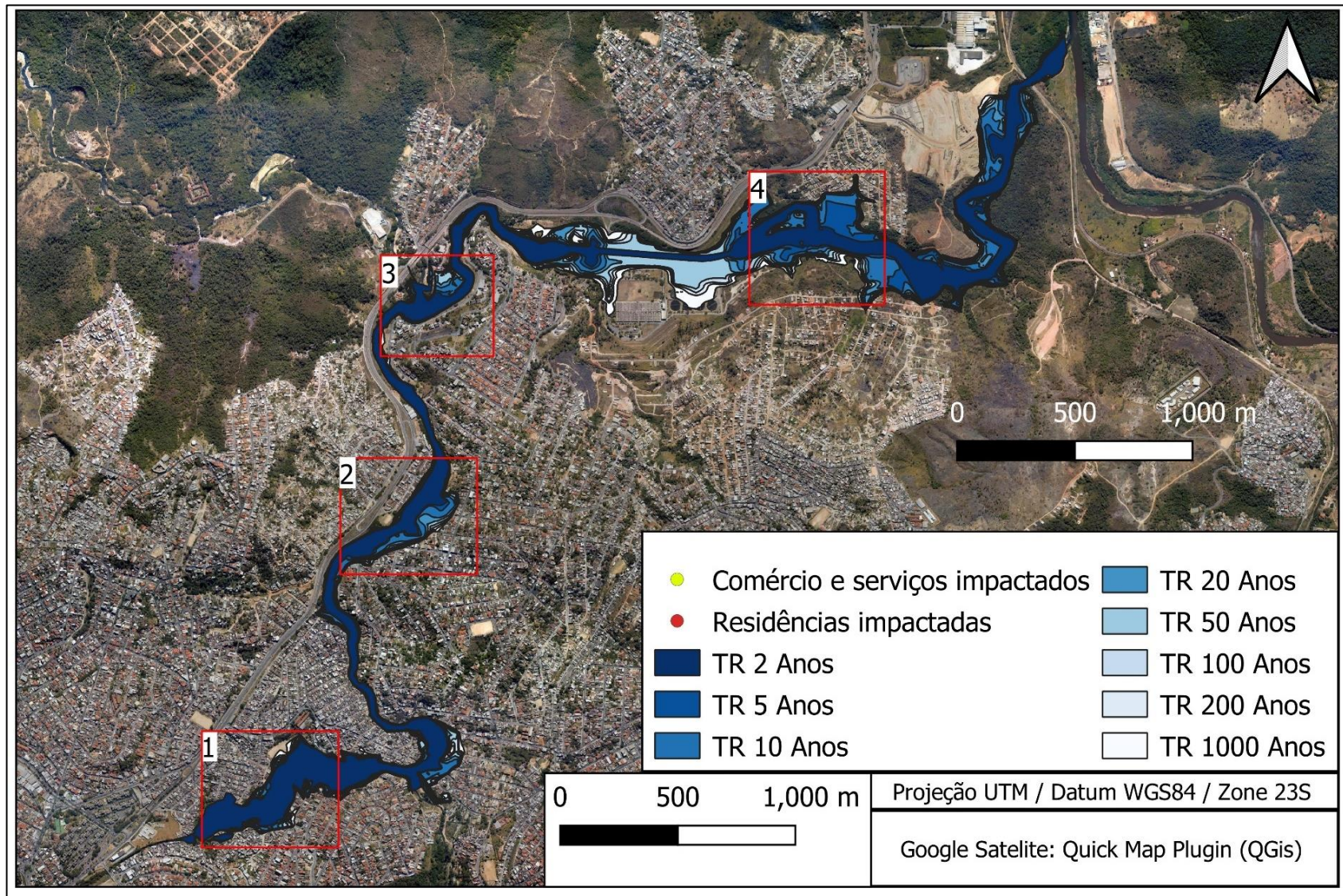
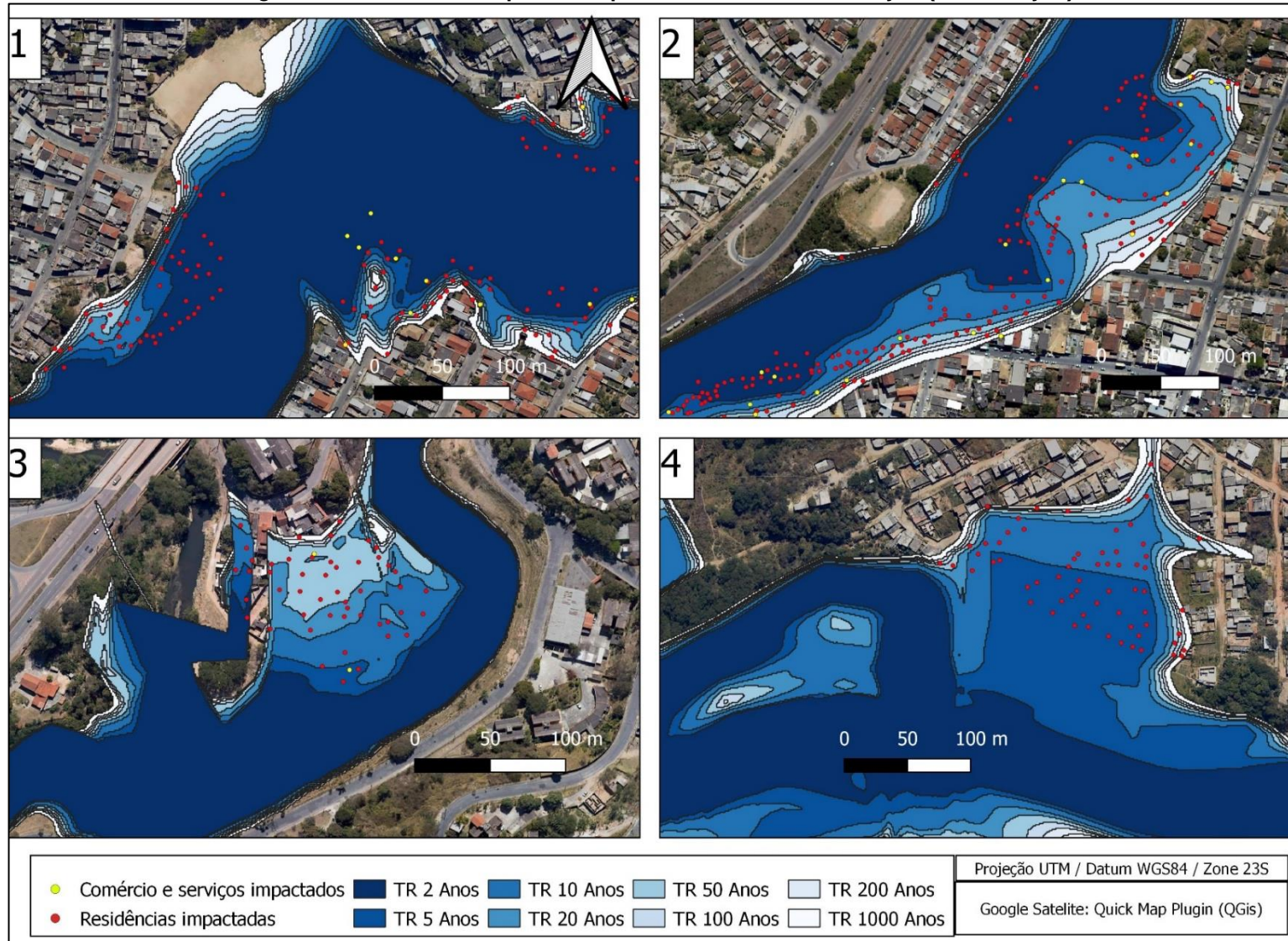


Figura 6.11 – Edifícios impactados pelas manchas de inundação (continuação)



6.4.2. Setor de comércio e serviços

Foram identificados 79 estabelecimentos sob a mancha de inundação produzida considerando um evento de tempo de recorrência de 1000 anos, como apresentado na Tabela 6.12. A distribuição dos estabelecimentos por categoria é apresentada na Tabela 6.13. Dentre os 79 estabelecimentos identificados sob a mancha de inundação, 7 não obtiveram 0,20 metros de profundidade em seu centro geométrico, por esta razão, não foram considerados para a análise de danos.

Tabela 6.12 – Distribuição dos estabelecimentos impactados por Tempo de Retorno (Tr) do evento simulado

Número de edifícios impactados por tempo de retorno							
2 anos	5 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos	200 anos	1000 anos
13	21	30	37	47	59	68	79

A grande maioria dos comércios e serviços sob a mancha de inundação apresentam área declarada de 10 metros quadrados. Isto pode se justificar por quase todos serem empreendedores individuais cadastrados como microempresa na SFMA segundo dados da Prefeitura (PBH, 2020b).

Os resultados dos danos provocados por inundação sobre o setor de comércio e serviços para cada evento de probabilidade de excedência calculado são apresentados na Tabela 6.14

Tabela 6.13 – Distribuição dos estabelecimentos em termos das categorias de comércio e serviços presentes na mancha de inundação de Tr equivalente a 1000 anos

Código	Categoria	Atividade	Número de empresas
1.00	Comércio	Hipermercados e supermercados	29
2.00	Comércio	Lojas de departamento	4
2.10	Serviço	Restaurantes, lanchonetes e bares	4
3.10	Serviço	Salão de beleza e barbearias	8
4.10	Serviço	Escritórios	7
8.00	Comércio	Lojas de armarinho	2
10.10	Serviço	Escolas	3
11.00	Comércio	Materiais de construção e ferragens	16
18.00	Comércio	Peças e acessórios de veículos	6
Total			79

Fonte: Adaptado de PBH (2020b)

Tabela 6.14 – Danos provocados por inundação sobre o setor de comércio e serviços por probabilidade de excedência (cenário 01)

	Danos provocados por inundação sobre o setor de comércio e serviços: Cenário 01:								
	danos calculados								*
TR (anos)	2	5	10	20	50	100	200	1000	Max.
Dano (R\$*10 ⁵ ; 2020)	6,01	7,95	9,85	1,10	1,22	1,56	1,86	2,27	2,50
Probabilidade	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,001	0

*Dano teórico estimado para probabilidade zero conforme projeção da linha de tendência

6.4.3. Esperança matemática de danos evitados da inundação

É importante ressaltar que se faz primordial identificar duas variáveis para a estimativa dos danos médios anuais, quais sejam: (i) o evento associado ao menor período de retorno que cause danos; e (ii) o valor dos danos para a probabilidade de excedência nula, ou seja, quando o TR tende ao infinito (ELEUTÉRIO, 2012, pg. 66). A primeira variável pode ser obtida com dados históricos ou observados. A segunda variável pode ser assumida como o evento de maior TR simulado (MERZ, 2010; ELEUTERIO, 2012).

Para obtenção do evento associado ao menor tempo de retorno que cause danos, foram analisados os registros de danos provocados por inundações decorrentes de eventos observados e utilizados na validação do modelo. Os registros de danos foram obtidos por meio de consulta às principais médias locais e para cada evento observado foi estimado seu respectivo tempo de retorno. O evento associado ao menor tempo de retorno que apresenta registro histórico de danos, foi considerado o primeiro evento a causar danos sobre a área de estudo.

Os tempos de retorno dos eventos observados foram estimados com base na comparação entre o pico de vazão simulada na estação de monitoramento fluviométrico 09 de cada evento em relação ao pico de vazão simulada pelos eventos hipotéticos associados a diferentes tempos de retorno (2, 5, 10, 20, 50, 100 anos) e com duração igual à duração crítica na mesma estação. Em função de os eventos de precipitação observados apresentarem duração e distribuição espacial distintas, a análise do tempo de retorno com base no pico de vazão simulada permitiu reduzir

estas incertezas e comparar os tempos de retorno de todas os eventos de forma simultânea para o mesmo ponto do curso d'água.

Os resultados são apresentados na Tabela 6.15 e as evidências dos danos provocados são apresentadas na Figura 6.12, Figura 6.13 e Figura 6.14. Após análise dos resultados, assumiu-se que o evento associado ao menor TR que causa danos para a região apresenta TR de 2 anos.

Para a segunda variável, o valor dos danos para a probabilidade de excedência nula, adotou-se a projeção da curva danos x probabilidade de excedência a partir do valor do dano relativo ao evento associado a 1.000 anos de TR, o evento de maior recorrência simulada. Esta última variável apresenta menor relevância na estimativa dos danos médios anuais (MERZ, 2010; ELEUTERIO, 2012).

Tabela 6.15 – Análise do evento associado ao menor tempo de retorno que causa danos

Evento de validação analisado	Tempo de retorno associado	Existe evidência de danos?
Chuva de 20-21/01/2013	Aproximadamente 2 anos	Sim (Figura 6.12)
Chuva de 24-27/12/2018	Aproximadamente 2 anos	Sim (Figura 6.13)
Chuva de 05-06/12/2019* (Figura 6.3)	Entre 1 e 2 anos	Não identificada
Chuva de 01-06/01/2020 (Figura 6.4)	Aproximadamente 5 anos	Sim (Figura 6.14)
Chuva de 23-26/01/2020 (Figura 6.5)	Aproximadamente 50 anos	Sim (Figura 6.14)

Figura 6.12 – Evidência de danos provocados pela inundação decorrente do evento de precipitação de 20-21/01/2013 (REDE GLOBO, 2013)



Evidência publicada em jornais dos danos provocados para a chuva de 20-21/01/2013 foi identificado inundação expressiva da avenida Cristiano Machado, em qual passa o córrego Cachoerinha, um dos principais contribuintes do Ribeirão Onça. Entende-se que também houve danos aos moradores residentes da planície de inundação do Ribeirão Onça.

Figura 6.13 – Evidência de danos provocados pela inundação decorrente do evento de precipitação de 24-27/12/2018 (REDE GLOBO, 2018)



Evidência publicada em jornais dos danos provocados pela chuva de 24-27/2018. O ponto se refere à avenida Cristiano Machado, próximo da Estação Primeiro de Maio, região Nordeste. O bairro primeiro de maio faz parte da área de contribuição do Ribeirão Onça. Entende-se que também houve danos aos moradores residentes da planície de inundação do Onça. (MGTV, 2018)

Figura 6.14 – Evidência de danos provocados pela inundação decorrente do evento de precipitação de 01-06 e 23-26/01/2020 (REDE GLOBO, 2020)



Evidência publicada em jornais dos danos provocados pelas chuvas de janeiro de 2020.

Foram as chuvas mais severas simuladas e validadas pelo modelo hidrológico, bem como o mês mais chuvoso para Belo Horizonte deste o início dos registros pelo INMET. A reportagem ressalta que em Belo Horizonte neste mês foram registradas 13 fatalidades devido às inundações.

Ressalta-se que neste trabalho não estão sendo estimados os custos das perdas de vidas, seja em decorrência direta ou indireta da inundação. Todavia, este fator apresenta elevada relevância na definição de políticas públicas uma vez que, conforme apresentado, existem registros históricos de fatalidades na região estudada em decorrência das inundações.

6.4.3.1. Cálculo da Esperança matemática dos danos provocados por inundações – cenário 01

Inicialmente é apresentado o resultado da regressão logarítmica dos danos residenciais para eventos entre 2 e 1000 anos e seu respectivo coeficiente de determinação (r^2) (Figura 6.15). O ponto que representa o evento de frequência nula, ou seja, quando a probabilidade tende a zero e o tempo de retorno tende a infinito, teve seu dano estimado em R\$ 11.000.000,00, de acordo com a tendência dos valores obtidos. Conforme explicitado anteriormente, eventos associados a um tempo de retorno inferior a 2 anos foram desconsiderados para o cálculo da esperança matemática dos danos provocados por inundações.

Para aumentar a fidelidade da regressão logarítmica aos dados observados, optou-se por dividir a curva de regressão em cauda superior e a cauda inferior dos dados observados. Deste modo, dividiu-se da seguinte maneira: uma curva para os eventos de TR entre 2 e 50 anos (Figura 6.16) e uma curva para os eventos de TR entre 50 e 1000 anos (Figura 6.17). O processo foi eficaz tendo em vista o aumento do coeficiente de determinação (R^2).

O mesmo procedimento foi realizado para o cálculo da esperança matemática dos danos no setor de comércio e serviços, sendo os resultados apresentados na Figura 6.18, Figura 6.19 e Figura 6.20.

A partir desses resultados foram ajustadas regressões logarítmicas e em sequência calculada sua integral entre os limites entre zero e 0,5 (TR 2 anos), representando a

esperança matemática anual dos danos residenciais causados pelas inundações (Eq. 14 e Eq. 15).

Ressalta-se aqui que como o parque prevê ocupar a área de inundação provocada por um evento de 100 anos de TR, a esperança matemática dos danos anuais evitados pelo parque foi calculada sobre o recorte espacial dos domicílios que se encontram dentro dessa área.

Figura 6.15 – Custo total dos danos residenciais versus probabilidade de excedência (Tr = 1000 – 02 anos)

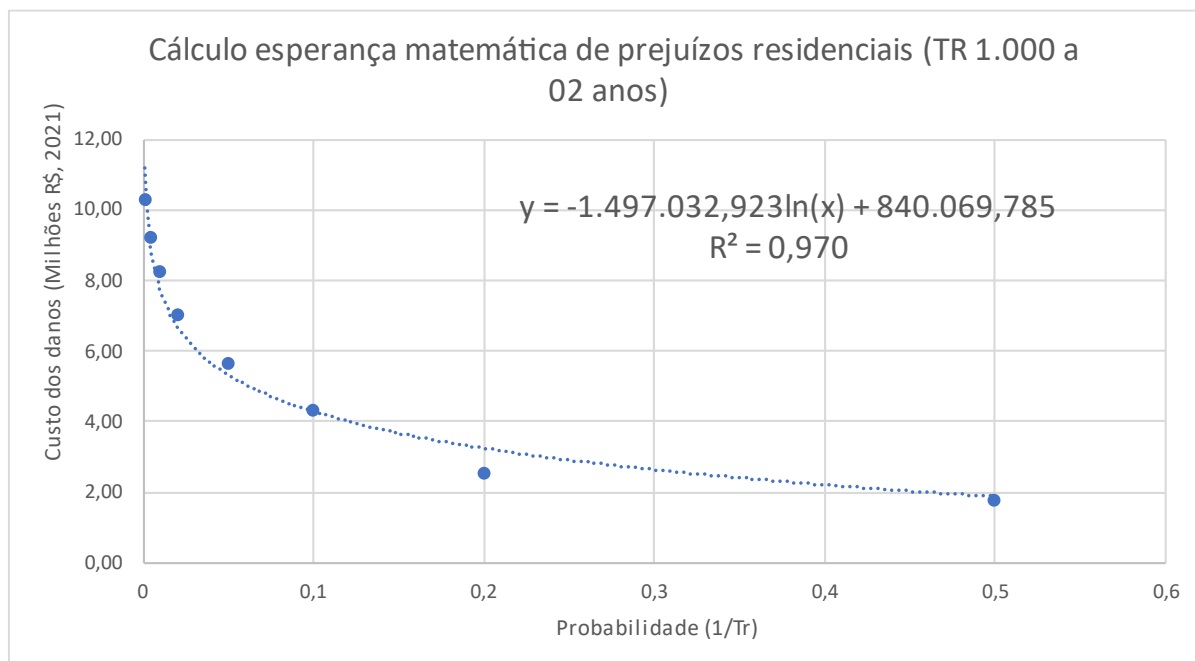
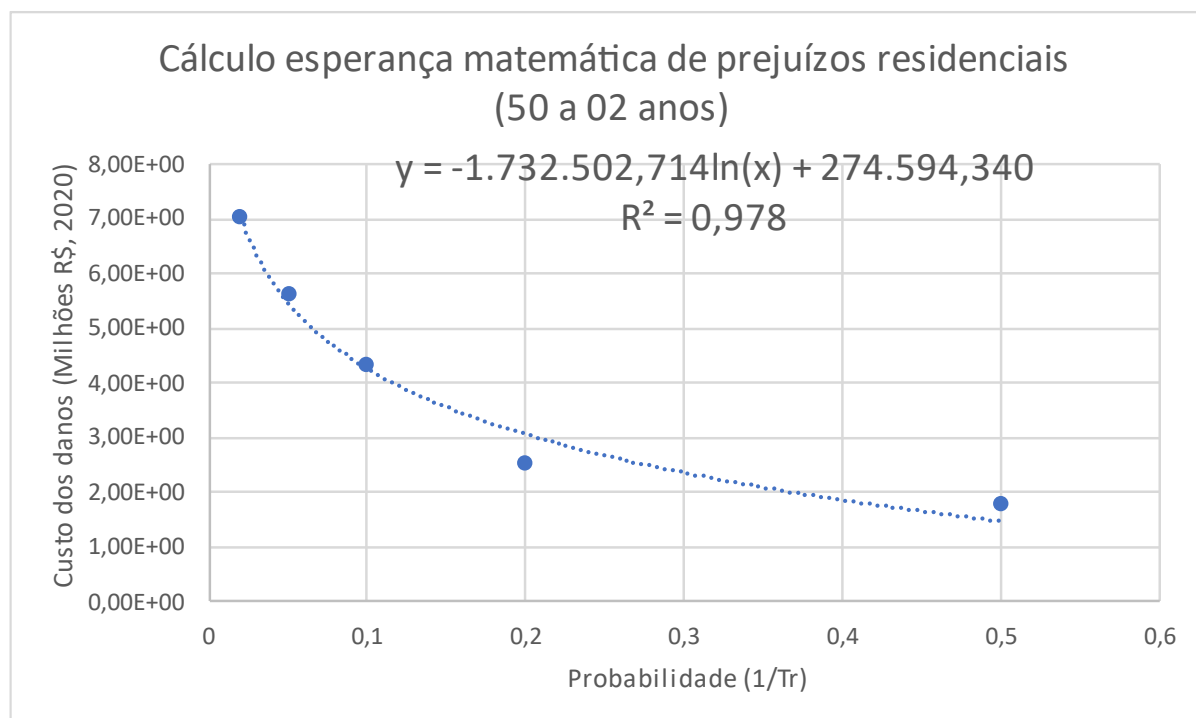


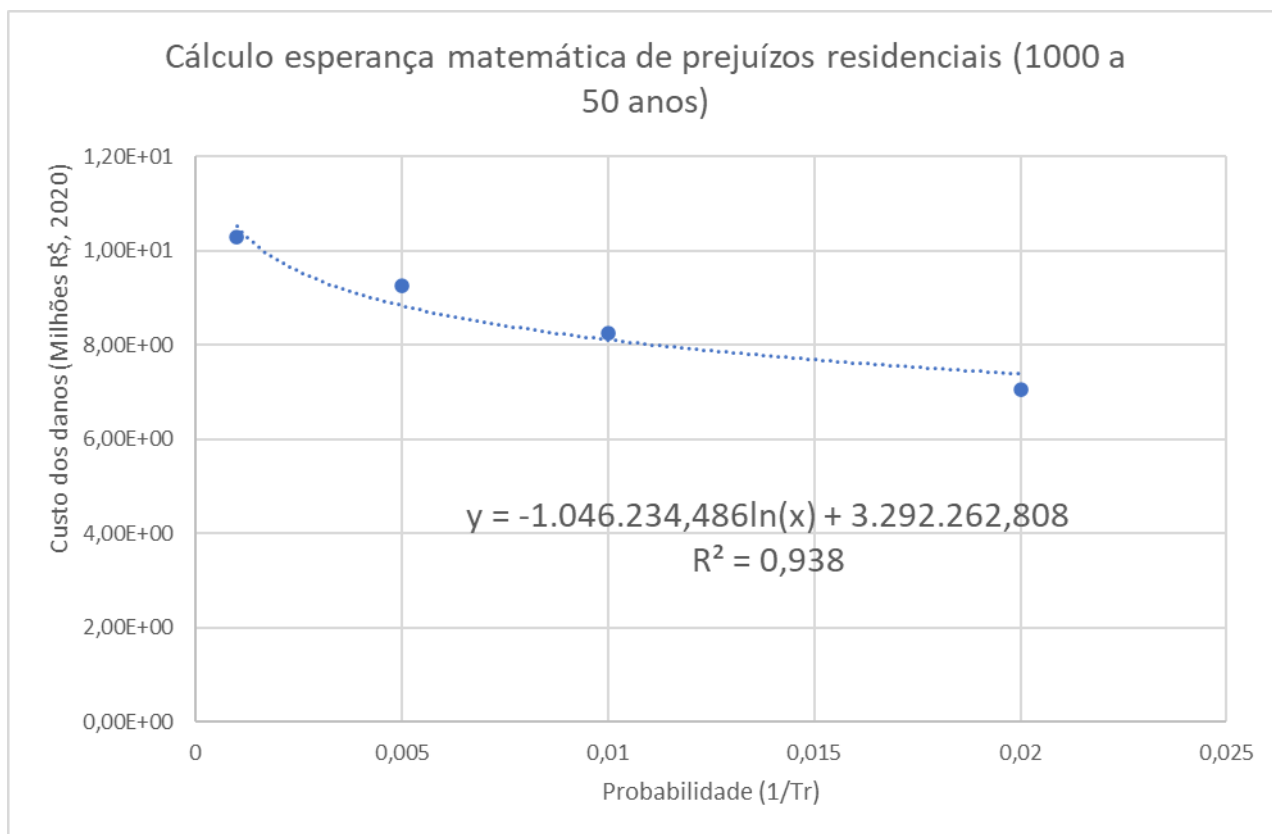
Figura 6.16 – Custo total dos danos residenciais versus probabilidade de excedência (Tr = 50 a 02 anos).



Decaimento exponencial de ordem 1 entre 02 e 50 anos:

$$\int_{0,02}^{0,50} -1.732.502,71 \ln(x) + 274.594,34 \, dx = 683.937,92$$

Figura 6.17 – Danos residenciais versus probabilidade de excedência: Cenário 01 (Tr 50 – 1000 anos).



Decaimento exponencial de ordem 1 entre 50 e 1000 anos:

$$\int_{0,001}^{0,02} -1.046.234,48 \ln(x) + 3.292.262,81 dx = 29.114,92$$

Figura 6.18 – Danos em estabelecimentos (comércio/serviços) versus probabilidade de excedência: Cenário 01 (Tr = 1000 – 02 anos).

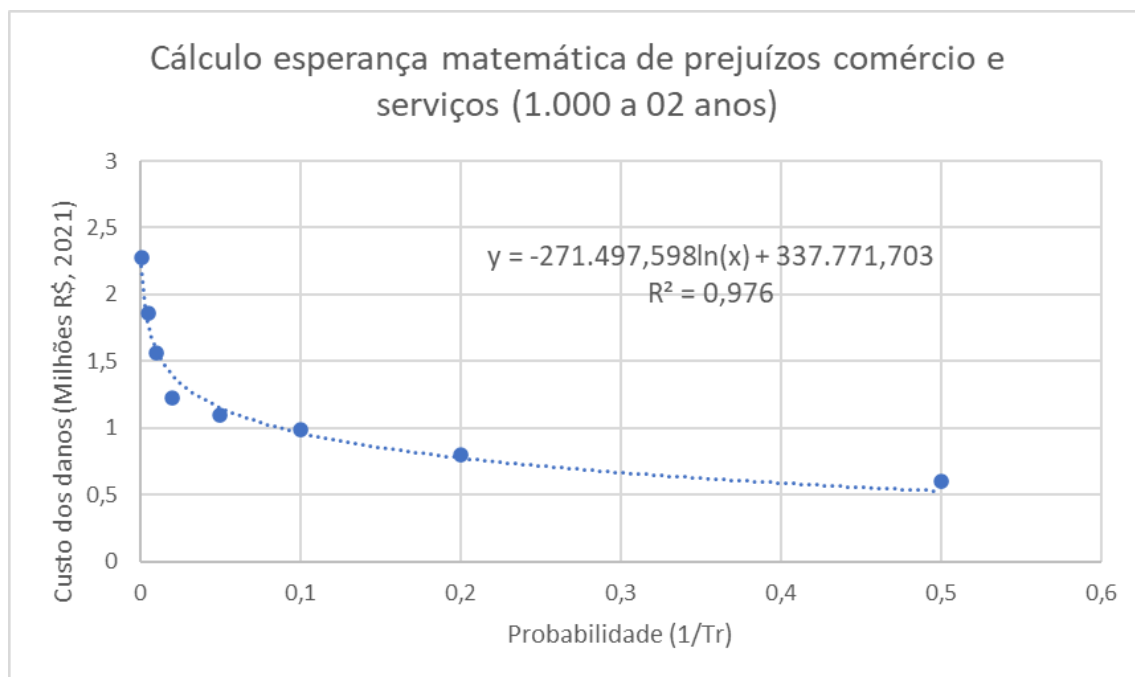
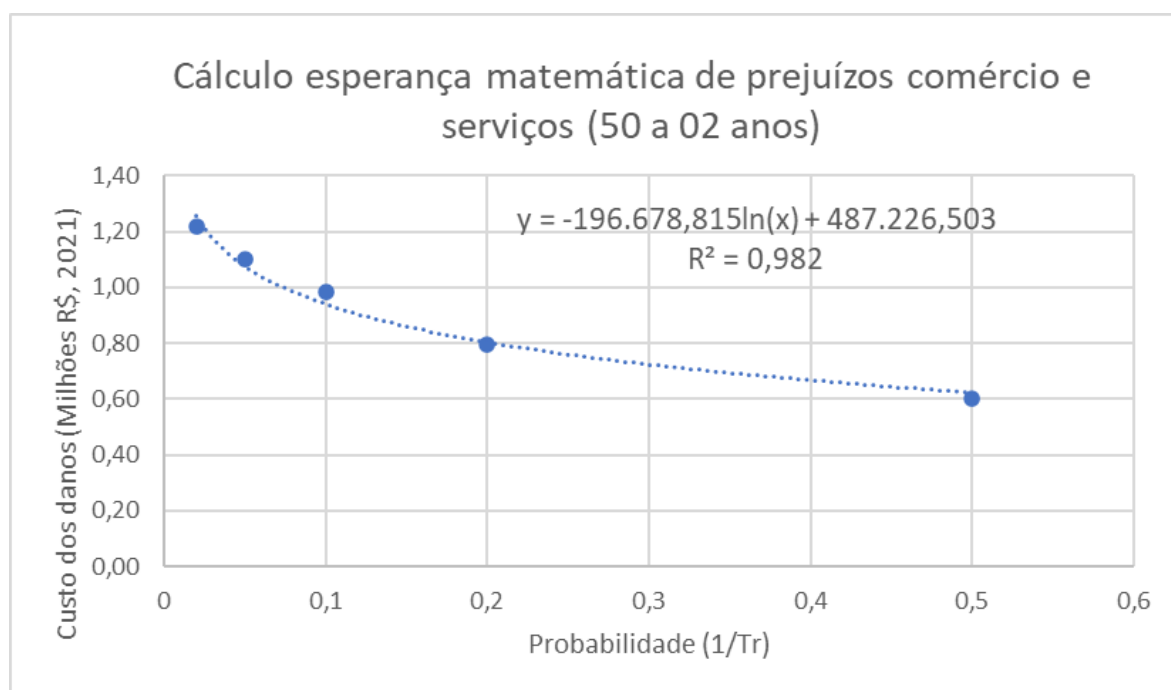


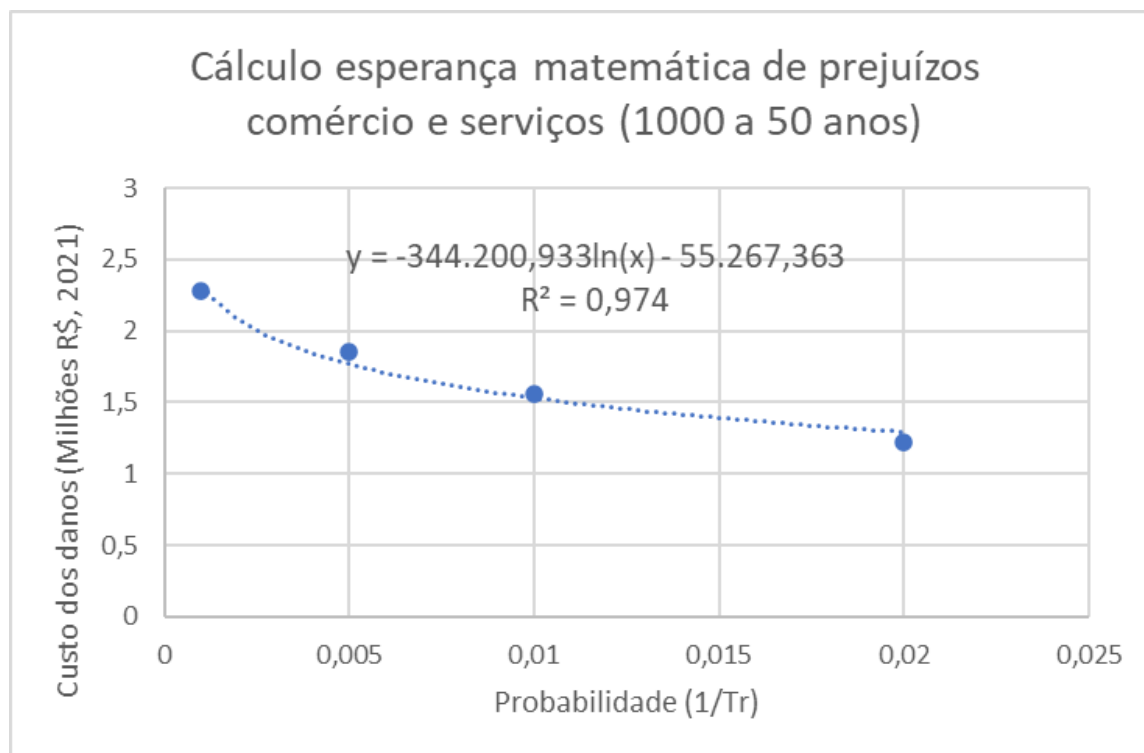
Figura 6.19 – Custo total dos danos (comércio/serviços) versus probabilidade de excedência: Cenário 01 (Tr = 50 – 02 anos)



Decaimento exponencial de ordem 1 entre 2 e 50 anos:

$$\int_{0,02}^{0,50} -196.678,815 \ln(x) + 487.226,503 \, dx = 109.270,20$$

Figura 6.20 – Danos em estabelecimentos (comércio/serviços) versus probabilidade de excedência: Cenário 01 (Tr = 1000 – 50 anos);



Decaimento exponencial de ordem 1 entre 50 e 1000 anos:

$$\int_{0,001}^{0,02} -271.497,598 \ln(x) + 337.771,703 \, dx = 8.692,78$$

Dessa forma, sob o cenário atual de ocupação urbana, a esperança matemática de danos anuais evitados pelo contato direto da água com imóveis e seus conteúdos, considerando o setor residencial e de comércio e serviços foi de R\$ 830.015,82, valor atualizado para setembro de 2021. O setor residencial é responsável por 85,79% dos danos, enquanto 14,21% são do setor de comércio e serviços (Tabela 6.16).

No trabalho de Machado (2005), os danos provocados sobre o setor residencial variaram entre 57 e 69% do total, enquanto o setor de comércio e serviços foi responsável por 43 a 31% do dano total dos diferentes setores.

O baixo valor dos danos evitados em relação ao comércio e serviços quando comparado ao setor residencial do presente trabalho, nos leva a crer que, devido a carência de infraestrutura local e vulnerabilidade social da área (PBH, 2016; COSTA, 2018), exista elevada informalidade na prestação de serviços e estabelecimentos comerciais na área impactada. Esta informalidade pode representar uma lacuna no cadastro do setor de comércio e serviços local junto à SFMA, cujo banco de dados foi utilizado. Os resultados de danos provocados por inundações são dependentes da qualidade dos dados de entrada utilizados, no caso, o cadastro do setor de comércio e serviços da SFMA. Neste sentido, ressalta-se que a presente análise não contemplou o setor informal de comércio e serviços, podendo assim estar subestimando os danos.

Tabela 6.16 – Esperança matemática anual dos danos causados pelo contato direto das inundações sobre imóveis e seus conteúdos: Cenário 01

Esperança matemática dos danos anuais causados pelo contato direto das inundações sobre imóveis e seus conteúdos			
	Comércio/serviços	Residenciais	Total
Dano (R\$, 2021)	117.962,98	712.052,84	830.015,82
Percentual	14,2%	85,8%	100,00%

Também foi identificado que 92,6% dos prejuízos em comércio e serviços ocorrem apenas com as chuvas de até 50 anos de tempo de recorrência e 95,9% dos prejuízos no setor residencial ocorre com estas mesmas chuvas (Tabela 6.17). Isto reafirma que as chuvas com menor tempo de retorno são as principais responsáveis pelo valor da esperança matemática de danos anuais, como identificado por outros autores (MACHADO, 2005; NASCIMENTO, 2007; CANÇADO, 2009).

Tabela 6.17 – Esperança matemática anual de danos causados pelo contato direto das inundações sobre imóveis e seus conteúdos - recorte por Tempo de Retorno: Cenário 01

	Tr 50 - 02 anos	Tr 1000 - 50 anos	Total
Comércio/serviços (R\$)	109.270,20	8.692,78	117.962,98
Percentual	92,6%	7,4%	
Residenciais (R\$)	682.937,92	29.114,92	712.052,84
Percentual	95,9%	4,1%	

Ressalta-se que foram utilizados os dados de maior confiabilidade disponíveis no momento e, considerando as limitações físicas e financeiras da presente pesquisa, o resultado foi satisfatório e pode servir como instrumento aos tomadores de decisão e para a sociedade organizada.

A Tabela 6.18 apresenta a relação entre renda média por conjunto de classes sociais (C, D, E ou A, B) e os danos discretizados por classe social impactada. Nota-se que dos 649 domicílios que sofrem danos com a maior chuva simulada, 625 são pertencentes a famílias de classe C, D e E, e 24 são de famílias de classe A e B. Ressalta-se que o dano por domicílio atingido do conjunto das classes A e B é quase três vezes maior que o dano sofrido por domicílio atingido do conjunto das classes C, D e E. Isso se deve ao fato das classes de maior renda possuírem residências e bens de maior valor e, por consequência, sofrem maiores perdas em valores monetários.

Por outro lado, é importante ressaltar que o percentual da renda comprometida pelos danos provocados por inundações para as classes de menor poder aquisitivo (C, D e E) é duas vezes maior que aquele dos extratos de renda mais elevada (A e B). Além disso, uma vez que classes sociais C, D e E apresentam menor poder aquisitivo, também apresentam maior dificuldade para repor ou reparar os bens de consumo duráveis. Ademais, inundações frequentes podem contribuir para uma precarização do acesso à serviços básicos, da qualidade de vida, e, por fim, resultando em uma diminuição de renda.

Tabela 6.18 – Dano médio anual por classes sociais em comparação com renda

Classe social	Geral	C, D, E	A, B
Domicílios contabilizados	649	625	24
Dano anual (R\$, 2021)	712.052,84	683.893,37	74.367,12
Dano anual por domicílio (R\$, 2021)	1.097,15	1.055,10	2.196,80
Renda média mensal (R\$, 2021) ¹	2.199,17	1.794,86	12.770,91
Dano/renda	4,16%	4,90%	1,43%

¹com base no Critério Brasil (ABEP, 2021)

6.4.3.2. Segundo cenário: intensificação da ocupação urbana

No cenário hipotético de intensificação da ocupação urbana nas margens do Ribeirão Onça, foram impactadas 1.233 edificações pela maior inundação simulada, de tempo

de retorno de 1000 anos, o que representa um aumento de 70% se comparado ao primeiro cenário. O número de edificações impactadas no segundo cenário de acordo com seu tempo de retorno bem como a variação percentual entre o cenário 01 e 02, são apresentados na Tabela 6.19.

Tabela 6.19 – Número de edifícios impactados por tempo de retorno: cenário 2

	Número de edifícios impactados por tempo de retorno							
	2 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos	200 anos	500 anos	1000 anos
	343	470	731	839	978	1.038	1.103	1.233
Aumento entre os cenários (%)	101	96	95	86	82	78	75	70

A seguir são apresentados os danos provocados por inundação sobre o setor residencial para cada inundação simulada no segundo cenário, bem como a variação entre cada cenário simulado (Tabela 6.20). Nota-se que houve um aumento maior dos danos se comparado ao aumento do número de edificações impactadas. Isso era esperado pois a proximidade do curso d'água reflete em maiores danos provocados pelas inundações.

Tabela 6.20– Danos provocados por inundação sobre o setor residencial: Cenário 02

	Danos provocados por inundação sobre o setor residencial: Cenário 02:								
	danos calculados								*
Tr (anos)	2	5	10	20	50	100	200	1000	Max.
Dano (R\$*10⁶; 2021)	4,43	5,24	9,35	11,80	14,10	16,00	17,40	19,10	21,00
Aumento entre os cenários (%)	150	107	116	109	100	94	89	86	91

* dano estimado de acordo com a tendência observada dos valores calculados; Tr: Tempo de retorno

A regressão exponencial para a obtenção da esperança matemática anual de danos provocados pelas inundações no segundo cenário é apresentada na Figura 6.21, Figura 6.22 e Figura 6.23.

Figura 6.21 – Danos residenciais versus probabilidade de excedência: cenário 02 (Tr 1000 - 2 anos)

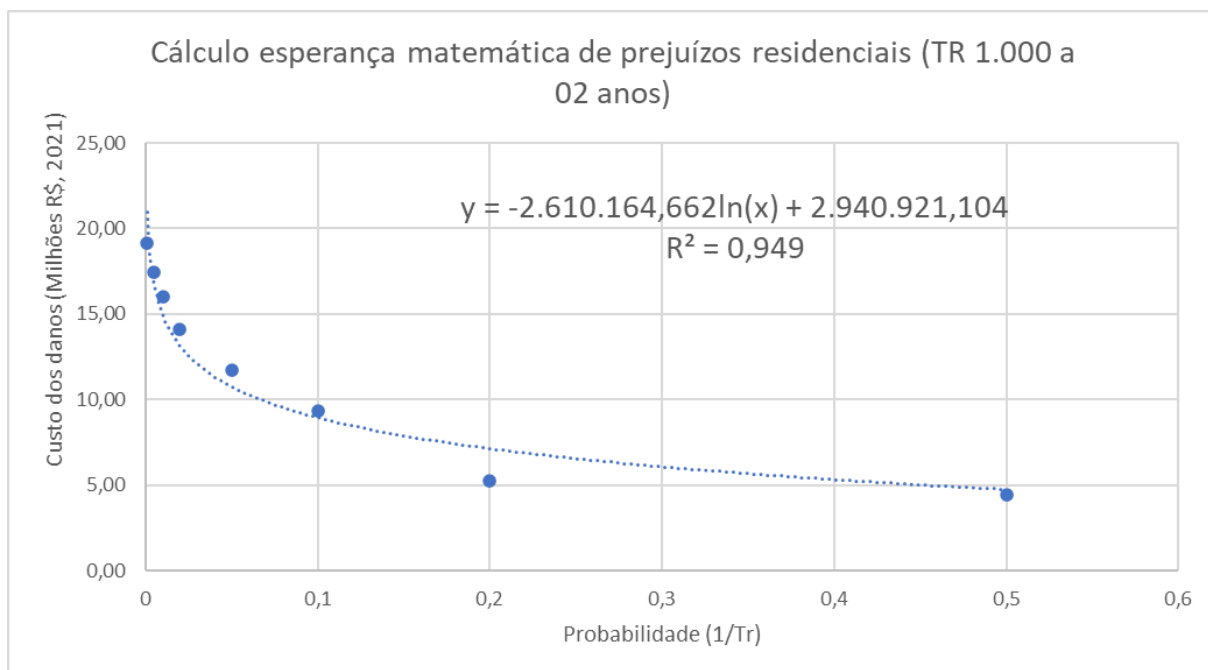
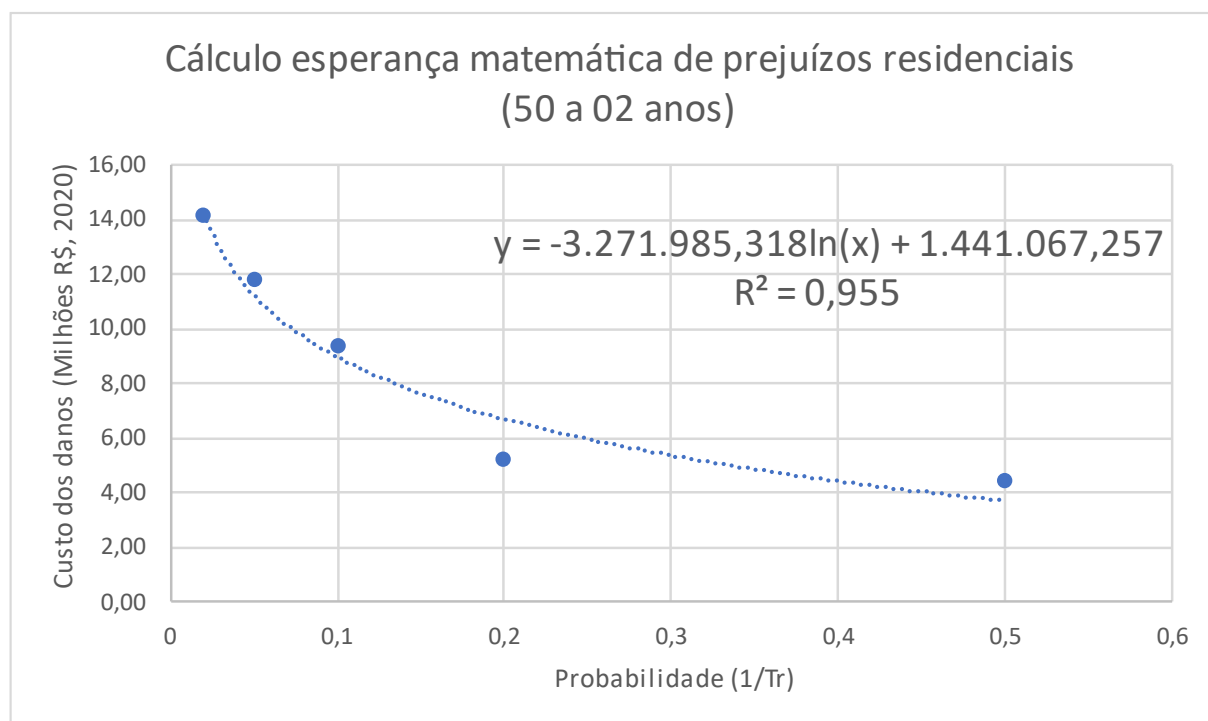


Figura 6.22 – Danos residenciais versus probabilidade de excedência: Cenário 02 (Tr 50 - 2 anos);

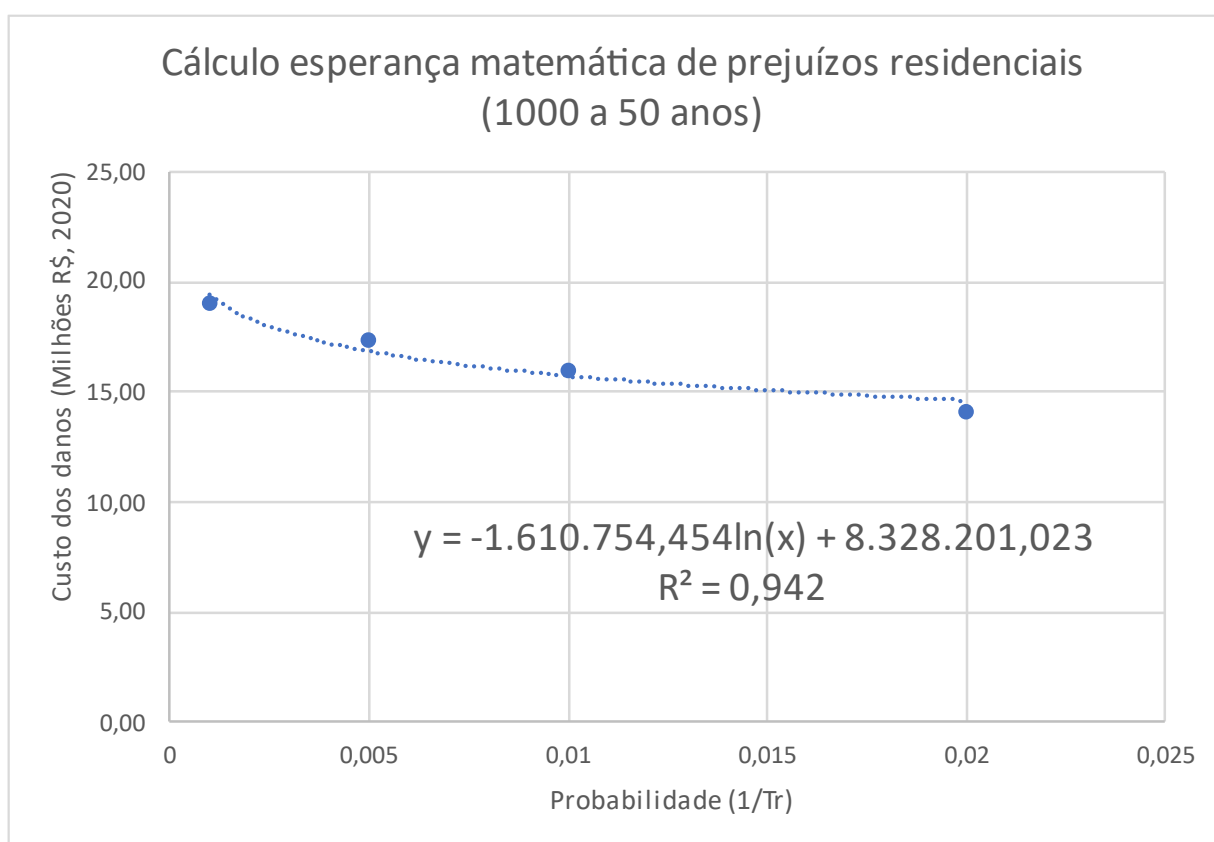


Decaimento exponencial de ordem 1 entre 2 e 50 anos:

$$\int_{0,02}^{0,5} -3.271.985,318 \ln(x) + 1.441.067,257 dx = 1.161.903,78$$

Caso fossem considerados os danos provocados por chuvas de tempo de retorno inferior a 2 anos, os danos aumentariam de forma expressiva. A esperança matemática dos danos entre o intervalo de 2 anos e 0 anos de tempo de retorno, probabilidades de excedência de 0,5 e 1, são por si só equivalentes a R\$3.322.442,595,00. Este valor é quase 3 vezes maior que os danos médios identificados pela integral do intervalo entre 2 e 50 anos, probabilidade de 0,5 e 0,02. Por esta razão, como bem demonstrado por MERZ (2010) e ELEUTÉRIO (2012), é de extrema importância identificar com precisão o evento de menor intensidade e maior recorrência que provoque danos na área de estudo, desconsiderando do cálculo os eventos de intensidade inferior.

Figura 6.23 – Danos residenciais versus probabilidade de excedência: cenário 02 (Tr 1000 - 50 anos);



Decaimento exponencial de ordem 1 entre 50 e 1000 anos:

$$\int_{0,001}^{0,02} -1.610.754,454 \ln(x) + 8.328.201,023 \, dx = 45.271,24$$

Por fim, as tabelas Tabela 6.21 e Tabela 6.22 apresentam os valores obtidos de esperança matemática dos danos anuais causados pelas inundações considerando o cenário de intensificação da ocupação das margens do Ribeirão Onça. Neste cenário, para o setor residencial e de comércio e serviços a esperança matemática anual calculada foi de R\$ 1.407.166,43, valores com referência em setembro/2021. Isto representa um aumento de 70% se comparado ao cenário 01.

Tabela 6.21 – Esperança matemática dos danos anuais causados pelo contato direto das inundações sobre imóveis e seus conteúdos: Cenário 02

Esperança matemática dos danos anuais causados pelo contato direto das inundações sobre imóveis e seus conteúdos			
	Comércio/serviços	Residenciais	Total
Dano (2020)	R\$ 199.988,41	R\$ 1.207.178,02	R\$ 1.407.166,43
Percentual	14,2%	85,8%	100,00%

*Valores estimados com base nos valores obtidos no cenário 01

Tabela 6.22 – Esperança matemática dos danos anuais causados pelo contato direto das inundações sobre imóveis e seus conteúdos - recorte por Tempo de Retorno: Cenário 02

	Tr 50 - 02 anos	Tr 1000 - 50 anos	Total
Comércio/serviços	R\$ 185.251,11	R\$ 14.737,30	R\$ 199.988,41
Percentual	92,6%	7,4%	
Residenciais	R\$ 1.161.906,78	R\$ 45.271,24	R\$ 1.207.178,02
Percentual	96,2%	3,8%	

*Percentual estimado com base nos valores obtidos no cenário 01

6.5. Estimativa dos danos evitados pela coleta e tratamento dos esgotos

Foram identificados na área de influência direta 11.272 edificações, representando 38.288 pessoas. Este valor está próximo do número de habitantes estimados na área de influência direta adotada no Diagnóstico Propositivo do Parque Ciliar do Ribeirão

Onça, de 36.052 habitantes e 10.627 domicílios. Apesar de as áreas de influência direta terem sido estimadas em cada estudo com metodologias diferentes, isto é um indicativo de que a metodologia utilizada aqui para estimar a área de influência direta fornece resultados condizentes com o que foi adotado por outros pesquisadores de trabalhos realizados na região.

Dentre as edificações, 9.614 possuem esgotamento sanitário regular e 1.658 não possuem, o que representa 32.506 moradores com esgotamento e 5.782 moradores sem esgotamento regular (Tabela 6.23). Esses dados são condizentes com os dados apresentados no Diagnóstico Propositivo do Parque, uma vez que neste último foi identificado que 15% da população não possui esgotamento sanitário regular na região (PBH, 2014b).

Tabela 6.23 – Número de residências com esgotamento sanitário regular e irregular nas margens do Ribeirão Onça: Cenário 01

Residências		
Residências regulares	Residências Irregulares	Total
9.614	1.658	11.272
Moradores		
Em residências regulares	Em residências Irregulares	Total
32.506	5.782	38.288

No cenário de intensificação da ocupação urbana, assumiu-se que o aumento no número de residências atingidas pela inundação é equivalente ao aumento do número de residências com esgotamento irregular, dadas as condições de menor acesso e renda da população da área de estudo se comparado ao restante de Belo Horizonte. Adotou-se então a variação de +70% apresentada na Tabela 6.19, que representa a variação do número de edificações atingidas pela inundação com TR de 1000 anos entre o cenário 01 e 02. Este valor foi adotado por representar a menor variação dentre as chuvas e a maior área dentre as manchas de inundação, sendo assim mais representativa ao raio de 500 metros utilizado para delimitação da área de influência direta.

O número de residências e moradores com esgotamento irregular e regular para o segundo cenário é apresentado na Tabela 6.24.

Tabela 6.24 – Número de residências com esgotamento sanitário regular e irregular nas margens do Ribeirão Onça: Cenário 02

Residências		
Residências regulares	Residências Irregulares	Total
16.343,63	2.818,99	19.162,62
Moradores		
Em residências regulares	Em residências Irregulares	Total
55.260,63	9.829,68	65.090,31

A média global per capita dos custos de operação e manutenção dos serviços de coleta e tratamento de esgotos por uma companhia estadual de saneamento são apresentados na Tabela 6.25 (PESSOA, 2019). O autor apresenta também a média das médias por localidade atendida dos custos per capita dessa Companhia, entretanto opta-se pela média global pois ela representa a média dos custos entre todas as pessoas atendidas pela Companhia Estadual de Saneamento. Isso é relevante pois uma prática comum em Companhias Estaduais de Saneamento é o subsídio cruzado entre as localidades. Ou seja, as localidades mais adensadas e superavitárias contribuem para o custeio de localidades menos adensadas e deficitárias. Nesse caso, a média global representa com maior fidelidade os custos inerentes ao tratamento dos esgotos da população, uma vez que estes custos também objetivam somar investimentos necessários para a universalização dos serviços sob a área de concessão dos serviços (PESSOA, 2019).

Tabela 6.25 – Média global per capita dos custos anuais de operação e manutenção de uma companhia estadual de saneamento (Pessoa, 2019)

Média global per capita dos custos anuais de operação e manutenção de uma companhia estadual de saneamento	
Coleta	Tratamento
R\$ 45,00	R\$ 29,40

Por fim, é apresentada nas Tabela 6.26 e Tabela 6.27 os prejuízos anuais estimados devido a poluição por esgotos na área em estudo para o cenário atual e o cenário de intensificação da ocupação ribeirinha, respectivamente.

Tabela 6.26 – Danos anuais associados ao lançamento irregular de esgotos no trecho do Ribeirão Onça em leito natural (Cenário 01)

Valor anual (2021): Cenário atual
R\$ 524.835,44

Tabela 6.27 – Danos anuais associados ao lançamento irregular de esgotos no trecho do Ribeirão Onça em leito natural (Cenário 02)

Valor anual (2021) (cenário 02)
R\$ 892.220,24

Em ambos os cenários, os danos anuais causados ao meio ambiente pelo lançamento de esgotos são equivalentes a 1,20% da renda média anual dos moradores que não possuem esgotamento sanitário regular. Caso seja adicionado o dano médio anual causado por inundações apresentado na Tabela 6.18, para o conjunto da população das classes sociais C, D e E que se encontram em áreas de risco à inundação e não possuem esgotamento sanitário regular, os danos anuais provocados por inundações e poluição com esgotos é em média equivalente à 6,10% da sua renda domiciliar ou 2,63% da renda para o conjunto da população das classes sociais A e B. Sabe-se que os danos provocados por lançamento de esgotos no curso d'água não incidem diretamente sobre a renda da população, todavia este foi aqui descrito dessa forma para apresentar ao leitor os prejuízos da sociedade ao “permitir” a permanência de parcela da população em áreas de risco e com déficit de serviços de saneamento básico.

Para cálculo do percentual dos danos causados pelo lançamento de esgotos em relação à renda média da população, não houve distinção entre as classes sociais e considerou-se a média dos rendimentos entre todas as classes. Isso se justifica pois o dano provocado pelo lançamento de esgoto bruto no curso d'água, ao contrário dos danos provocados por inundação, não se concentra no domicílio atingido, mas sim no meio ambiente e, por consequência, em toda a sociedade.

Por fim, entende-se que, assim como os danos provocados por inundação aos domicílios, o esgotamento sanitário irregular também é um problema sistêmico da sociedade. Isto é, o processo de marginalização da população carente, levando-a a aceitar morar em áreas de risco e sem acesso a saneamento e outros serviços básicos

é de responsabilidade e um prejuízo para toda a sociedade e poder público. Sendo assim, os resultados chamam atenção para a urgência e alta relevância dos danos sociais em áreas urbanizadas causados pela carência de infraestrutura que respeite o meio ambiente e de serviços básicos para garantia da dignidade humana, sobretudo da população em maior vulnerabilidade econômica.

6.6. Análise dos principais resultados

A Tabela 6.28 apresenta um resumo da análise dos custos potencialmente evitados pelo Parque do Ribeirão Onça em comparação com os parques já implantados do programa DRENURBs. Os valores de danos anuais provocados por inundações quando somados aos valores dos danos anuais por esgotamento sanitário, considerando o cenário de intensificação da ocupação urbana, ao longo de 40 anos poderiam custear o valor das obras e desapropriações de três das cinco intervenções da primeira etapa do projeto DRENURBS, quais sejam, os parques dos Córregos 1º de Maio, Baleares e Nossa Srª da Piedade. Além disso, os custos potencialmente evitados pelo Parque poderiam ao longo de 30 anos se igualam ao custo estimado das desapropriações das famílias localizadas em sua própria área de implantação.

Estas relações levam em conta a correção dos custos das intervenções pelo IPCA (Jan/2008-set/2021) e contribui para compreender a vultuosidade dos valores aqui obtidos para o município, uma vez que para garantir as intervenções dos parques do DRENURBS foi realizado pelo município empréstimo com o Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID (PBH, 2014).

Tabela 6.28 – Análise dos danos evitados em comparação com os parques do DRENURBs

Córrego / Parque:	1º de Maio¹	Baleares ¹	Nossa Srª da Piedade¹	Engenho Nogueira¹	Bom Sucesso¹	Rib. Onça
Regional de Belo Horizonte	Norte	Venda Nova	Norte	Pampulha/Noroeste	Barreiro/ Oeste	Norte/Nordeste
População beneficiada (Diretamente)	2.983	3.741	6.713	19.641	47.213	32.506 ²
Desapropriação/ indenizações (nº de famílias)	16	88	175	59	802	582 ³
Valor das obras (milhões R\$)	4,60	5,50	14,8	21,8	189,6	-
Valor das desapropriações (milhões R\$)	1,23	2,30	8,2	2,8	29,9	60,62 ⁴
Danos evitados anuais (1º cenário - milhões R\$)	-	-	-	-	-	1,24 ⁵
Danos evitados anuais (2º cenário - milhões R\$)	-	-	-	-	-	2,10 ⁵

¹ Valores apresentados por PBH (2016);

² Produto da população residente a 500 metros do leito do córrego pela média de moradores por domicílio (IBGE, 2010);

³ Número de famílias localizadas na mancha de TR 100 anos no cenário 01, estimando 1 família por residência;

⁴ Estimada a partir da média dos custos de desapropriação por famílias desapropriadas para os outros parques e corrigido pelo IPCA até setembro de 2021.

⁵ Soma dos danos anuais potencialmente evitados devido a inundações e lançamento de esgotos pelo parque.

Este trabalho apresenta algumas limitações, dentre as quais ressalta-se que não foi analisada eventual valorização das residências remanescentes nas proximidades do Parque. Uma das metodologias passíveis de identificar o benefício econômico da valoração dos imóveis passa pela análise de preços hedônicos (MOTTA, 1997; TEMPESTA, 2016) e pode vir a ser aplicada em trabalhos futuros na mesma região. Além deste, diversos benefícios citados no item 3.2 não foram estimados no presente trabalho, dentre os quais, citam-se, o aumento da biodiversidade, saúde e bem-estar da população, controle térmico, qualidade do ar e sequestro de gases do efeito estufa, turismo, geração de empregos verdes, coesão social, dentre outros. Isto evidencia que os valores de benefícios advindos de parques ciliares tal como o do ribeirão Onça são muito maiores que os danos potencialmente evitados por inundações e poluição por esgotos.

Todavia, este trabalho atinge seus objetivos uma vez que (i) apresenta um panorama bibliográfico dos benefícios advindos por parques ciliares urbanos; (ii) apresenta um estudo de caso em um município possui diversos parques ciliares, como é o caso de Belo Horizonte; e (iii) apresenta por meio de uma metodologia embasada na literatura, os danos potencialmente evitados por inundações e poluição por esgotos domésticos, comparando também com parques já implementados.

7. CONCLUSÕES

A valoração de recursos ambientais ou análise de danos em valores monetários de alternativas sustentáveis ambiental e socialmente ainda é um grande desafio para os cientistas e profissionais de todo o mundo. Isto se deve à transdisciplinaridade inerente desta tarefa, bem como à baixa integração das diferentes áreas de conhecimento. A presente dissertação buscou valorar os danos potencialmente evitados advindos da implantação de parques lineares em zonas ripárias tendo como estudo de caso o Parque Ciliar do Ribeirão Onça, em Belo Horizonte/MG. Também se propôs a realizar as mesmas estimativas sob um segundo cenário de intensificação da ocupação ribeirinha.

A modelagem hidrológica e hidráulica representou bem a relação chuva-vazão para eventos de maior intensidade. Entretanto, foram levantadas diversas fontes de incertezas, das quais se citam: (i) desatualização do cadastro de macrodrenagem da Bacia Hidrográfica e dificuldade na definição da rugosidade de Manning em áreas urbanas (ii) calibração e validação por meio de limnigrama e não fluviogramas, além de incertezas epistêmicas das abstrações hidrológicas; (iii) Utilização de Modelo Digital de Elevação corrigido manualmente.

Ainda que as incertezas não tenham sido quantificadas, visando reduzi-las foi realizado respectivamente (i) calibração do modelo hidráulico; (ii) calibração do modelo hidrológico; (iii) comparação dos resultados do modelo hidrológico com a mancha de inundação do município. Ressalta-se ainda que a análise da calibração e validação utilizou como parâmetros de avaliação de sua aceitabilidade o coeficiente de Nash-Sutcliffe e a análise gráfica de semelhança entre os limnigramas observados e simulados, aumentando a confiabilidade do modelo.

Em relação aos danos provocados por inundação, a esperança matemática dos danos anuais evitados pelo parque corresponde a 4,90% da renda média anual para as classes C, D e E, e 1,43% para as classes A e B. Estes resultados chamam a atenção para as classes de menor poder aquisitivo que são as mais prejudicadas pelas inundações, não apenas por se localizarem em geral em áreas de maior risco, mas também por possuírem menor renda para repor os danos causados por inundações. Além disso, inundações frequentes contribuem para uma precarização do acesso à

serviços básicos, da qualidade de vida, e, por fim, resultando em uma diminuição de renda das classes menos afortunadas.

Em relação aos danos ao meio ambiente provocados pelo lançamento de esgotos brutos no Ribeirão Onça, os resultados indicaram que seu valor é equivalente a 1,20% da renda média da população residente com esgotamento sanitário irregular. É um valor relevante uma vez que 15% da população na área de estudo não possui esgotamento sanitário regular e está lançando esgotos brutos no Ribeirão Onça. Ainda que os danos provocados por lançamento de esgotos no curso d'água não incidam diretamente sobre a renda da população, é relevante a comparação para evidenciar os prejuízos incididos ao meio ambiente e à sociedade uma vez que “permitem” a permanência de parcela da população em áreas de risco e com déficit de serviços de saneamento básico.

Sob o segundo cenário, a situação se agrava ainda mais, totalizando danos anuais provocados por inundações e pelo lançamento de esgotos de R\$ 1.407.166,43 (set/2021). Visando avaliar a relevância destes valores, foi feita a seguinte comparação: ao longo de 40 anos estes danos potencialmente evitados poderiam custear o valor das obras e das desapropriações de três das cinco intervenções da primeira etapa do projeto DRENURBS, quais sejam, os parques dos Córregos 1º de Maio, Baleares e Nossa Srª da Piedade. Tal como também poderiam ao longo de 30 anos se igualar ao custo de desapropriação das famílias localizadas em sua própria área de implantação.

Ressalta-se que os resultados aqui apresentados abordam exclusivamente os danos causados por inundações e lançamento de esgotos brutos evitados com a implantação do Parque. Em uma análise completa de impactos econômicos provocados pela implantação de parques ciliares urbanos diversos outros aspectos também devem ser considerados, como por exemplo: aumento das áreas de recreação; aumento do valor dos imóveis; melhoria da estética local; redução da ilha de calor; melhoria de qualidade dos ecossistemas aquáticos; criação de empregos verdes e redução da pobreza; redução de gases do efeito estufa; melhoria da qualidade do ar; redução de estresse; e aumento da afinidade da população em relação à natureza. Além disso, impactos como mudanças de dinâmicas familiares;

impactos psicológicos e sob a rotina de atividades físicas da população, também são exemplos de aspectos relevantes no que tange ao risco de inundações.

No entanto, por meio da ampla revisão da literatura, reafirma-se a necessidade evidente de integração de diferentes áreas de conhecimento para obter as estimativas de danos intangíveis e indiretos sobre o meio ambiente e à sociedade.

Por fim, os resultados aqui apresentados, ainda que enfocados sobre apenas alguns dos diversos impactos gerados pelo parque, poderão ser úteis para o poder público na tomada de decisão relativa à implantação de infraestrutura urbana, definição de áreas prioritárias para investimentos públicos bem como quantificação do custo de oportunidade de cada alternativa a ser implantada. Também poderá ser útil para a sociedade civil organizada, uma vez que traz arcabouço técnico e científico para demandas sociais que existem há décadas sobre a área de estudo. E claro, também será útil para os acadêmicos e comunidade científica, uma vez que é mais um passo no desenvolvimento dos conhecimentos relativos à valoração econômica do meio ambiente, gestão do espaço urbano, saneamento ambiental e soluções baseadas na natureza.

7.1. Recomendações

Como recomendações para trabalhos futuros e otimização dos resultados aqui apresentados, se destacam:

- A atualização do cadastro da macrodrenagem de Belo Horizonte no trecho em leito natural do Ribeirão Onça.
- Atualização do cadastro de estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços nas proximidades da área de implantação do Parque Ciliar do Ribeirão Onça.
- Priorizar análises que integrem diferentes áreas de conhecimento – por exemplo, ciências sociais, ciências econômicas, ciências biológicas e engenharias – visando aumentar a gama de impactos estimados e valorados sobre a área de estudo.
- Buscar validar a Curva de Dano por Profundidade Submersa proposta por Machado (2005) para o município de Belo Horizonte, tendo em vista que foi

realizado em municípios que distam mais de 400 km da capital há mais de 15 anos.

- Avaliar com maior profundidade a intensificação da ocupação urbana ocorrida em áreas de risco em Belo Horizonte para construir cenários mais realísticos para este caso.

8. BIBLIOGRAFIA

ABEP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE PESQUISA. Critério Brasil. São Paulo, 2021.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14653-6: avaliação de bens: parte 6: recursos naturais e ambientais. Rio de Janeiro, 2009. Versão corrigida.

ABREU, F.G., **Quantificação dos prejuízos econômicos à atividade comercial derivados de inundações urbanas**, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento, EESC-USP, São Carlos, 2019

ALLAIRE, M. ***Socio-economic impacts of flooding: a review of the empirical literature***. *Water Security*, [S.L.], v. 3, 2018, p. 18-26. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.wasec.2018.09.002.

ALMEIDA, L. V. Q. Construção e avaliação a priori de curvas de danos residenciais diretos tangíveis relacionados a inundações para Minas Gerais, Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Área de Concentração em Recursos Hídricos), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: UFMG, 2020.

ALMEIDA R, PATRICIO P, BRANDÃO M, TORRES R. ***Can economic development policy trigger gentrification? Assessing and anatomising the mechanisms of state-led gentrification***. *Environment and Planning A: Economy and Space*. 2022;54(1):84-104. doi:10.1177/0308518X211050076

ANA – AGENCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Rede Hidrometeorológica Nacional**. Brasília: ANA, 2020. Disponível em <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>> Acesso em 04 abr 2020.

ARICÒ, C.; NASELLO, C.; TUCCIARELLI, T. Using unsteady-state water level data to estimate channel roughness and discharge hydrograph. *Advances in Water Resources*, v. 32, n. 8, p. 1223–1240, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2009.05.001>>.

AROEIRA, R. M. **Recuperação ambiental de bacias hidrográficas**, Belo Horizonte, Brasil. In: MATTA MACHADO, A. T. G., LISBOA, A. H., ALVES, C. B. M., LOPES, D. A., GOULART, E. M. A., LEITE, F. A., POLIGNANO, M. V. (Org.). **Revitalização de rios no mundo: América, Europa e Ásia**. Belo Horizonte: Instituto Guaicuy, 2010.

BERNHARDT, E. S.; PALMER, M. A. Restoring streams in an urbanizing world. *Freshwater Biology*, v. 52, n. 4, p. 738–751, 2007.

BARTIK, T. Evaluating the benefits of non-marginal reductions in pollution using information on defensive expenditures. *Journal of Environment Economics and Management*, v. 15, p. 111-127, 1988.

BORISOVA-KIDDER, A. Meta-analytical estimates of values of environmental services enhanced by government agricultural programs. Dissertation presented in partial fulfillment of the requirements for the Degree Doctor of Philosophy in the Graduate School of The Ohio State University, 2006. 190p.

BOWLER, D.E., BUYUNG-ALI, L.M., KNIGHT, T.M., PULLIN, A.S. A systematic review of evidence for the added benefits to health of exposure to natural

environments. BMC Public Health V. 10, n. 456 (2010). DOI: 10.1186/1471-2458-10-456

BRANDLI, L. L.; MARQUES PRIETTO D. P.; NECKEL, A.. Estimating the Willingness to Pay for Improvement of an Urban Park in Southern Brazil Using the Contingent Valuation Method. *Journal of Urban Planning and Development*, v. 141, n. 4, p. 05014027, 2015

BRASIL (Governo Federal). Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF: DOU, 2005

BRASIL (Governo Federal). Resolução CONAMA nº 369, de 28 de março de 2006: Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente-APP. Brasília, DF: DOU, 2006

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT Manual de drenagem de Rodovias. - 2. ed. - Rio de Janeiro, 2006. 333p.

_____. Lei Federal 9.433. Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: 28 jan. 2021.

_____. Calculadora Cidadão. Disponível em: <www3.bcb.gov.br/CALCIDADAO>. Acesso em: 3 fev. 2021.

CANÇADO, Vanessa Lucena. **Consequências econômicas das inundações e vulnerabilidade: Desenvolvimento de metodologia para avaliação do impacto nos domicílios e na cidade**. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Área de Concentração em Recursos Hídricos), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: UFMG, 2009.

COSTANZA, R.; D'ARGE R.; GROOT, R. de; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; BELT, M. V. D. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* V. 387 (6630) Pg. 253–259. 1997.

COSTA, Baruc Geremias dos Santos. **Análise de indicadores ambientais na área de influência da primeira cachoeira do ribeirão onça em Belo Horizonte – MG**. Monografia de Conclusão de Curso – Graduação em engenharia ambiental. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: UFMG, 2018. 103 p.

COSTA, H. S. M.; BONTEMPO, V. L.; KNAUER, S. 2008. **Programa DRENURBS: uma discussão sobre a constituição de alianças de aprendizagem na Política de Saneamento de Belo Horizonte**. In: Encontro Nacional de Estudos Populacionais, 16, 2008, Caxambu. Anais eletrônicos... Caxambu: ABEP.

CBH VELHAS – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS. Deliberação normativa CBH Velhas nº 02/2004 - (Alterada pela DN 01/2009 de 20/03/2009). Estabelece diretrizes para a criação e o funcionamento dos subcomitês, vinculados ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. Belo Horizonte: CBH Velhas, 2004.

_____. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. 2014a. Disponível em: <<http://cbhvelhas.org.br/planodiretor/>>. Acesso em: 17 set. 2018

_____. Unidade Territorial **Estratégica Ribeirão Onça**. 2014b. Disponível em: <<http://cbhvelhas.org.br/onca/>>. Acesso em: 17 set. 2018.

_____. **Revista Rio das Velhas 01: Rio das Velhas – A Espinha Dorsal da Província de Minas Gerais**. Mar. 2015. Disponível em: <<http://cbhvelhas.org.br/noticias/revista-rio-das-velhas-01-rio-das-velhas-a-espinha-dorsal-da-provincia-de-minas-gerais/>>. Acesso em: 27 set. 2018.

_____. **Valorização de Nascentes Urbanas – Onça – 3ª Fase**. [2018]. Disponível em <<http://cbhvelhas.org.br/valorizacao-de-nascentes-urbanas-onca-3a-fase/>> Acesso em: 28 nov. 2018.

CBH SÃO FRANCISCO – COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. **SF5 – Minas Gerais**. [2018]. Disponível em: <<http://cbhsaofrancisco.org.br/2017/comites-de-afluentes/cbh-do-rio-das-velhas-minas-gerais/>> Acesso em: 17 set. 2019.

CECHIN, A.; VEIGA, J. E da. O fundamento central da economia ecológica. Em: MAY PH, LUSTOSA MC AND VINHA V (Org), Economia do Meio Ambiente: teoria e prática. Rio de Janeiro: Elsevier, 2ª ed. p. 33–47. 2010.

DALY, H. E. On Economics as a Life Science. *Journal of Political Economy*, Chicago, v. 76, n. 3, p. 392-406, 1968.

DWELLE, M. C. et al. Streamflow, stomata, and soil pits: Sources of inference for complex models with fast, robust uncertainty quantification. *Advances in Water Resources*, v. 125, n. December 2018, p. 13–31, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.01.002>>.

ELEUTERIO J., *Flood risk analysis: impact of uncertainty in hazard modelling and vulnerability assessments on damage estimations*, PhD thesis, University of Strasbourg, FR, 243 p., 2012.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE AGRICULTURA E PECUARIA (2011). SANTOS, H. G.; CARVALHO JUNIOR, W., DART, R. O.; AGLIO, M. L. D.; SOUSA, J. S.; PARES, J. G.; FONTANA, A.; MARTINS, A. L. S.; OLIVEIRA, A. P. **O novo mapa de solos do Brasil**: legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 67 p. (Embrapa Solos. Documentos, 130.) 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000.

ESSOKA, J. *The gentrifying effects of brownfields redevelopment*. *Western Journal of Black Studies*, v. 34, n. 3, p. 299–315, 2010.

EUROPEAN COMMISSION. *Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities*. [S.l: s.n.], 2015.

EVANGELISTA, Janaína de Andrade. **Sistemática para avaliação técnica e econômica de alternativas de intervenções em cursos de água urbanos**. Dissertação (mestrado em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos, ênfase em recursos hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011.

FJP – FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Base de dados georreferenciados da RMBH: ortofotos aéreas e modelo digital de superfície. 2013. Belo Horizonte.

FLETCHER T. D., SHUSTER W., HUNT W. F., ASHLEY R., BUTLER D., ARTHUR S., TROWSDALE S., BARRAUD S., SEMADENI-DAVIES A., BERTRAND-KRAJEWSKI J., MIKKELSEN P. S., RIVARD G., UHL M., DAGENAIS D., VIKLANDER M. (2015) **SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage**, Urban Water Journal, 12:7, 525-542, DOI: 10.1080/1573062X.2014.916314

GARCIA, J. I. B.; PAIVA, E. M. C. D.; BRITES, A. P. Z.; PAIVA, R. C. D. **Avaliação da discretização em uma bacia hidrográfica urbana, através do modelo swmm**. XXI Congresso Latino-americano de Hidráulica São Pedro, São Paulo, Brasil, outubro, 2004

GHOSH, S.; GELFAND, A. E.; MØLHAVE, T. *Attaching uncertainty to deterministic spatial interpolations*. *Statistical Methodology*, v. 9, n. 1–2, p. 251–264, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.stamet.2011.06.001>>.

GOMERA, M. *Putting a Price on Nature*. [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <ssir.org/articles/entry/putting_a_price_on_nature#>. Acesso em: 15 jan. 2021.

HANDMER, J., REED, C. AND PERCOVICH, O. *Disaster Loss Assessment: Guidelines, Assessment*. Australia, Queensland. 127p. 2002.

HOBEICA, L.; HOBEICA, A. Flood-prone urban Parks: linking flood adaptation and risk awareness. *Territorium* 25 (ii), 2018, 143-160. Disponível em <https://doi.org/10.14195/1647-7723_25-2_12> Acesso em 31 jul. 2021.

HUBERT, G.; LEDOUX, B., (eds.) (1999), *Le coût du risque, l'évaluation des impacts socioéconomiques des inondation*, Paris: Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Disponível em < <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01180163/>>, acesso em 07 dez. 2019

HUFF, F. A. Time distribution of rainfall in heavy storms. *Water Resources Research*, v. 3, n. 4, p. 1007-1019, 1967.

HUFSCHMIDT, M. M.; JAMES, D. E.; MEISTER, A. D.; BOWER, B. T.; DIXON, J. A. *Environment, natural systems, and development: an economic valuation guide*. Baltimore, EUA: Johns Hopkins University Press, 1983. 338 p.

HEC-RAS, Hydrologic Engineering Center – River Analysis System. v. 5.0.4 [s.l.]: USACE, 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010. **CENSO 2010**: Bases Cartográficas - Setores Censitários. Disponível em: < <https://portaldemapas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 01 jan. 2021.

ICE-DP, Instituto de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro - Divisão de Pesquisa. Meteorologia Aeronáutica. Brasília: ICE-DP, 2020. Disponível em <<http://pesquisa.icea.gov.br/page/3>> Acesso em 04 abr. 2020

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2010. **CENSO 2010**: Bases Cartográficas - Setores Censitários. Disponível em: < <https://portaldemapas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 01 jan. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS APLICADAS – IPEA, 1995. IUNES, R. F. **A Concepção Econômica de Custos**. in PIOLA, S. F.; VIANNA, S. M. (org.) **Economia da Saúde: Conceitos e Contribuição para a Gestão da Saúde**. Brasília, 1995. Disponível em <<http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>> Acesso em 21 de março de 2021.

JOHNSTON, R. J.; ROSENBERGER, R. S. Methods, trends and controversies in contemporary benefit transfer. *Journal of Economic Surveys*, v. 24, n. 3, p. 479–510, 2010

KABISCH, N.; HAASE, D. *Green justice or just green? Provision of urban green spaces in Berlin, Germany*. *Landscape and Urban Planning*, v. 122, p. 129–139, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.016>>.

KONIJNENDIJK C.C.; ANNERSTEDT M.; NIELSEN A.B.; MARUTHAVEERAN S. (2013). Benefits of urban parks: a systematic review. A report for International Federation of Parks and Recreation Administration - IFRPA. Copenhagen & Alnarp, January 2013

MACEDO, D. R. **Avaliação de Projeto de Restauração de Curso d'água em Área Urbanizada: estudo de caso no Programa Drenurbs em Belo Horizonte**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: UFMG, 2009. 122p.

MACHADO, Maria Léa. **Curvas de Inundação versus Profundidade de Submersão**: desenvolvimento de metodologia, estudo de caso da Bacia do Rio Sapucaí, Itajubá - MG. Belo Horizonte, 2005. 217 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Área de Concentração em Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005.

MAPBIOMAS, **Projeto MapBiomass** – Coleção 4.1 da Série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil. (2020). Disponível em <<https://mapbiomas.org/>>, acesso em 07 abr. 2020.

MCPHEARSON, T., KARKI, M., HERZOG, C., SANTIAGO FINK, H., ABBADIE, L., KREMER, P., CLARK, C. M., PALMER, M. I., AND PERINI, K. (2018). *Urban ecosystems and biodiversity*. In ROSENZWEIG, C., W. SOLECKI, P. ROMERO-LANKAO, S. MEHROTRA, S. DHAKAL, AND S. ALI IBRAHIM (eds.), *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. Cambridge University Press. New York. 257–318

MCCUEN, R. H.; KNIGHT, Z.; CUTTER, A. G. (2006). **Evaluation of the Nash–Sutcliffe Efficiency Index**. *Journal of Hydrologic Engineering*, 11(6), 597–602. DOI:10.1061/(asce)1084-0699(2006)11:6(597)

MEDEIROS, Isaac Henriques de. **PROGRAMA DRENURBS/NASCENTES E FUNDOS DE VALE: potencialidades e desafios da gestão sócio-ambiental do território de Belo Horizonte a partir de suas águas**. 2009. 203 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

MERZ, B., KREIBICH, H., SCHWARZE, R., and THIEKEN, A.: **Review article "Assessment of economic flood damage"**, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 1697-1724, 10.5194/nhess-10-1697-2010, 2010.

MINAS GERAIS (Governo Estadual). Decreto Estadual 36.692, de 30 de junho de 1998: institui o comitê da bacia hidrográfica do rio das velhas. Belo Horizonte, MG: DOE, 1998

_____. **Lei estadual n.º 13.199**, de 29 de janeiro de 1999: Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos. Belo Horizonte, MG: DOE, 1999.

MOTTA, R. S. **Manual para Valoração Econômica de Recursos Ambientais**. Rio de Janeiro, 1997.

NASCIMENTO, N.; MACHADO, M. L.; BAPTISTA, M.; SILVA, A. P. (2007) The assessment of damage caused by floods in the Brazilian context, *Urban Water Journal*, 4:3, 195-210, DOI: 10.1080/15730620701466591

NASCIMENTO, A. S.; NUNES, A. A.; ABADE, D. S. O.; CASTRO, G. A.; OLIVEIRA, J. G.; CASTRO, K. D. R.; TEODORO, M. R. (2020) **Análise de chuvas intensas para o município de Belo Horizonte**. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 5, p. 32184-32218. Curitiba, 2020 DOI: 10.34117/bjdv6n5-605

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. ***River flow forecasting through conceptual models, Part I. A discussion of principles***. *J. Hydrol.* v. 10, p. 282-290. (1970) DOI: 10.1016/0022-1694(70)90255-6

NATURVATION. Horizon 2020: Review of Economic Valuation of Nature Based Solutions in Urban Areas. 2017. Disponível em: <www.naturvation.eu>.

NOGUEIRA, J. M.; MEDEIROS, M. A. A.; ARRUDA, F. S. T. **Valoração Econômica do Meio Ambiente: Ciência ou Empiricismo?** *Caderno de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 17, n. 2, p. 81-115. 2000.

OPEN SWMM. List maintained by University of Guelph, UG in Canada, 2009. Disponível em <<https://www.openswmm.org/Topic/3998/hydrology-comparison-of-cn-infiltration-to-hms>> Acesso em 04 ago. 2020

PAIVA, Aparecida Mendes de. **O sentimento de pertencimento social no engajamento comunitário: um estudo de caso no bairro Jardim Felicidade, Belo Horizonte, Minas Gerais**. 2018. 207 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Social, Educação e Desenvolvimento Local) – Centro Universitário UNA, Belo Horizonte, 2018.

PENNING-ROWSELL, E.C.; CHATTERTON, J.B. *The Benefits of Flood Alleviation*, 1977 (Saxon House: Teakfield).

PESSOA, Lucas Marques. **Análise de Custos de Implantação e Operação de Sistemas de Esgotamento Sanitário, Considerando a Modicidade Tarifária**. 2019. 140 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Área de Concentração em Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

PINHEIRO, M. G.; NAGHETTINI, M. C. Análise Regional de Frequência e Distribuição Temporal das Precipitações Intensas na Região Metropolitana de Belo Horizonte. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 3, n. 4, p. 73-88, 1998.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE – PBH. **Levantamento Cadastral dos Canais de Belo Horizonte**: fichas cadastrais dos canais de Belo Horizonte. 2000. Belo Horizonte

_____. **Base Cartográfica com Delimitação de Manchas de Inundação para Belo Horizonte**. Belo Horizonte, 2009a. Disponível em <[Cartas de Inundações | Prefeitura de Belo Horizonte \(pbh.gov.br\)](http://Cartas.de.Inundacoes.Prefeitura.de.Belo.Horizonte.pbh.gov.br)> Acesso em 10 de novembro de 2021.

_____. **Projeto básico de ampliação dos canais do Ribeirão Ressaca e Sarandi**. 2009b. Belo Horizonte.

_____. **Abertura de licitação SCO 078/2013-CC.** Belo Horizonte: DOM, 2014a. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/planejamento-urbano/projetos-urbanos/parque-do-onca>>. Acesso em: 06 dez. 2019.

_____. **Diagnóstico Propositivo e Memorial Descritivo do Parque do Onça.** Belo Horizonte: PBH, 2014b. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/planejamento-urbano/projetos-urbanos/parque-do-onca>>. Acesso em: 06 dez. 2019.

_____. **Plano Municipal de Saneamento Básico 2016-2019.** Belo Horizonte: PBH, 2016.

_____. **Lei municipal nº 11.181,** de 08 de agosto de 2019: Aprova o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte e dá outras providências. Belo Horizonte, MG: DOM, 2019.

_____. **Base de dados hidroclimáticos de Belo Horizonte:** registro das estações de monitoramento hidroclimático entre 2011 e 2020. 2020. Belo Horizonte.

_____. **BHMAP.** Belo Horizonte: PBH, 2020b. Disponível em <<http://bhmap.pbh.gov.br/>> Acesso em 16 dez. 2020

PROJETO MANUELZÃO. **Núcleos.** 2014. Disponível em:<<https://manuelzao.ufmg.br/nucleos/>>. Acesso em: 07 jan. 2021.

_____. **História.** 2018. Disponível em: <<https://manuelzao.ufmg.br/sobre/>>. Acesso em: 07 jan. 2021.

_____. **Viajantes do Passado.** 2018b. Disponível em: <<https://manuelzao.ufmg.br/projeto/viajantes-do-passado/>> Acesso em: 07 jan. 2021.

QGIS – QUANTUM GIS. Development Team: **Qgis versão 3.4.1. Madeira.** QGIS, 2018. Disponível em: <<http://qgis.org>>. Acesso em: 15 set. 2020.

REDE GLOBO (2013), Defesa Civil interdita casas no bairro Floresta, em BH, após desabamento. Disponível em <[G1 - Defesa Civil interdita casas no bairro Floresta, em BH, após desabamento - notícias em Minas Gerais \(globo.com\)](https://g1.globo.com/minas-gerais/noticia/2013/07/24/defesa-civil-interdita-casas-no-bairro-floresta-em-bh-apos-desabamento-1.1488888)> Acesso em 27 jul. 2022.

_____. (2018). Temporal atinge vários pontos de Belo Horizonte Nesta Quarta Feira. Disponível em <[Temporal atinge vários pontos de Belo Horizonte nesta quarta-feira | Minas Gerais | G1 \(globo.com\)](https://g1.globo.com/minas-gerais/noticia/2018/07/26/temporal-atinge-varios-pontos-de-belo-horizonte-nesta-quarta-feira-1.4888888)> Acesso em 27 jul. 2022

_____. (2020). Chuva destrói parte de BH; MG tem 55 mortos em 6 dias. Disponível em <[Chuva destrói parte de BH; MG tem 55 mortos em 6 dias | Minas Gerais | G1 \(globo.com\)](https://g1.globo.com/minas-gerais/noticia/2020/07/31/chuva-destrui-parte-de-bh-mg-tem-55-mortos-em-6-dias-1.6888888)>. Acesso em 31 jul 2022

REID, W. V. *Ecosystems and human well-being: a report on the conceptual framework working group of the Millenium Ecosystem Assessment.* Washington: [s.n.], 2005. v. 5. Disponível em: <<http://www.who.int/entity/globalchange/ecosystems/ecosys.pdf>>.

SABYRBEKOV R.; DALLIMER, M.; NAVRUD, S. Nature affinity and willingness to pay for urban green spaces in a developing country. **Journal Landscape and Urban Planning.** n. 194, p. 103700, 2020. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2019.103700

SANDRONI, Paulo. *Novíssimo Dicionário de Economia.* São Paulo: Best Seller, 1999

SENNER, Júlia Benfica. **Epitáfio: a floresta se despede da cidade?** 2018. 183 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

SILVA, Sandra Luzia Assis da. **As múltiplas dimensões do risco para pessoas que convivem com inundações recorrentes: o caso de moradores da Vila América, Santo André/SP.** 2016. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Estudos Pós-Graduados em Psicologia: Psicologia Social, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2016.

SILVA-SÁNCHEZ, S.; JACOBI, P. R. Políticas de recuperação de rios urbanos na cidade de São Paulo: possibilidades e desafios. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, v. 14, n. 2, p. 119, 2012

SIQUEIRA, Rejane Cristina. **Proposição de Metodologia para Construção de Gráfico de Risco de Inundações em Bacias Urbanas: Estudo de Caso Bacia do Córrego Cachoeirinha.** 2017. 149 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

SISEMA – Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos.** Belo Horizonte: IDE-Sisema, 2019. Disponível em: <idesisema.meioambiente.mg.gov.br> Acesso em: 17/10/2019

STRATUS CONSULTING **A Triple Bottom Line Assessment of Traditional and Green Infrastructure Options for Controlling CSO Events in Philadelphia's Watersheds.** Final Report: Colorado, 2009. Disponível em <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/gi_philadelphia_bottomline.pdf> Acesso em 19 fev. 2020

TEMPESTA, T. Benefits and costs of urban parks: a review. **Aestimum**, n. 67, p. 127-143, 9 Feb. 2016.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. 150 p.

USACE – *United States Army Corps of Engineers (2016) Hydrologic Engineering Center: River Analysis System (HEC-RAS).* Version 5.0. Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos: 2016.

USEPA – United States Environmental Protection Agency (2015). Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1. Serviço de Proteção Ambiental Americano: Cincinnati, 2015. Disponível em <https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-02/documents/epaswmm5_1_manual_master_8-2-15.pdf> Acesso em 29 jul. 2020.

VAN HOUTVEN, G., POWERS, J., PATTANAYAK, S. 2007. **Valuing water quality improvements in the United States using meta-analysis: Is the glass half-full or half-empty for national policy analysis?** *Resource and Energy Economics* 29:206–228.

VÁSQUEZ, W. F.; REZENDE, C. E.. Willingness to pay for the restoration of the Paraíba do Sul River: A contingent valuation study from Brazil. *Ecohydrology and Hydrobiology*, v. 19, n. 4, p. 610–619, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.01.001>>.

VIANINI NETO, L. **Estudo de ruptura da barragem da Pampulha, em belo horizonte: retroanálise da brecha do acidente de 1954 e ruptura hipotética nas condições atuais**. 2016. 304 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <http://www.smarh.eng.ufmg.br/diss_defesas_detalhes.php?aluno=1180>. Acesso em: 17 out. 2019.

WOODWARD, R. T.; WUI Y. S. 2001. The economic value of wetland services: A meta-analysis. *Ecological Economics* 37:257–270.

WMO – World Meteorological Organization; UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. *International Glossary of Hydrology*. N° 385. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization; United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2012.

WSTANE, Carla. **Gestão de Águas Urbanas: Mobilização Social em Torno de Rios Invisíveis**. 2013. 195 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

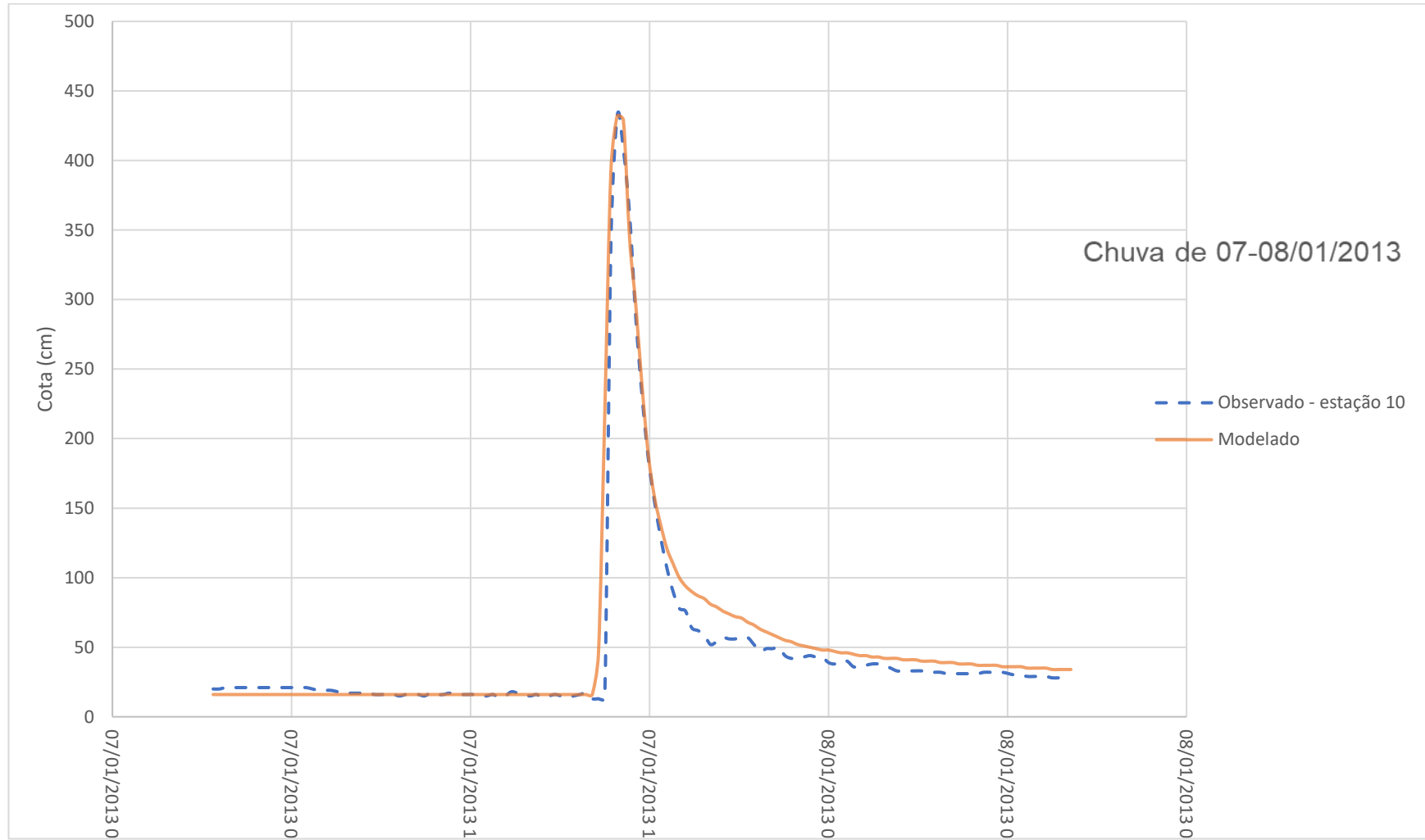
WU Z.; LV H.; MENG Y., GUAN X., ZANG Y. **The determination of flood damage curve in areas lacking disaster data based on the optimization principle of variation coefficient and beta distribution**. Science of The Total Environment, V. 750, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142277>.

APÊNDICE I – RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 CHUVA DE 07-08/01/2013 ESTAÇÃO 10.....	216
GRÁFICO 2 CHUVA DE 07-08/01/2013 ESTAÇÃO 09.....	216
GRÁFICO 3 CHUVA DE 07-08/01/2013 ESTAÇÃO 18.....	218
GRÁFICO 4 CHUVA DE 07-08/01/2013 ESTAÇÃO 06.....	218
GRÁFICO 5 CHUVA DE 07-08/01/2013 ESTAÇÃO 17.....	220
GRÁFICO 6 CHUVA DE 23-26/03/2016 ESTAÇÃO 10.....	220
GRÁFICO 7 CHUVA DE 23-26/03/2016 ESTAÇÃO 09.....	222
GRÁFICO 8 CHUVA DE 23-26/03/2016 ESTAÇÃO 18.....	223
GRÁFICO 9 CHUVA DE 23-26/03/2016 ESTAÇÃO 06.....	223
GRÁFICO 10 CHUVA DE 30/11-04/12/2018: ESTAÇÃO 10.....	225
GRÁFICO 11 CHUVA DE 30/11-04/12/2018: ESTAÇÃO 09.....	226
GRÁFICO 12 CHUVA DE 30/11-04/12/2018: ESTAÇÃO 18.....	226
GRÁFICO 13 CHUVA DE 30/11-04/12/2018: ESTAÇÃO 06.....	228
GRÁFICO 14 CHUVA DE 30/11-04/12/2018: ESTAÇÃO 17.....	228
GRÁFICO 15 CHUVA DE 11-13/12/2019: ESTAÇÃO 10	230
GRÁFICO 16 CHUVA DE 11-13/12/2019: ESTAÇÃO 09	230
GRÁFICO 17 CHUVA DE 11-13/12/2019: ESTAÇÃO 18	231
GRÁFICO 18 CHUVA DE 11-13/12/2019: ESTAÇÃO 06	232
GRÁFICO 19 CHUVA DE 11-13/12/2019: ESTAÇÃO 17	233
GRÁFICO 20 CHUVA DE 14-16/11/2019: ESTAÇÃO 10	235
GRÁFICO 21 CHUVA DE 14-16/11/2019: ESTAÇÃO 09	235
GRÁFICO 22 CHUVA DE 14-16/11/2019: ESTAÇÃO 18	237
GRÁFICO 23 CHUVA DE 14-16/11/2019: ESTAÇÃO 06	238
GRÁFICO 24 CHUVA DE 14-16/11/2019: ESTAÇÃO 17	239
GRÁFICO 25 CHUVA DE 14-18/01/2020: ESTAÇÃO 10	240
GRÁFICO 26 CHUVA DE 14-18/01/2020: ESTAÇÃO 09	240
GRÁFICO 27 CHUVA DE 14-18/01/2020: ESTAÇÃO 18	242
GRÁFICO 28 CHUVA DE 14-18/01/2020: ESTAÇÃO 06	243
GRÁFICO 29 CHUVA DE 14-18/01/2020: ESTAÇÃO 17	244
GRÁFICO 30 CHUVA DE 20-21/01/2013: ESTAÇÃO 06	246
GRÁFICO 31 CHUVA DE 20-21/01/2013: ESTAÇÃO 18	247
GRÁFICO 32 CHUVA DE 20-21/01/2013: ESTAÇÃO 10	248
GRÁFICO 33 CHUVA DE 20-21/01/2013: ESTAÇÃO 09 (VALIDAÇÃO MODELO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO)	249
GRÁFICO 34 CHUVA DE 20-21/01/2013: ESTAÇÃO 17	250
GRÁFICO 35 CHUVA DE 24-27/12/2018: ESTAÇÃO 06	251
GRÁFICO 36 CHUVA DE 24-27/12/2018: ESTAÇÃO 18	252
GRÁFICO 37 CHUVA DE 24-27/12/2018: ESTAÇÃO 10	253

GRÁFICO 38 CHUVA DE 24-27/12/2018: ESTAÇÃO 09 (VALIDAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO).....	254
GRÁFICO 39 CHUVA DE 24-27/12/2018: ESTAÇÃO 17	255
GRÁFICO 40 CHUVA DE 05-06/12/2019: ESTAÇÃO 06	256
GRÁFICO 41 CHUVA DE 05-06/12/2019: ESTAÇÃO 18	257
GRÁFICO 42 CHUVA DE 05-06/12/2019: ESTAÇÃO 10	258
GRÁFICO 43 CHUVA DE 05-06/12/2019: ESTAÇÃO 09 (VALIDAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO).....	259
GRÁFICO 44 CHUVA DE 05-06/12/2019: ESTAÇÃO 17	260
GRÁFICO 45 CHUVA DE 01-06/01/2020: ESTAÇÃO 06	261
GRÁFICO 46 CHUVA DE 01-06/01/2020: ESTAÇÃO 18	262
GRÁFICO 47 CHUVA DE 01-06/01/2020: ESTAÇÃO 10	263
GRÁFICO 48 CHUVA DE 01-06/01/2020: ESTAÇÃO 09 (VALIDAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO).....	264
GRÁFICO 49 CHUVA DE 01-06/01/2020: ESTAÇÃO 17	265
GRÁFICO 50 CHUVA DE 23-26/01/2020: ESTAÇÃO 06	266
GRÁFICO 51 CHUVA DE 23-26/01/2020: ESTAÇÃO 18	267
GRÁFICO 52 CHUVA DE 23-26/01/2020: ESTAÇÃO 10	268
GRÁFICO 53 CHUVA DE 23-26/01/2020: ESTAÇÃO 09 (VALIDAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO).....	269
GRÁFICO 54 CHUVA DE 23-26/01/2020: ESTAÇÃO 17	270

Gráfico 1 Chuva de 07-08/01/2013 estação 10**Gráfico 2 Chuva de 07-08/01/2013 estação 09**

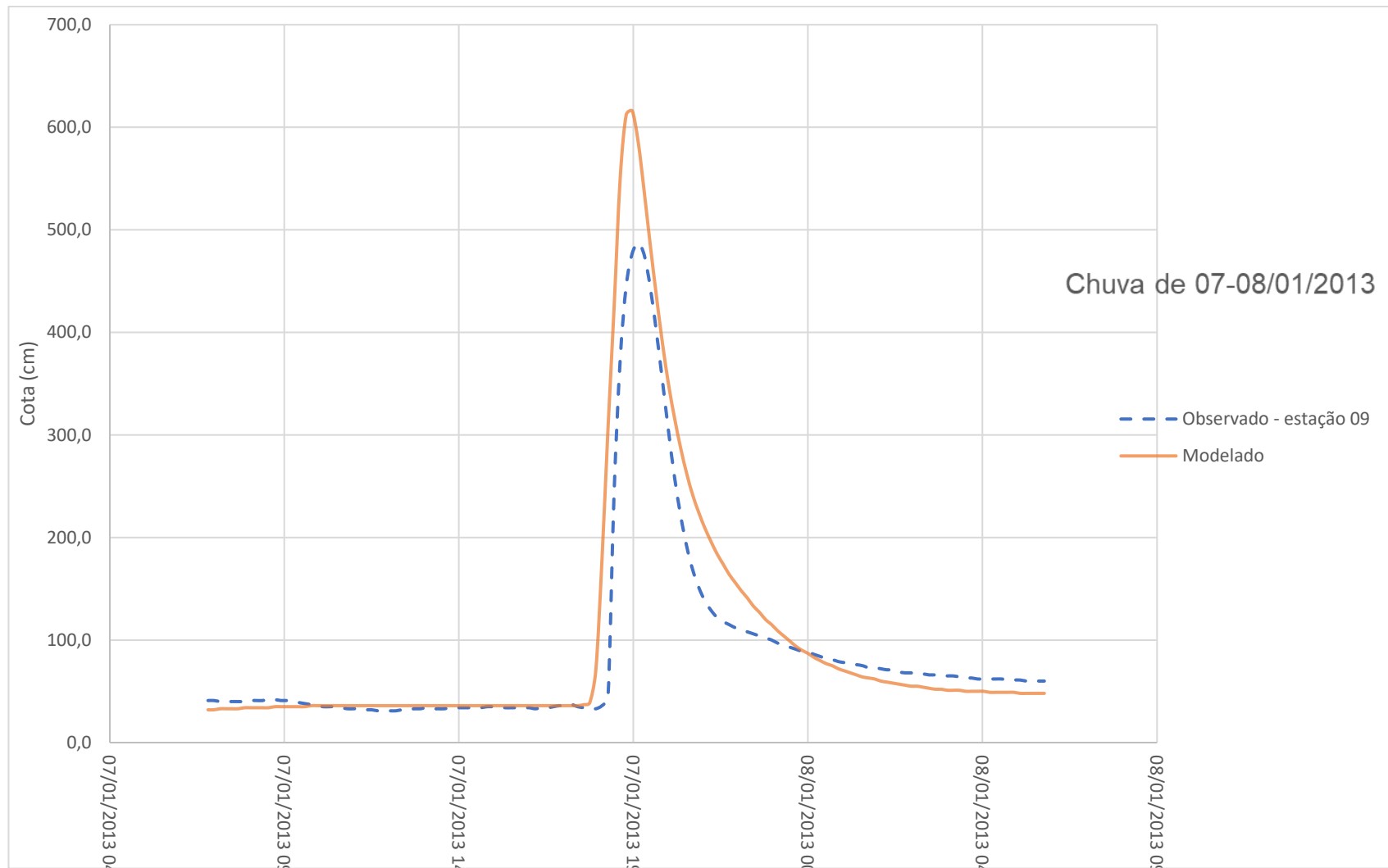


Gráfico 3 Chuva de 07-08/01/2013 estação 18

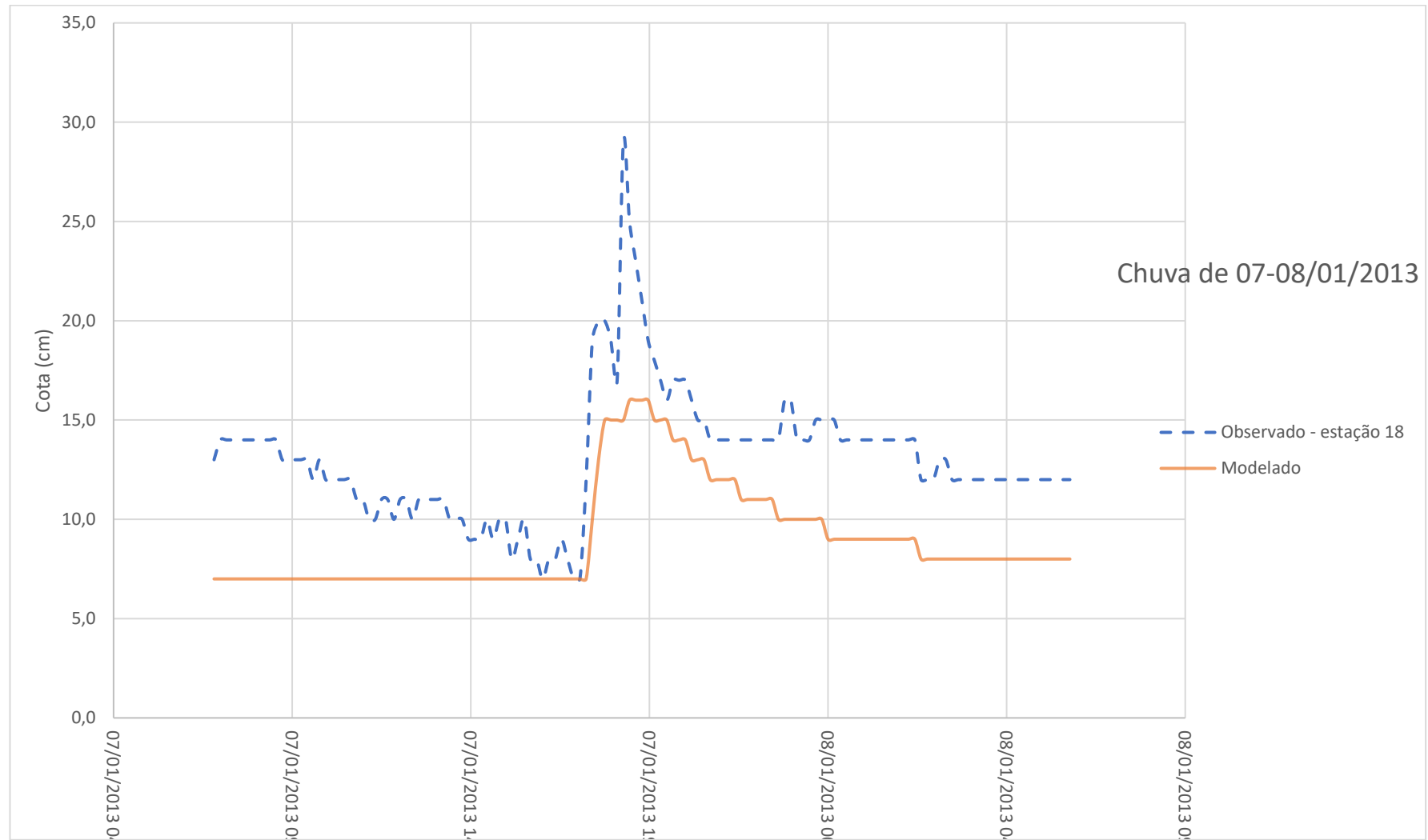


Gráfico 4 Chuva de 07-08/01/2013 estação 06

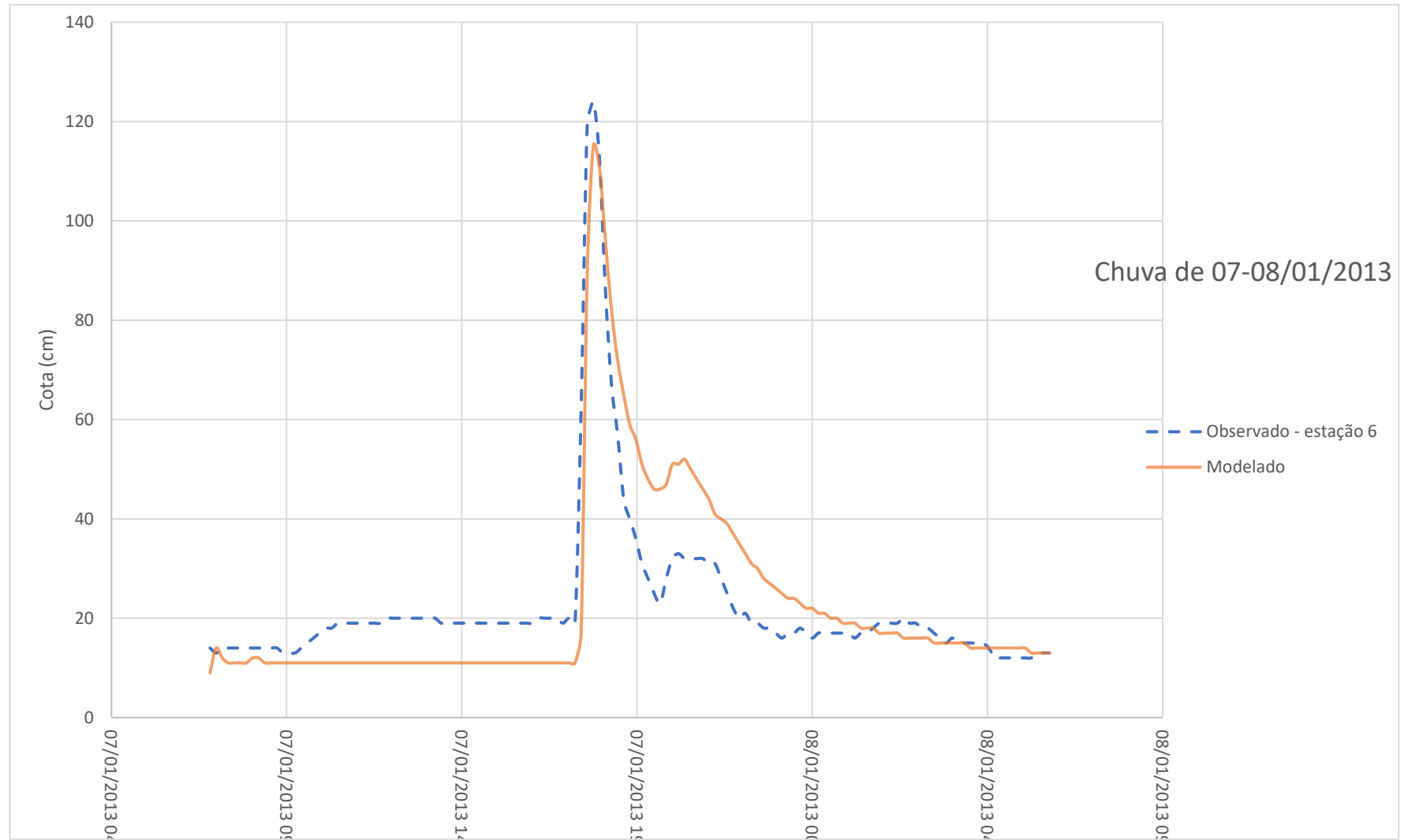
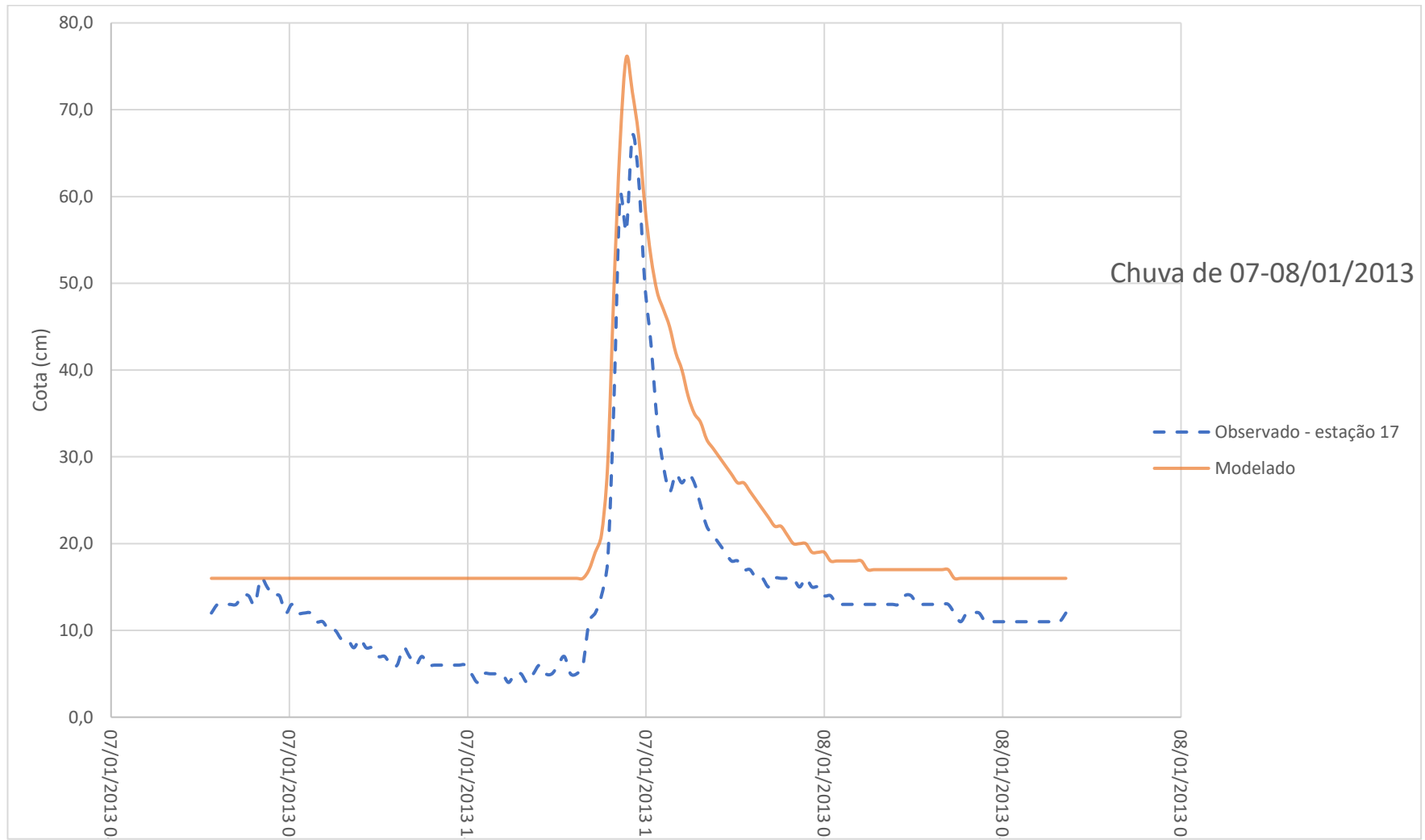


Gráfico 5 Chuva de 07-08/01/2013 estação 17**Gráfico 6 Chuva de 23-26/03/2016 estação 10**

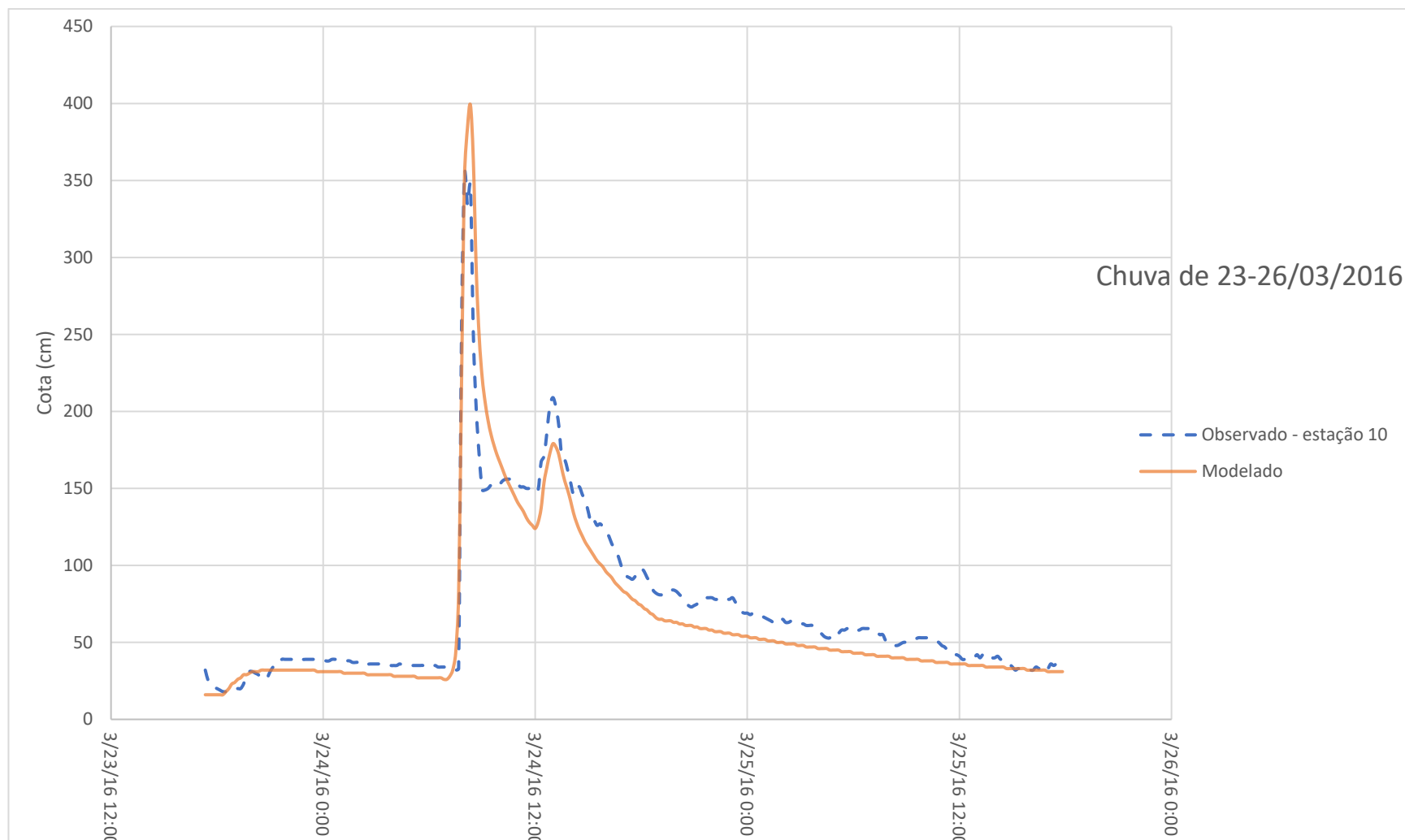


Gráfico 7 Chuva de 23-26/03/2016 estação 09

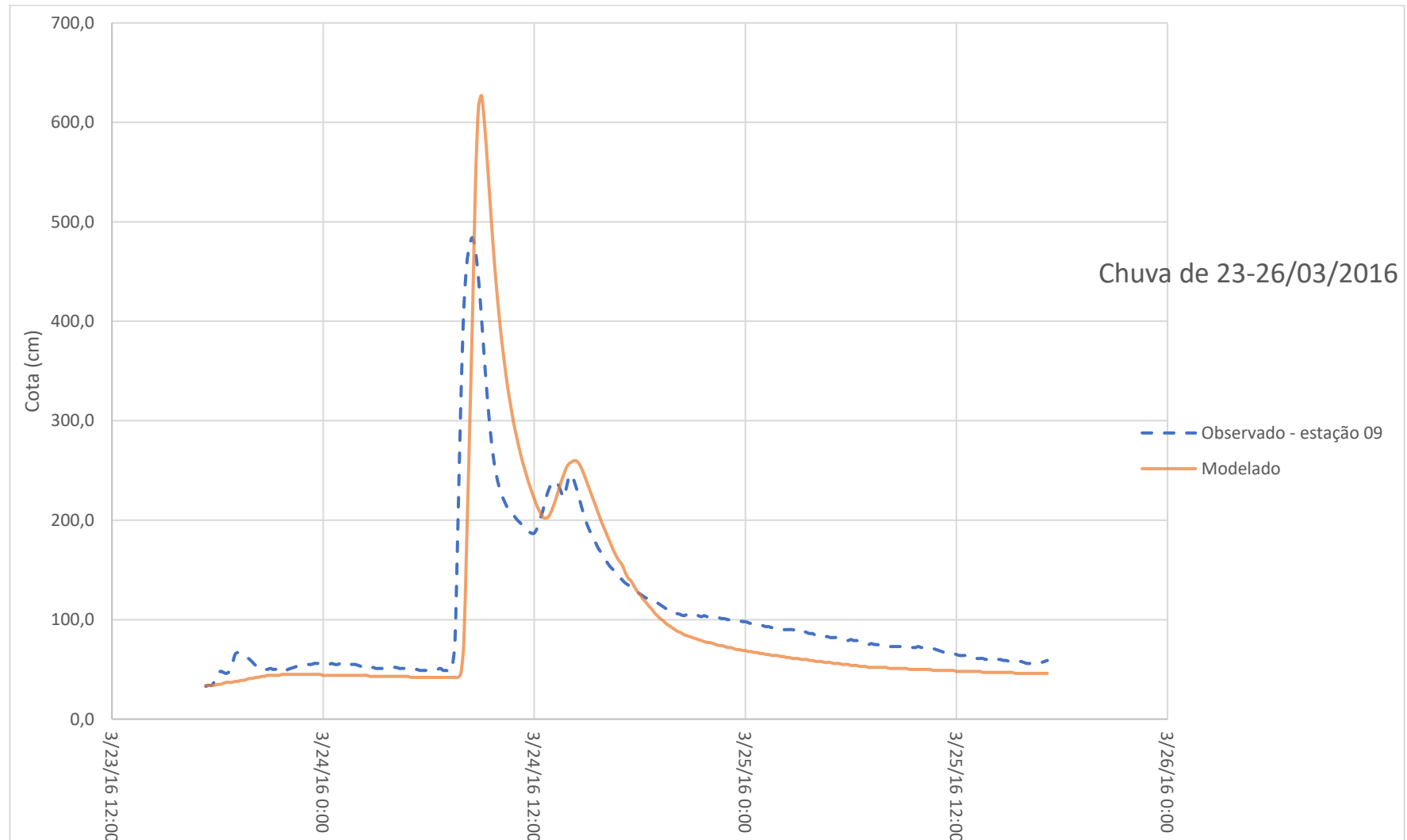


Gráfico 8 Chuva de 23-26/03/2016 estação 18

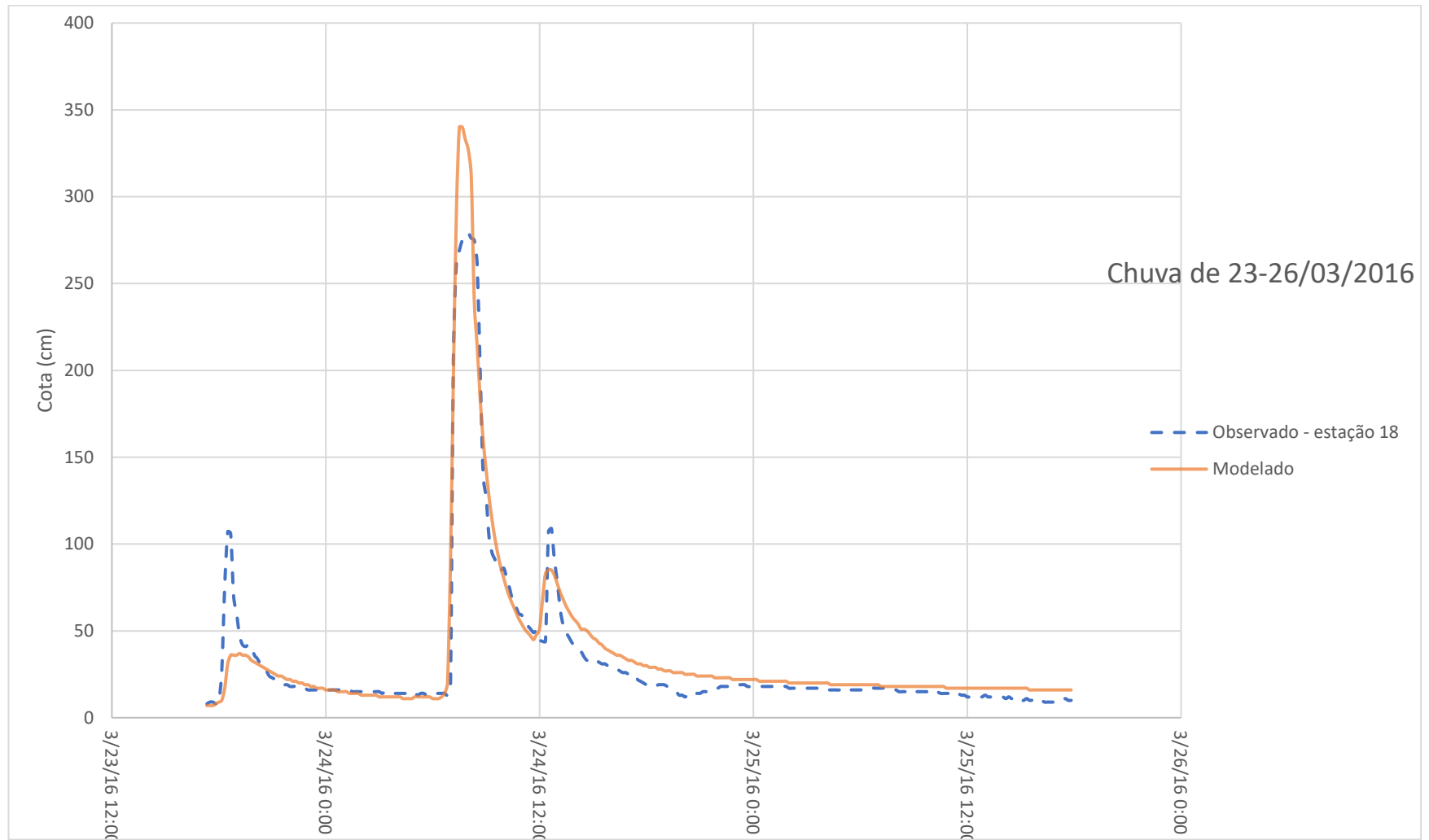


Gráfico 9 Chuva de 23-26/03/2016 estação 06

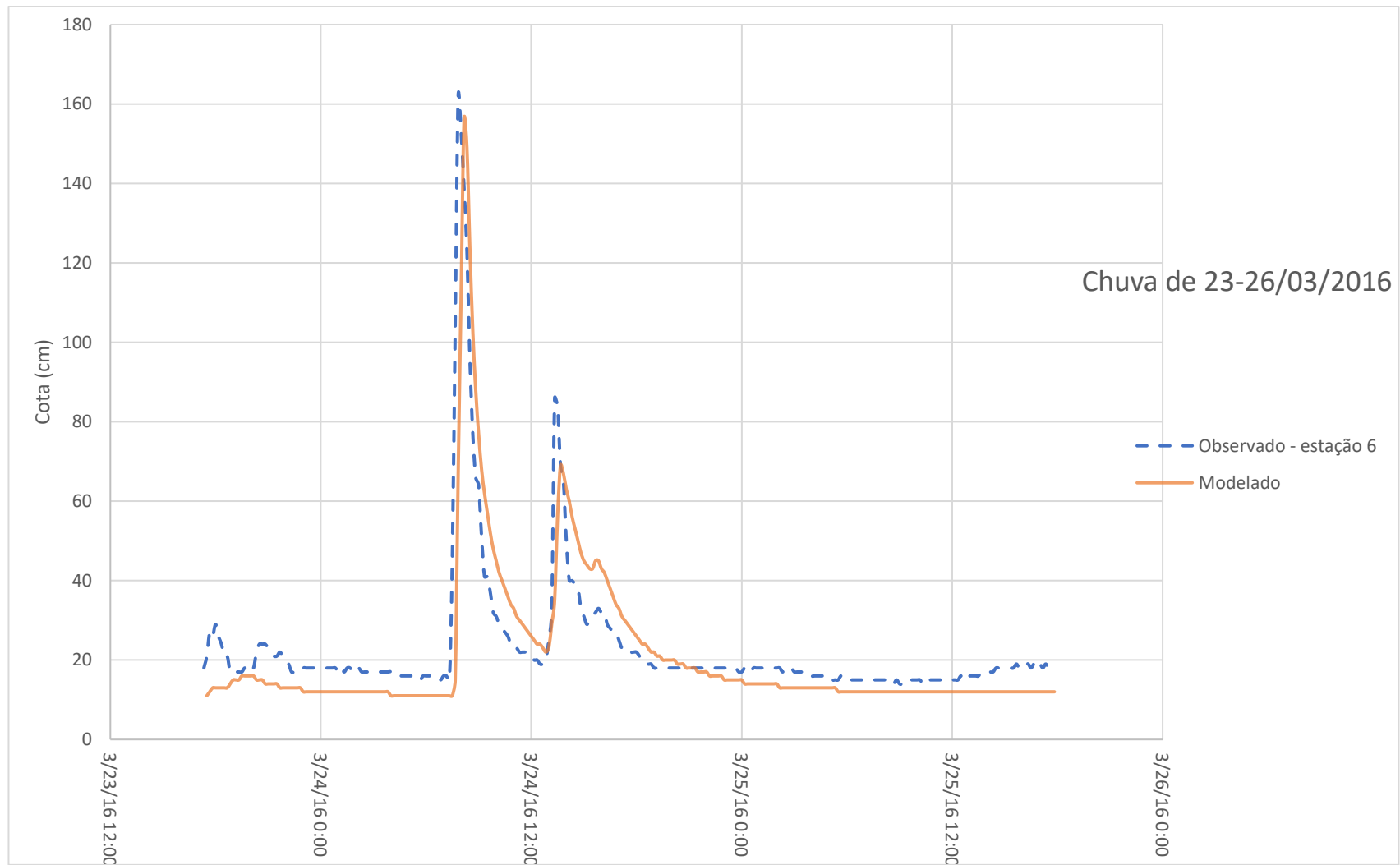


Gráfico 10 Chuva de 30/11-04/12/2018: Estação 10

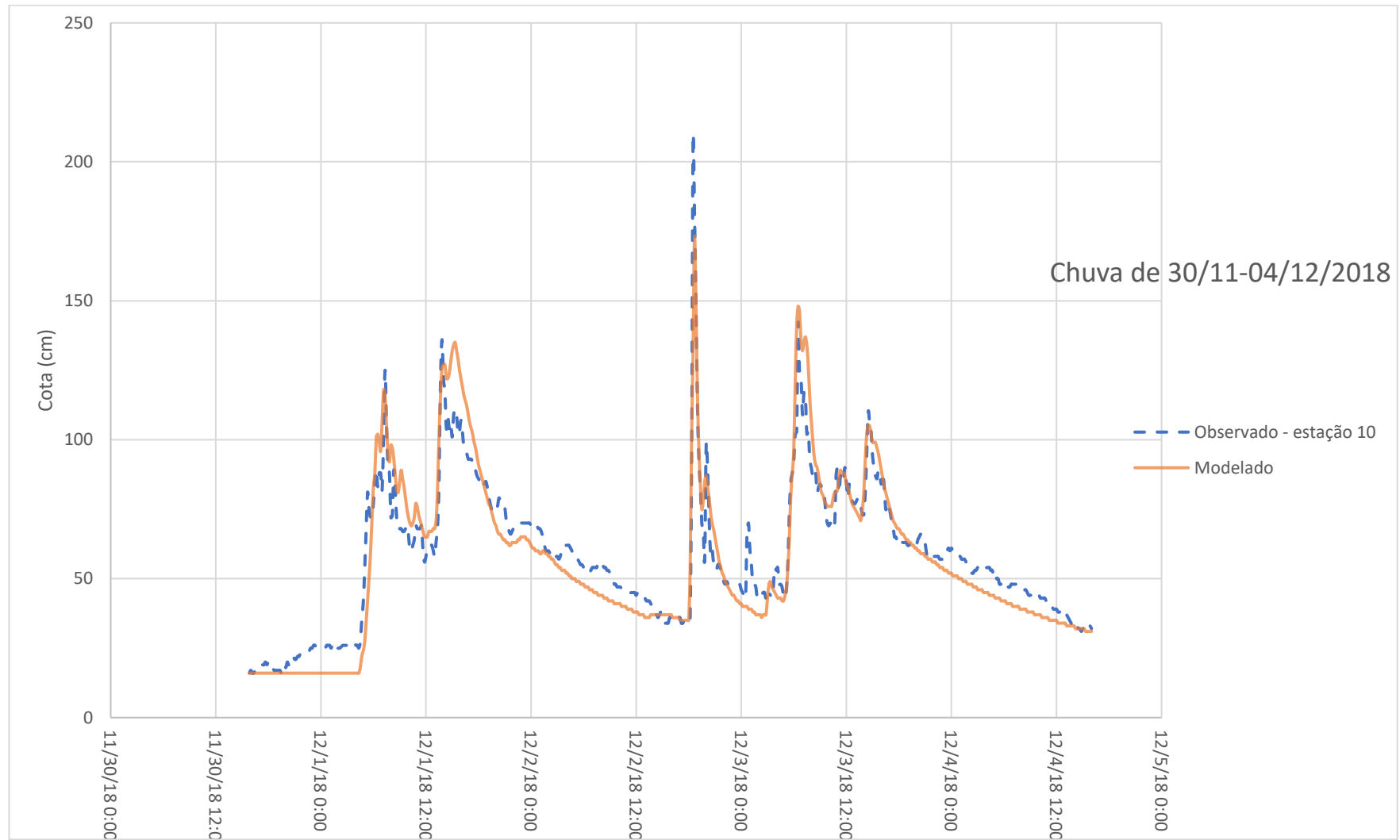
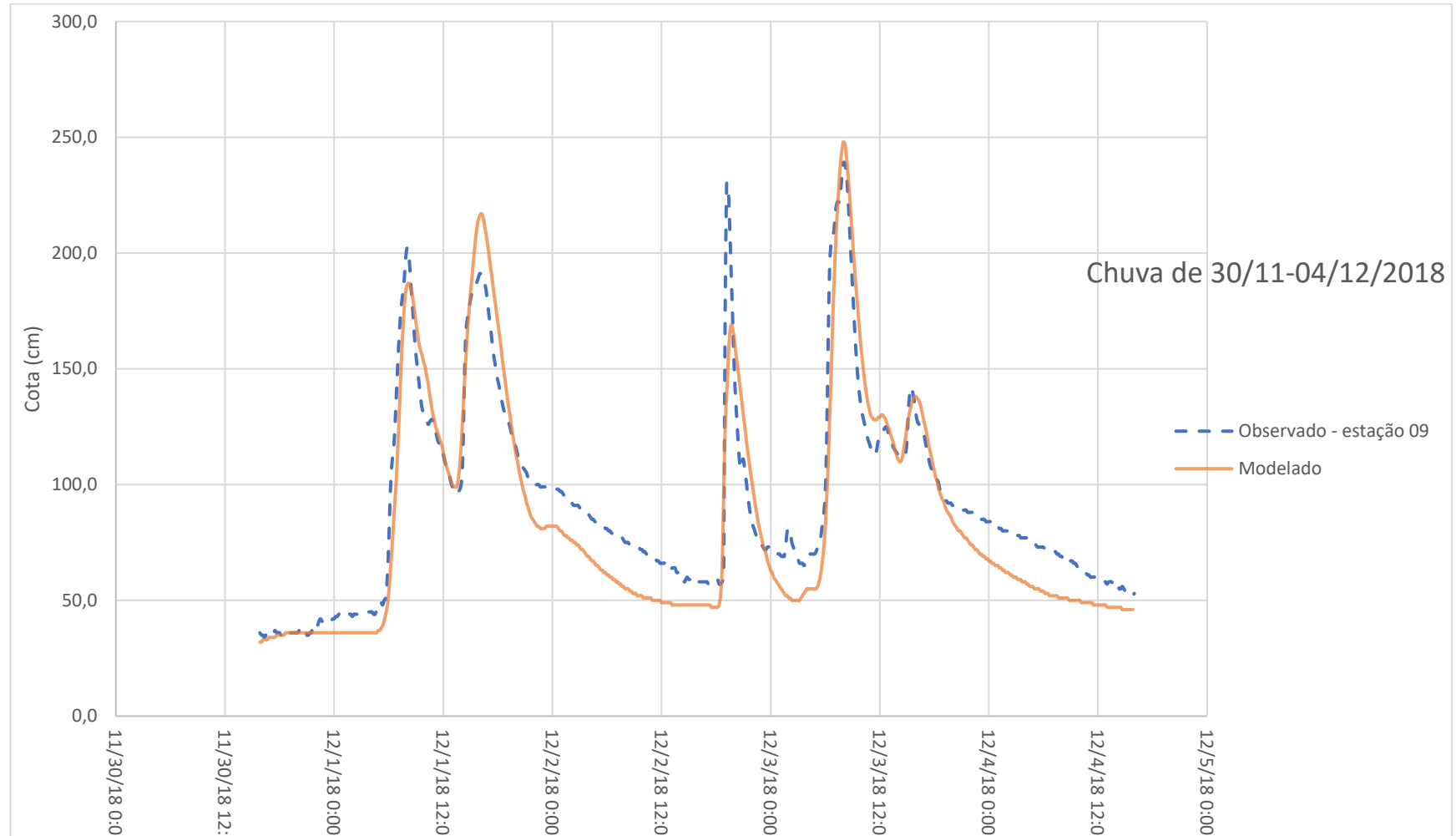


Gráfico 11 Chuva de 30/11-04/12/2018: Estação 09**Gráfico 12 Chuva de 30/11-04/12/2018: Estação 18**

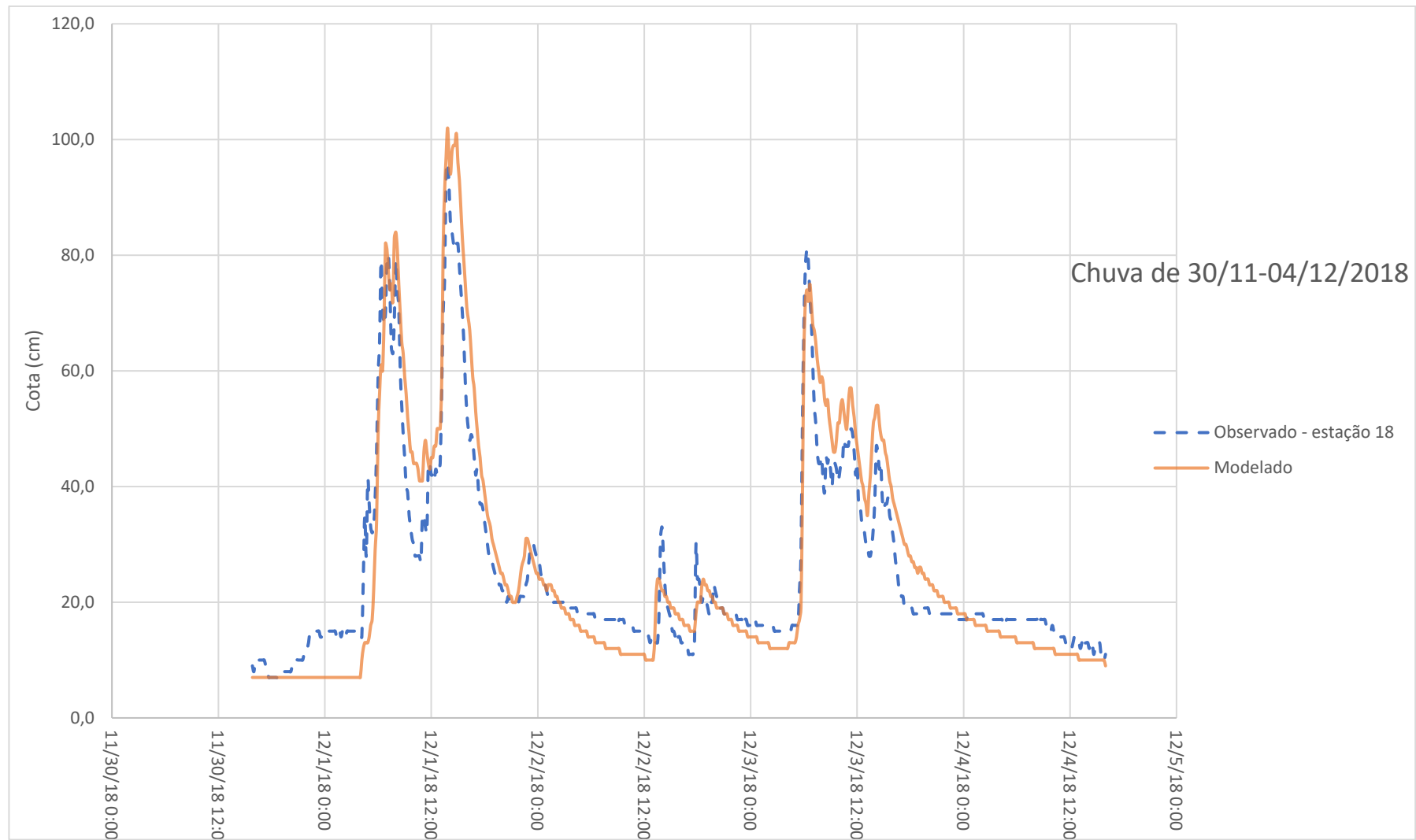
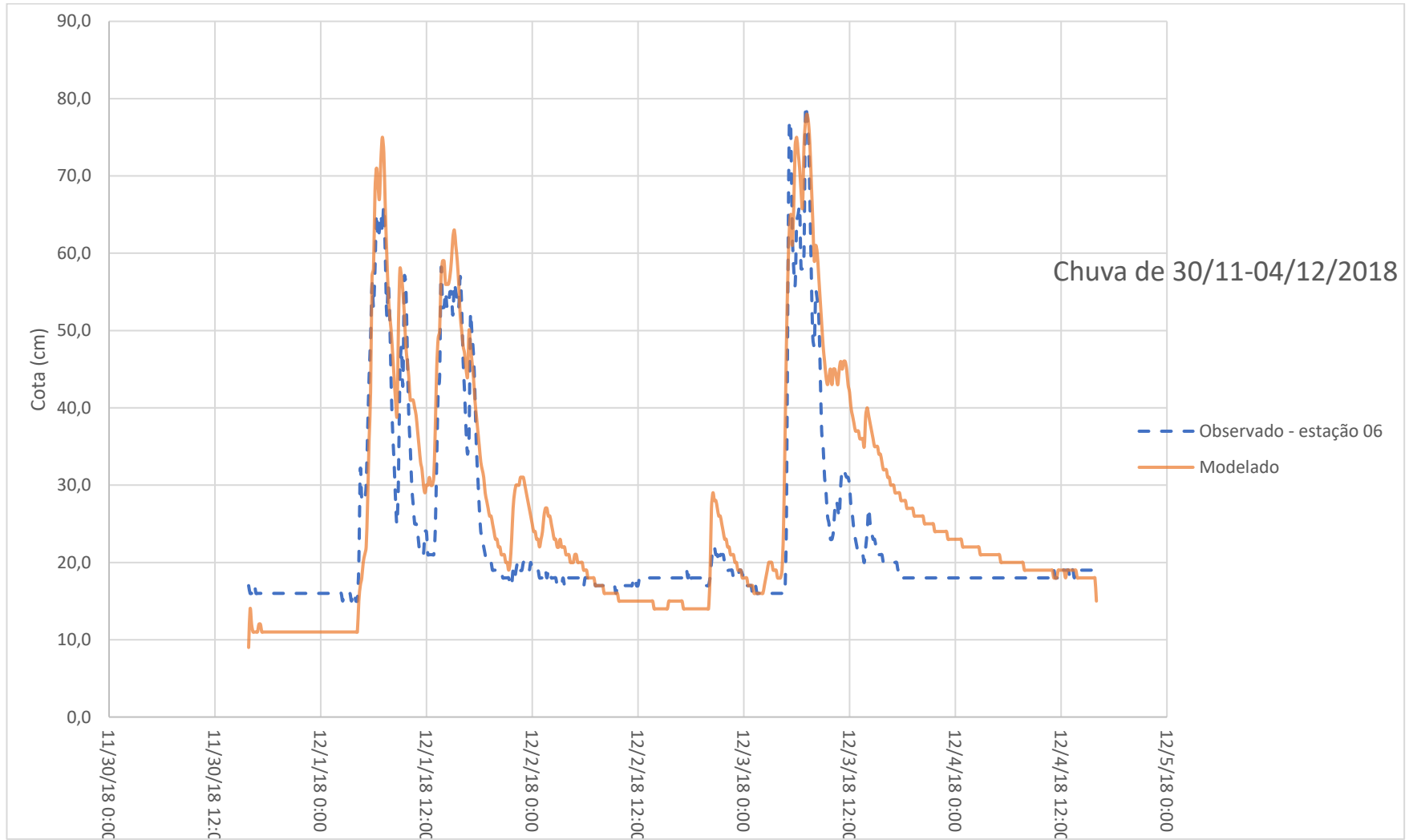


Gráfico 13 Chuva de 30/11-04/12/2018: Estação 06**Gráfico 14 Chuva de 30/11-04/12/2018: Estação 17**

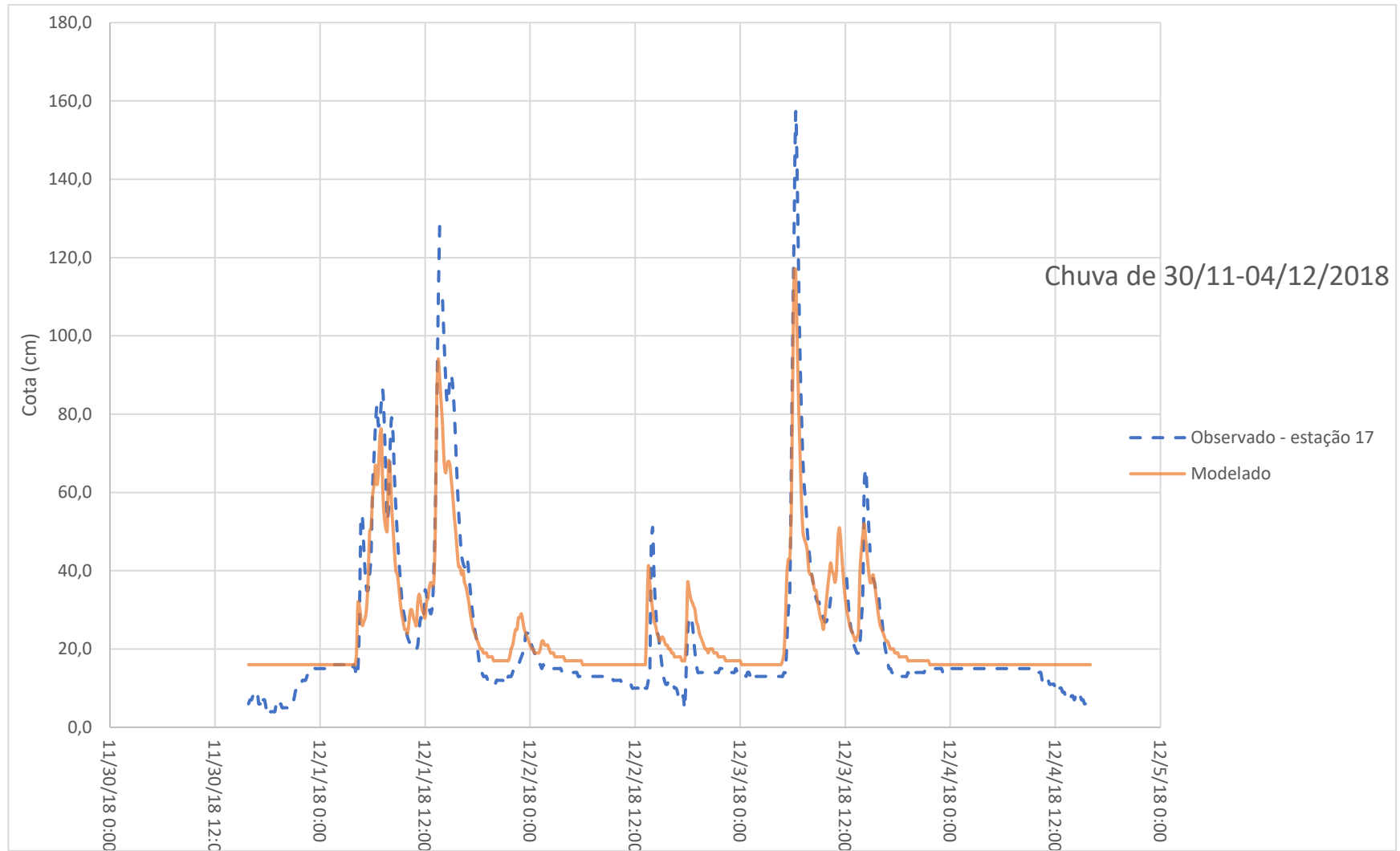


Gráfico 15 Chuva de 11-13/12/2019: Estação 10

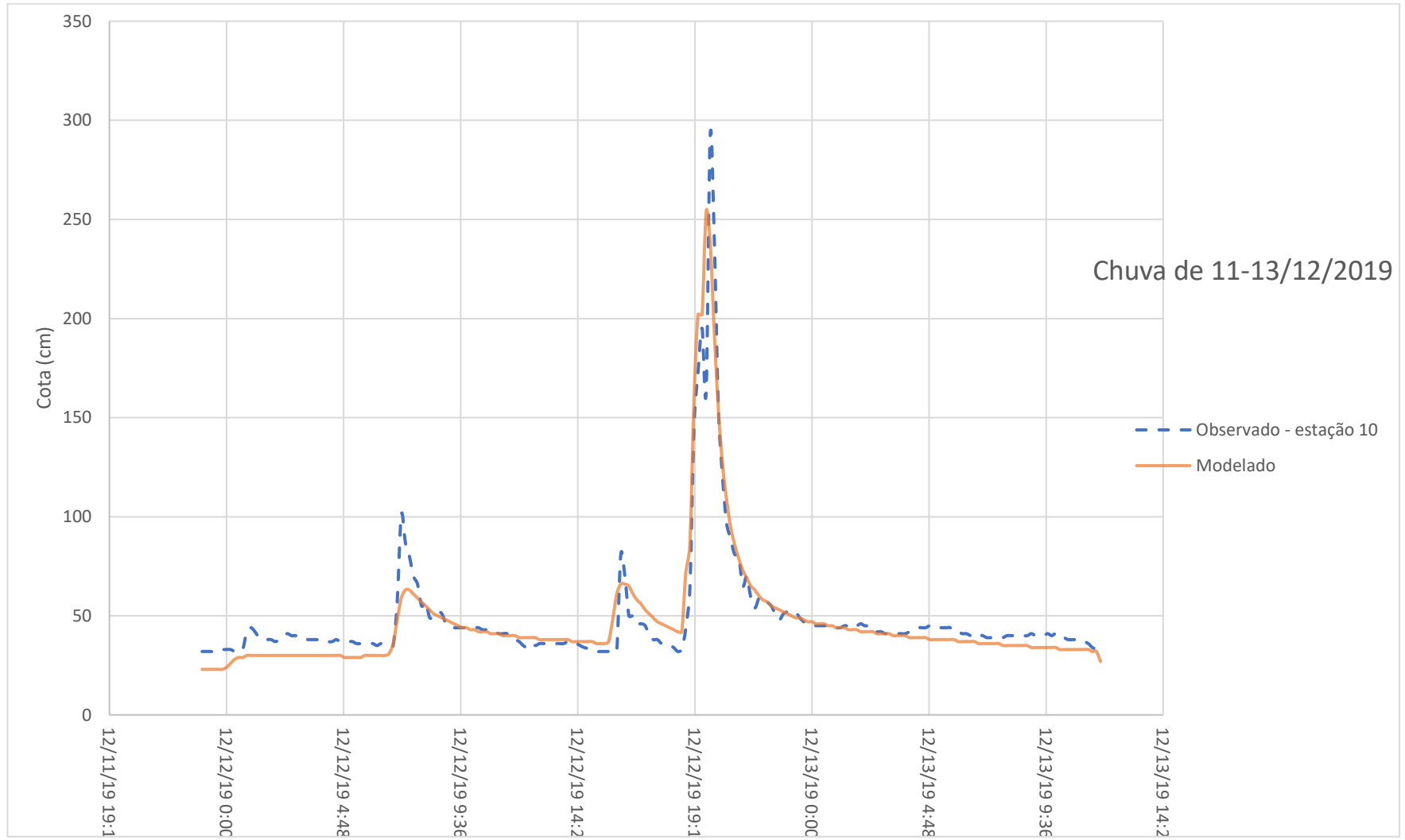


Gráfico 16 Chuva de 11-13/12/2019: Estação 09

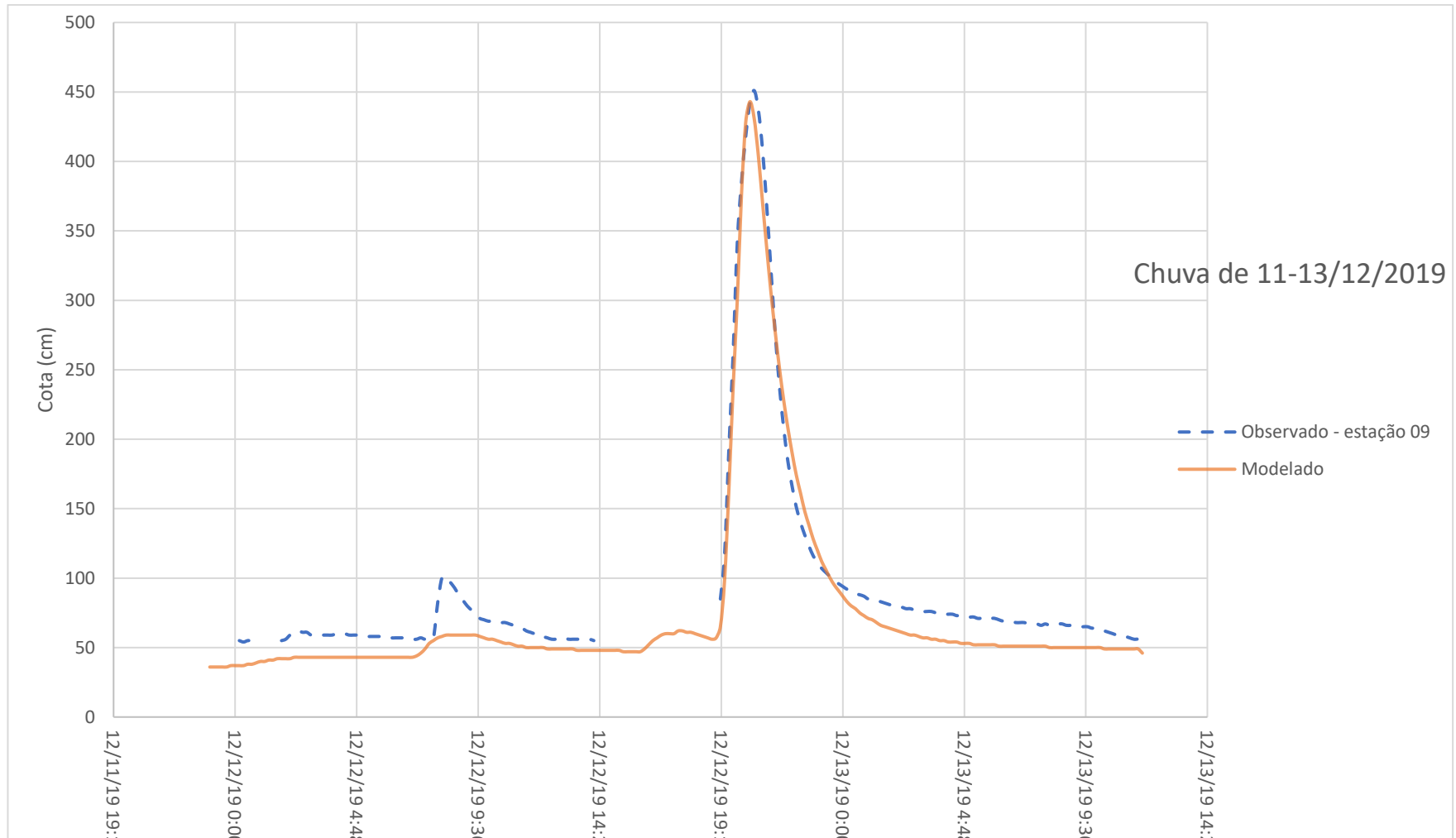


Gráfico 17 Chuva de 11-13/12/2019: Estação 18

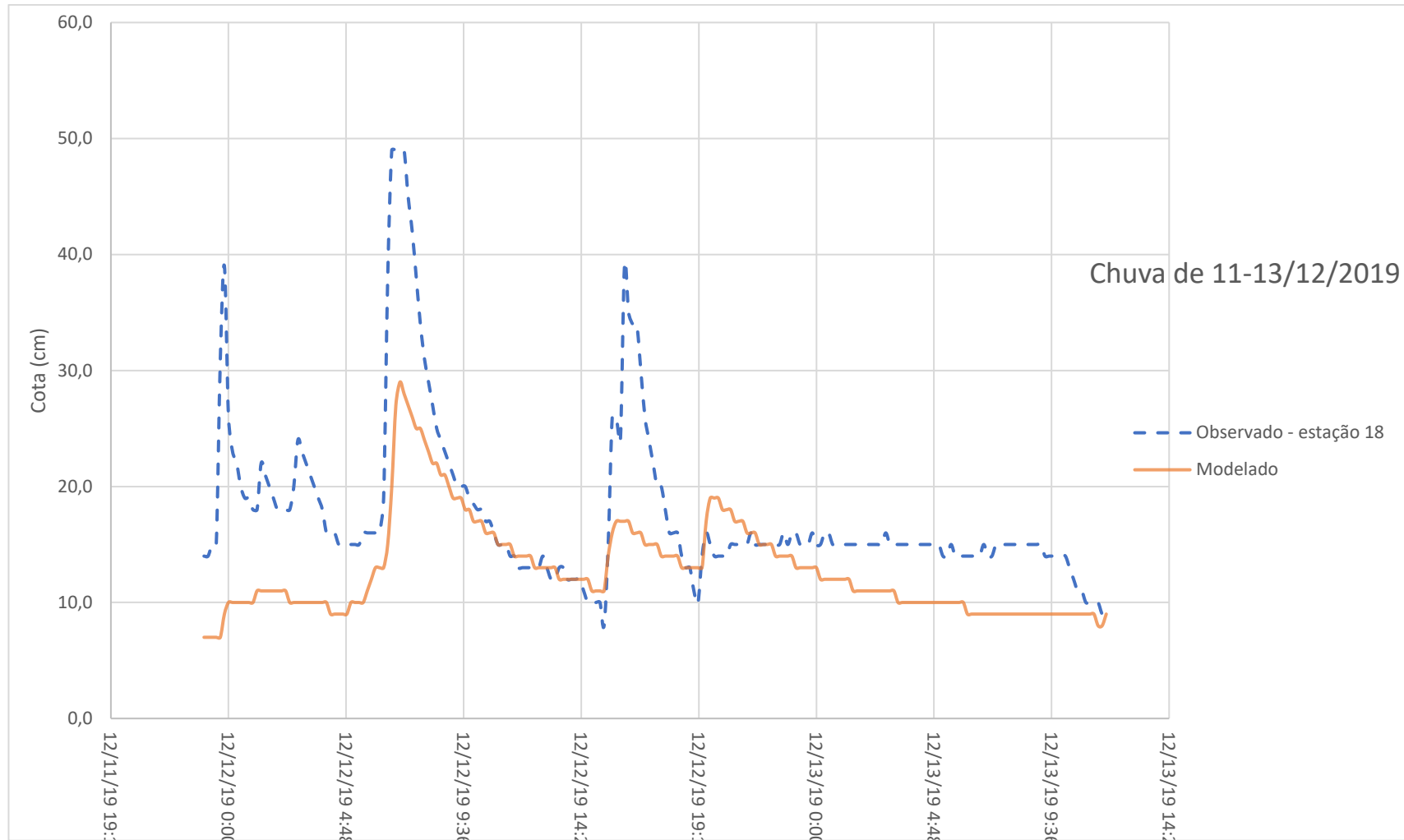


Gráfico 18 Chuva de 11-13/12/2019: Estação 06

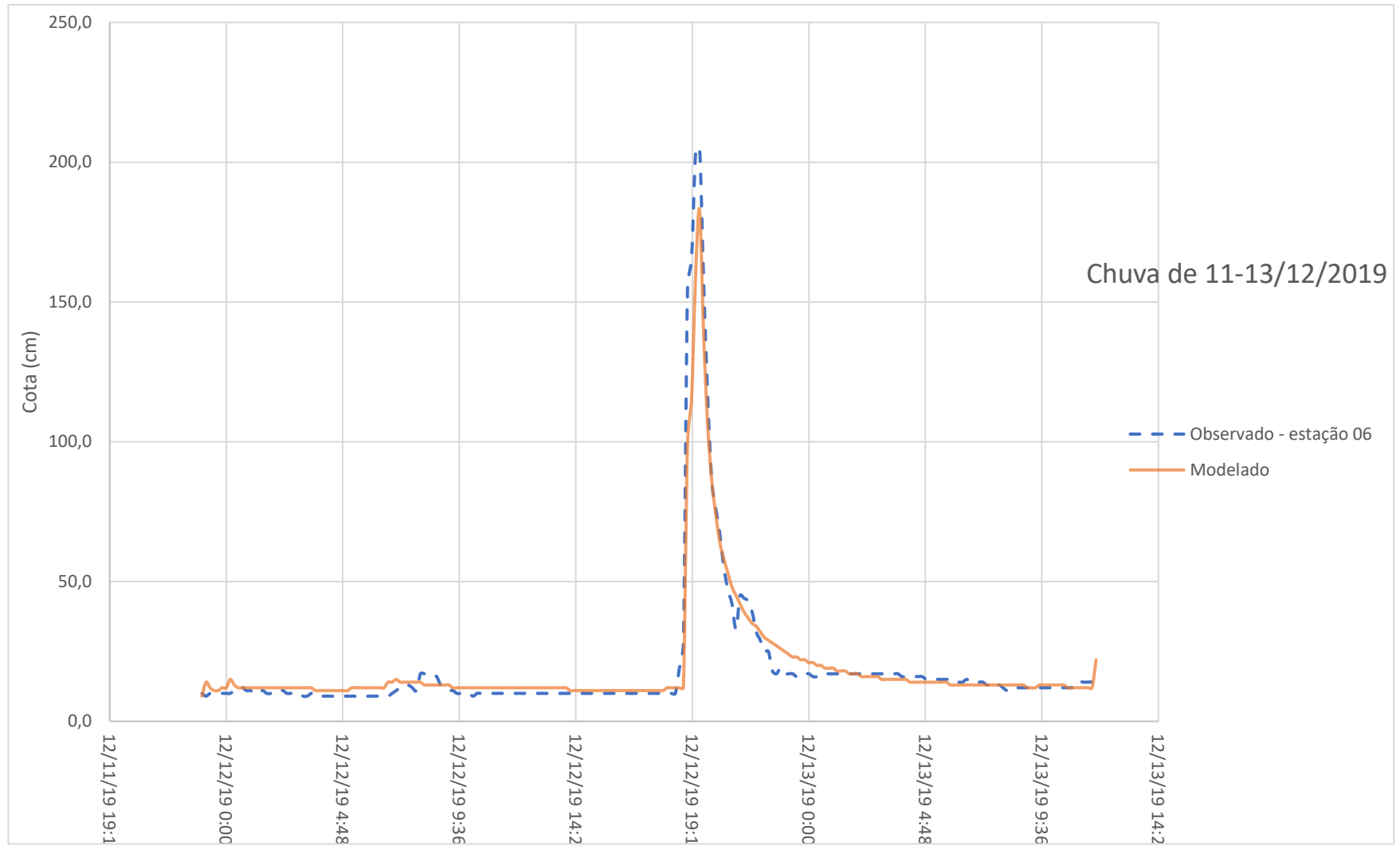


Gráfico 19 Chuva de 11-13/12/2019: Estação 17

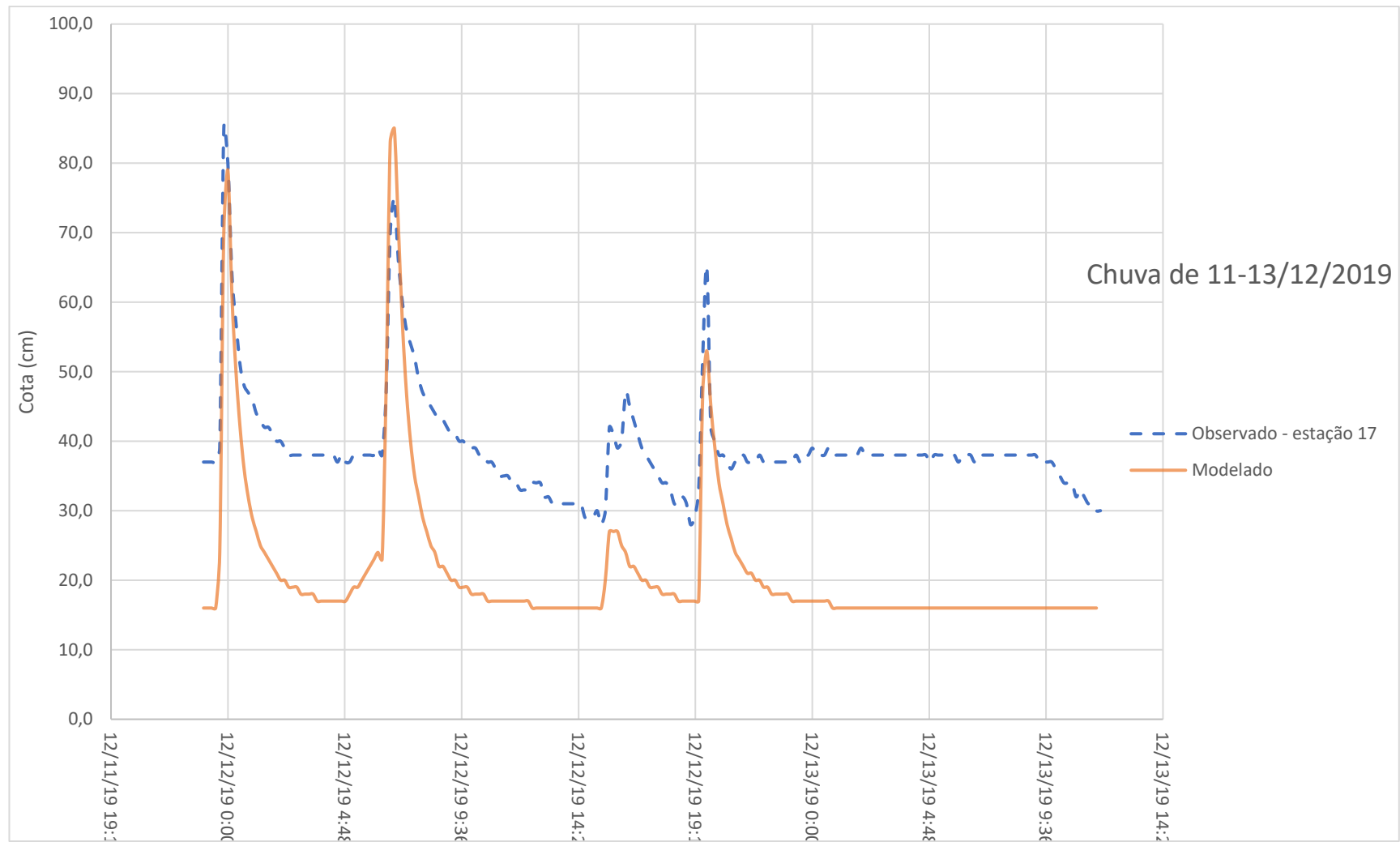
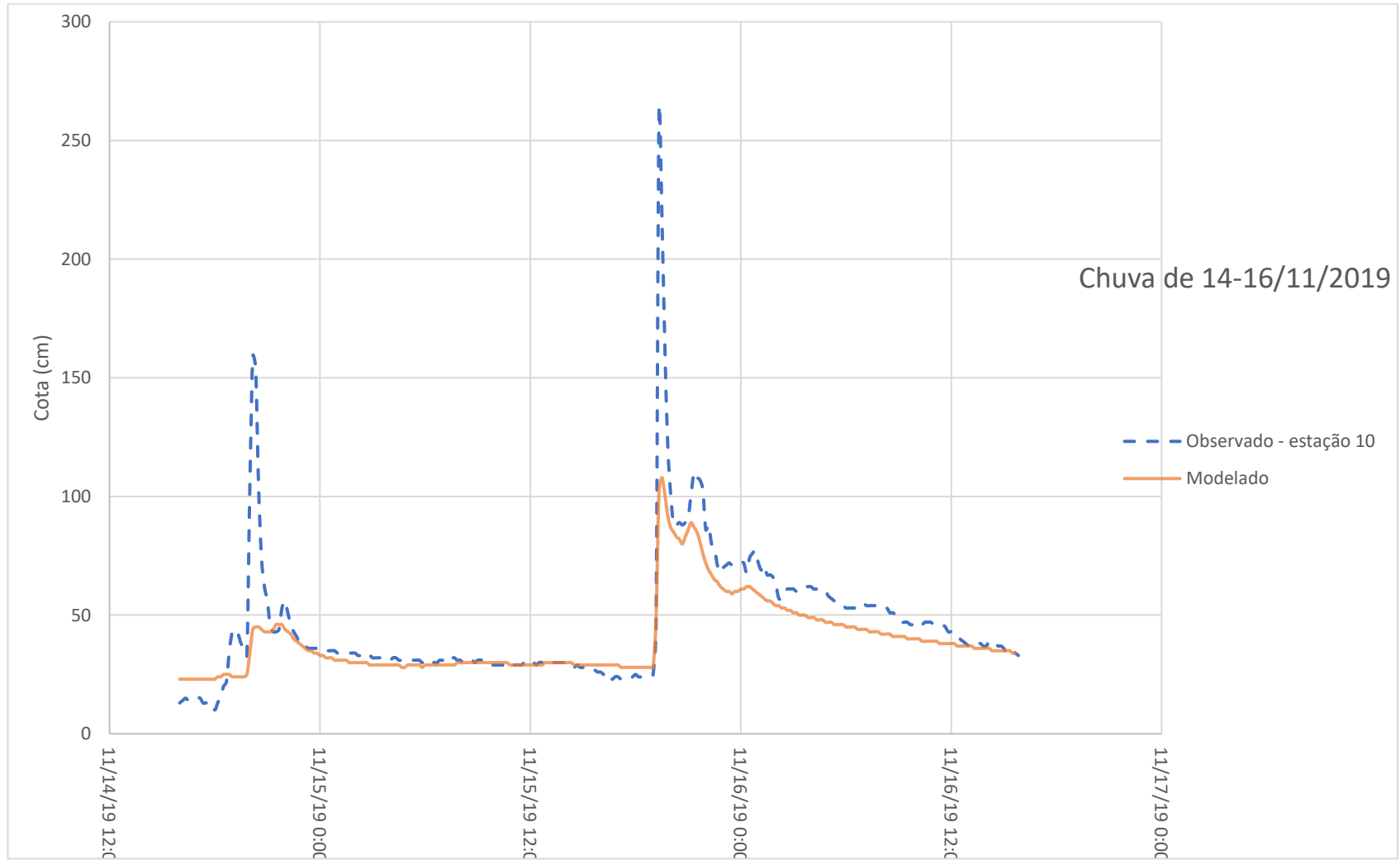


Gráfico 20 Chuva de 14-16/11/2019: Estação 10**Gráfico 21 Chuva de 14-16/11/2019: Estação 09**

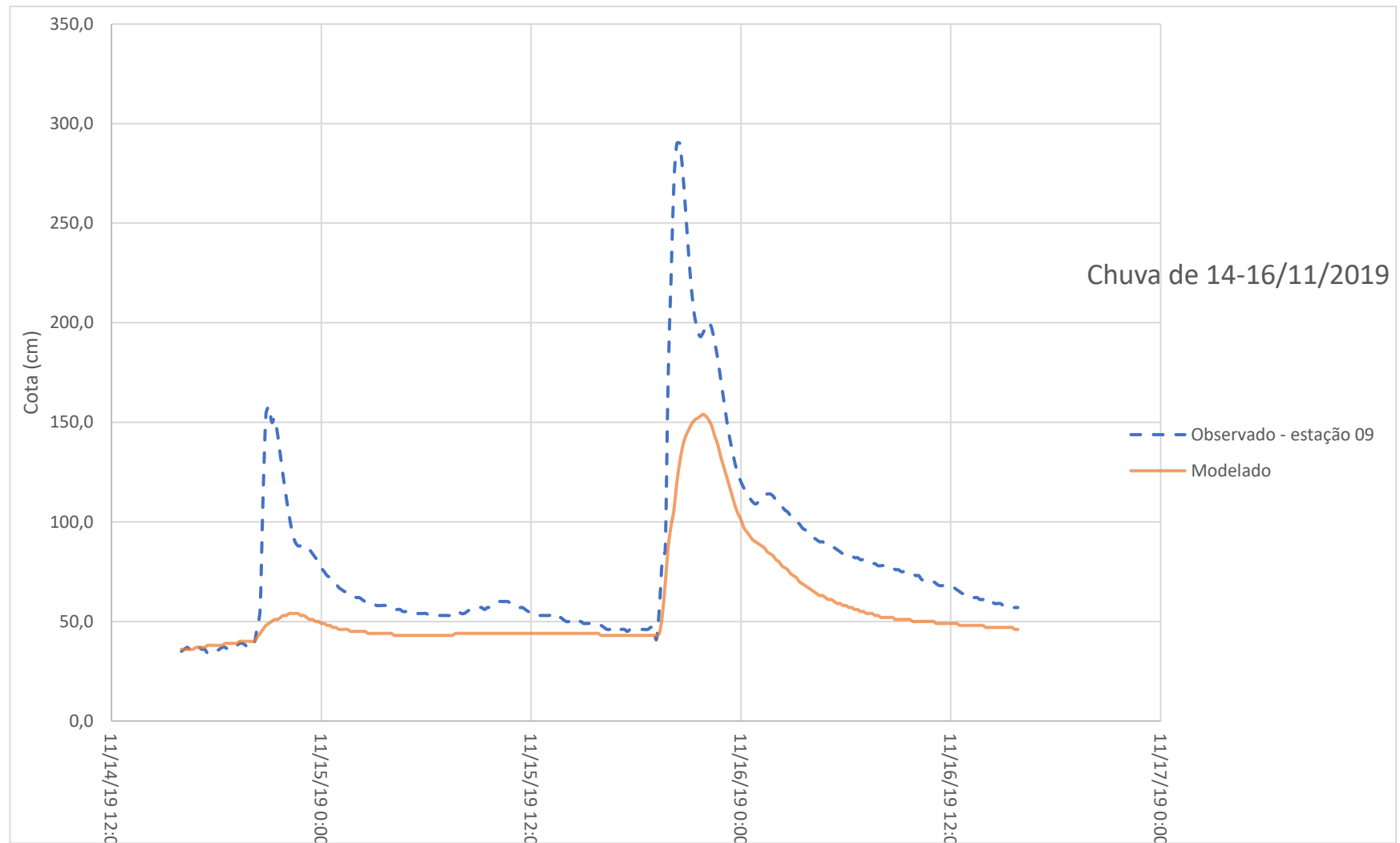


Gráfico 22 Chuva de 14-16/11/2019: Estação 18

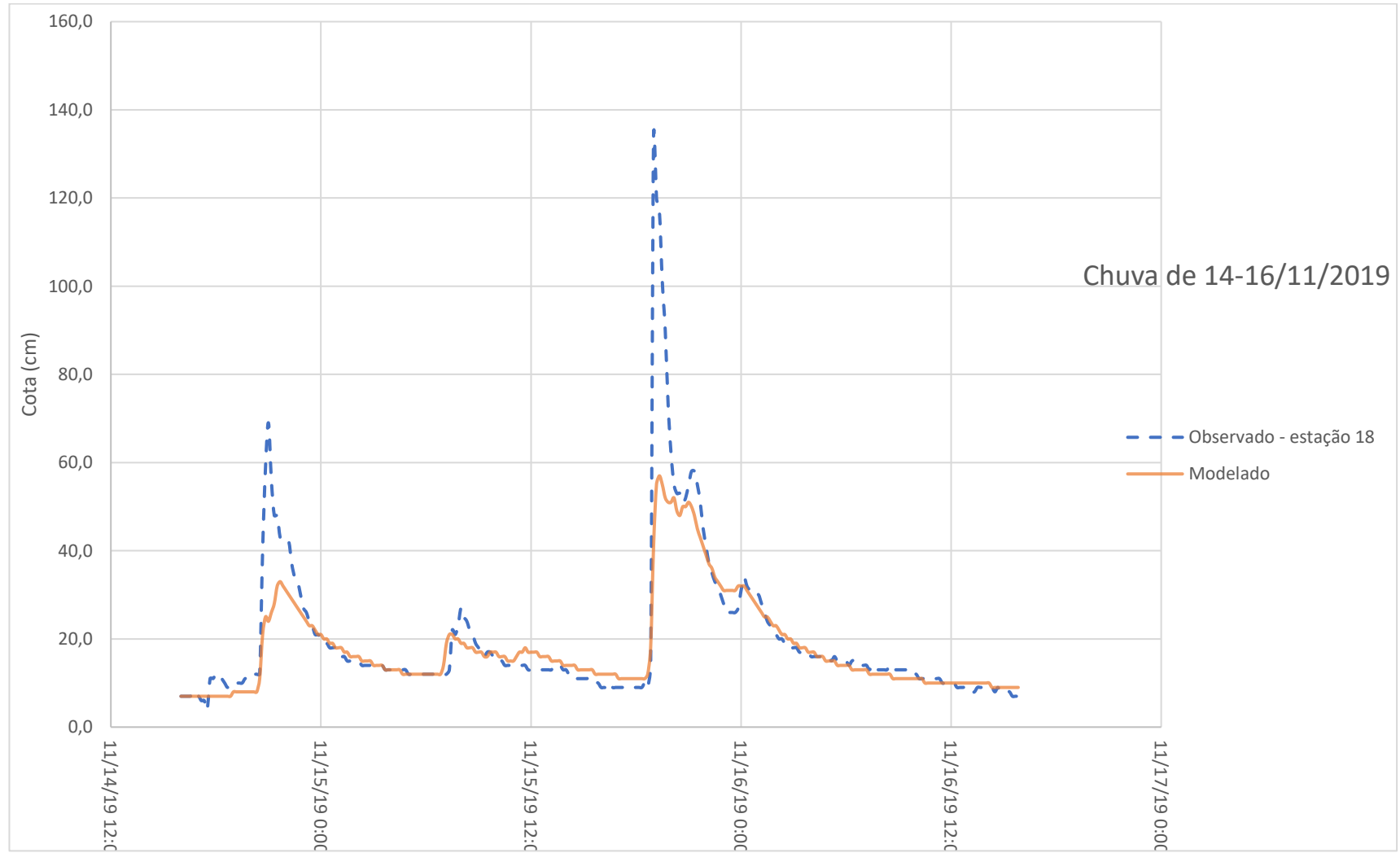


Gráfico 23 Chuva de 14-16/11/2019: Estação 06

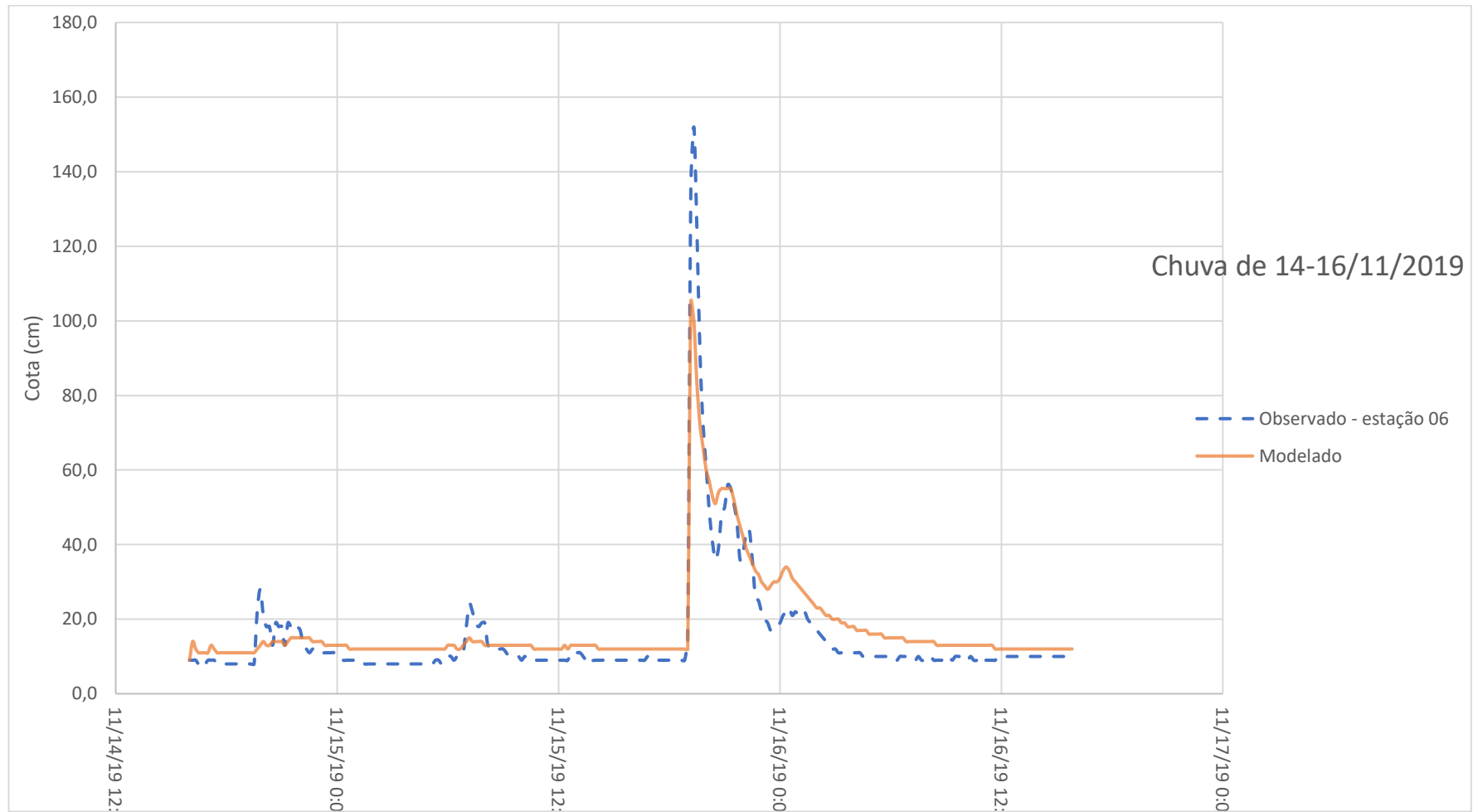


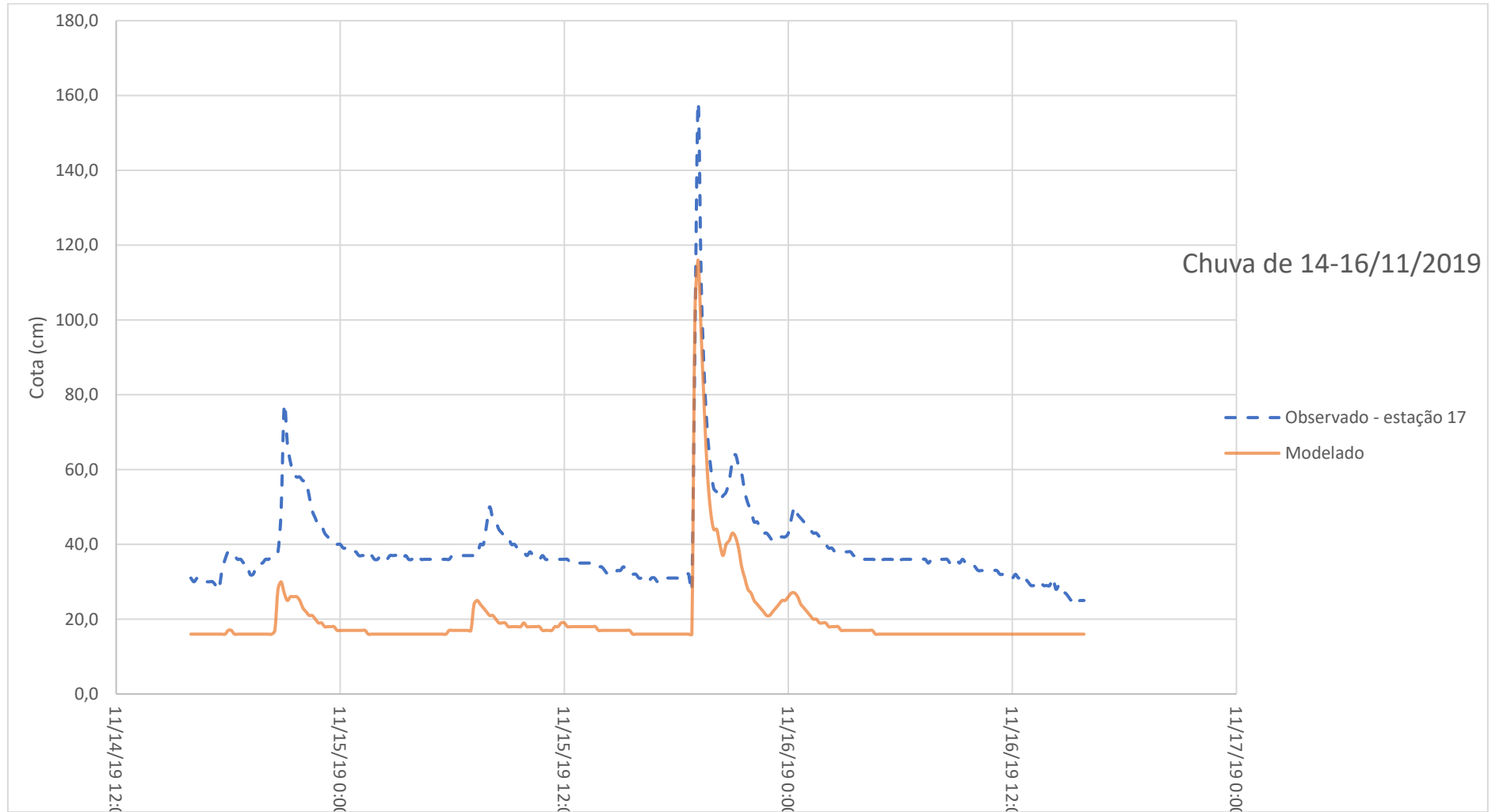
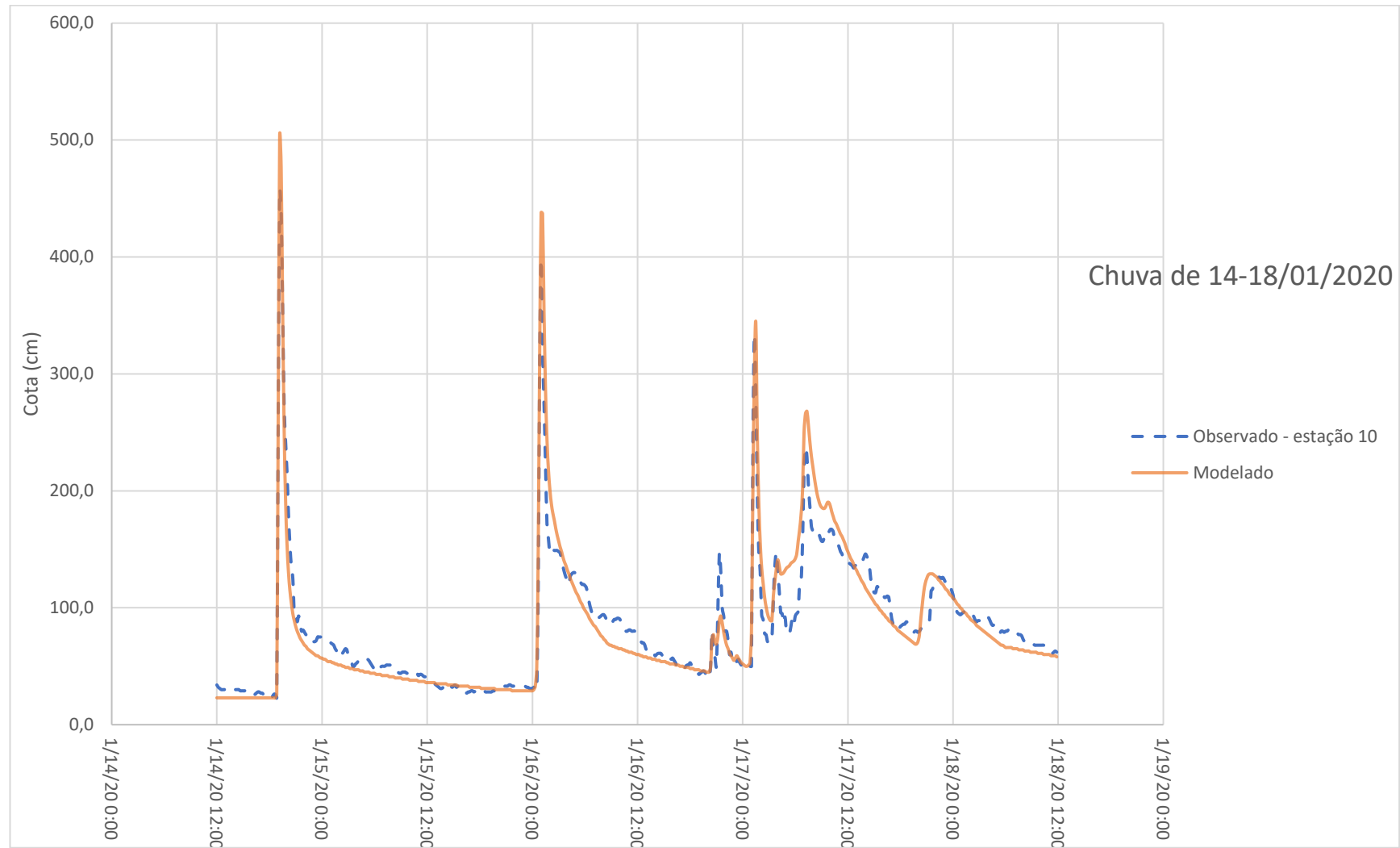
Gráfico 24 Chuva de 14-16/11/2019: Estação 17

Gráfico 25 Chuva de 14-18/01/2020: Estação 10**Gráfico 26 Chuva de 14-18/01/2020: Estação 09**

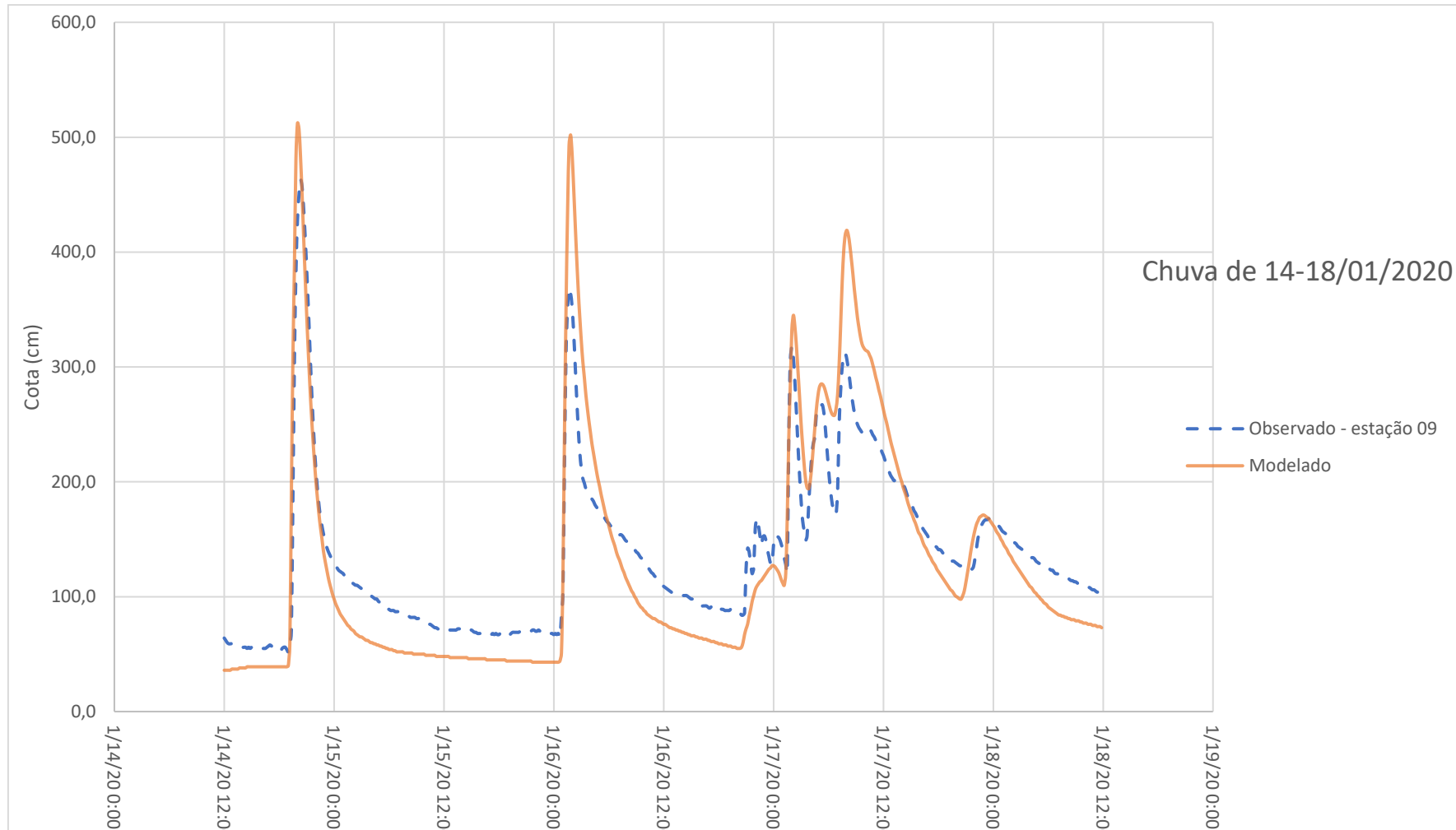


Gráfico 27 Chuva de 14-18/01/2020: Estação 18

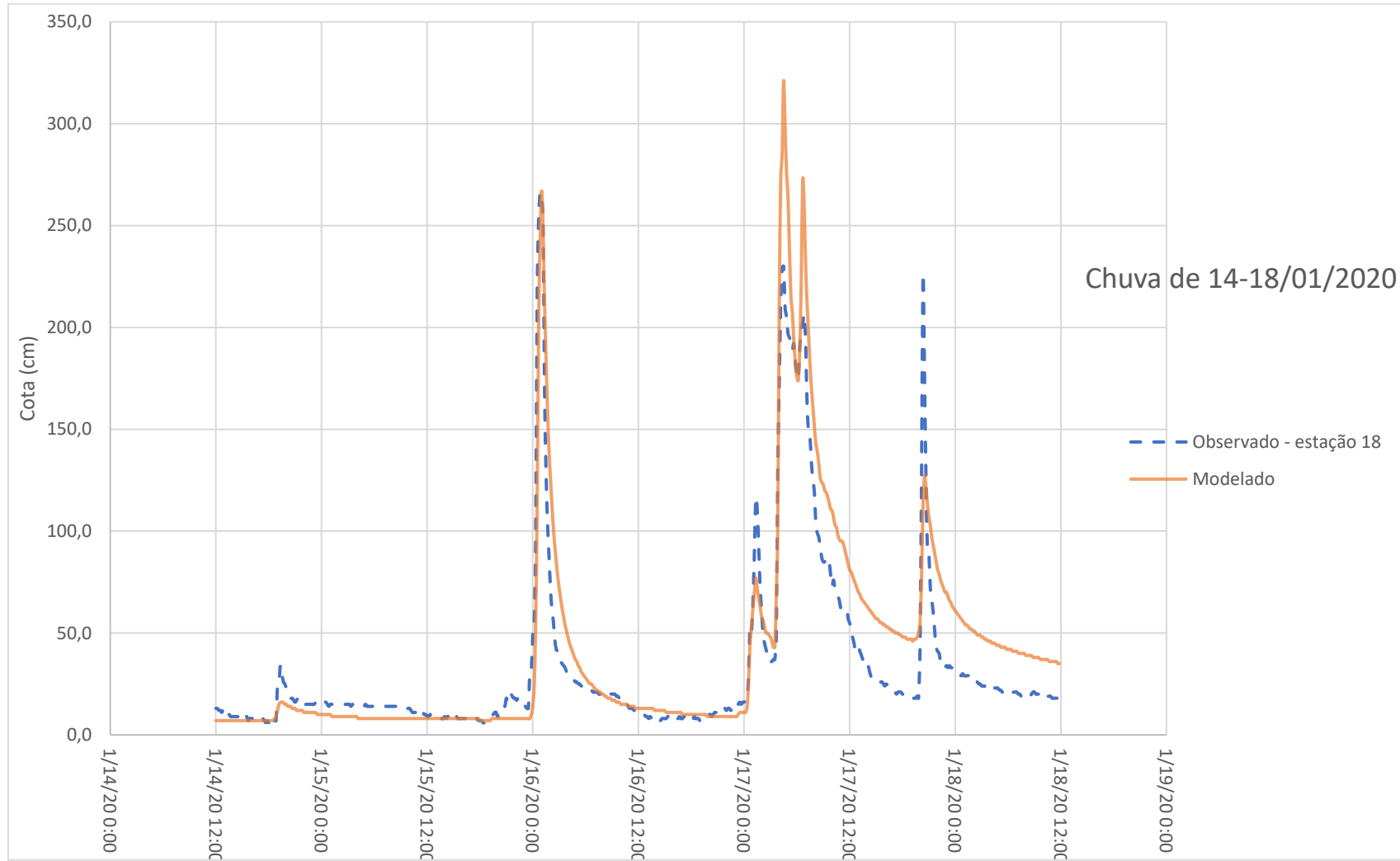


Gráfico 28 Chuva de 14-18/01/2020: Estação 06

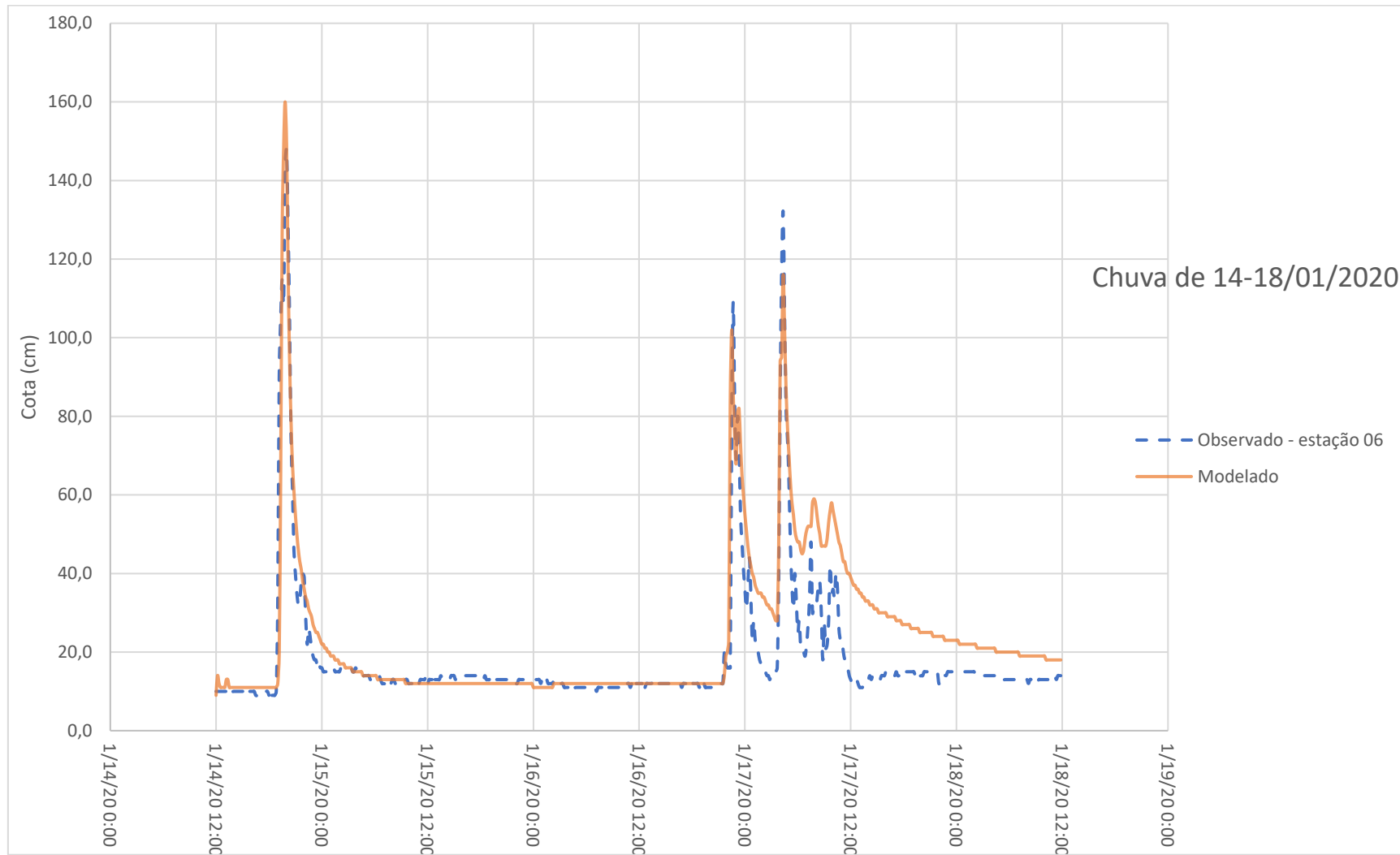
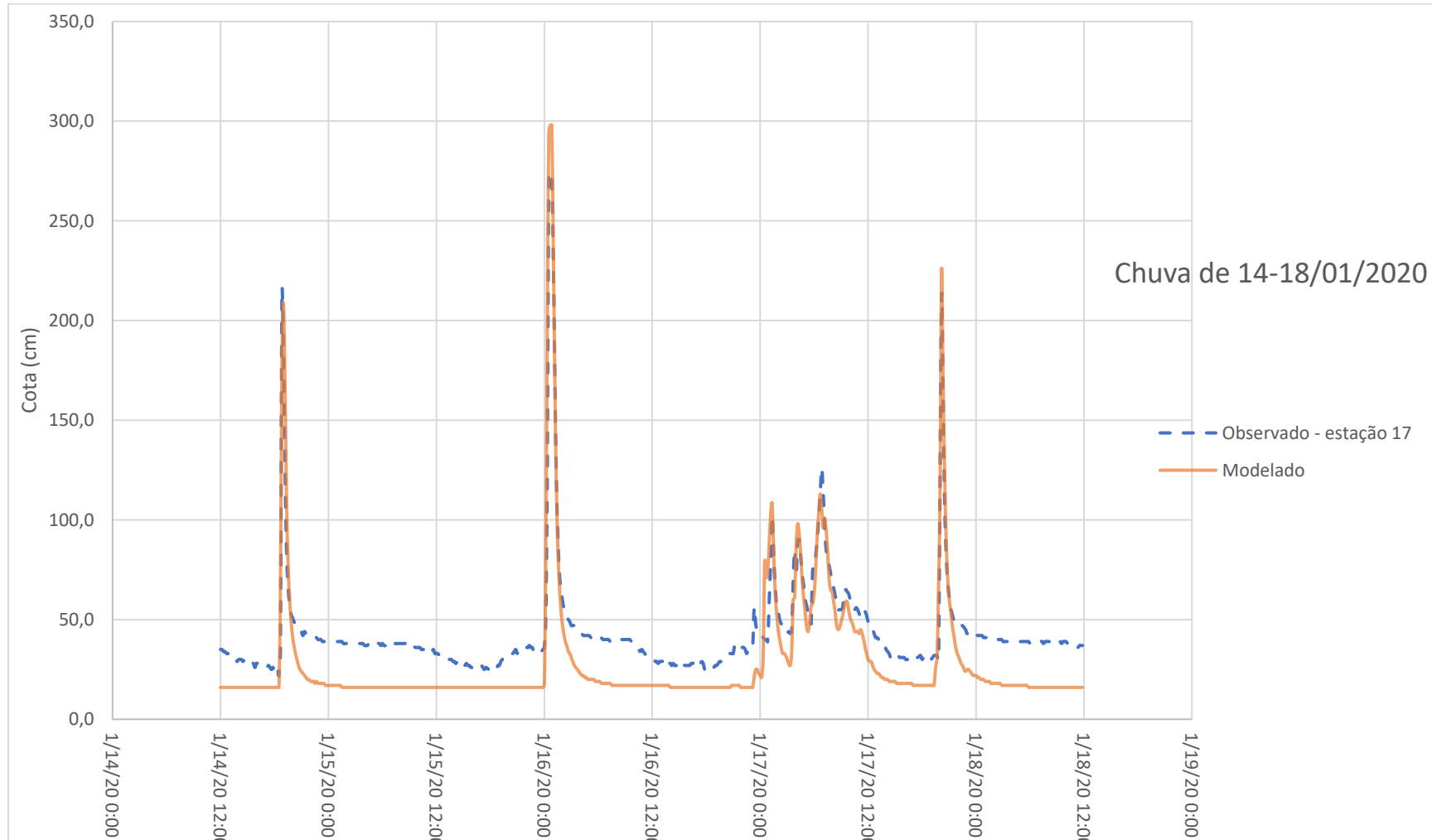


Gráfico 29 Chuva de 14-18/01/2020: Estação 17



APÊNDICE II – RESULTADOS DA VALIDAÇÃO

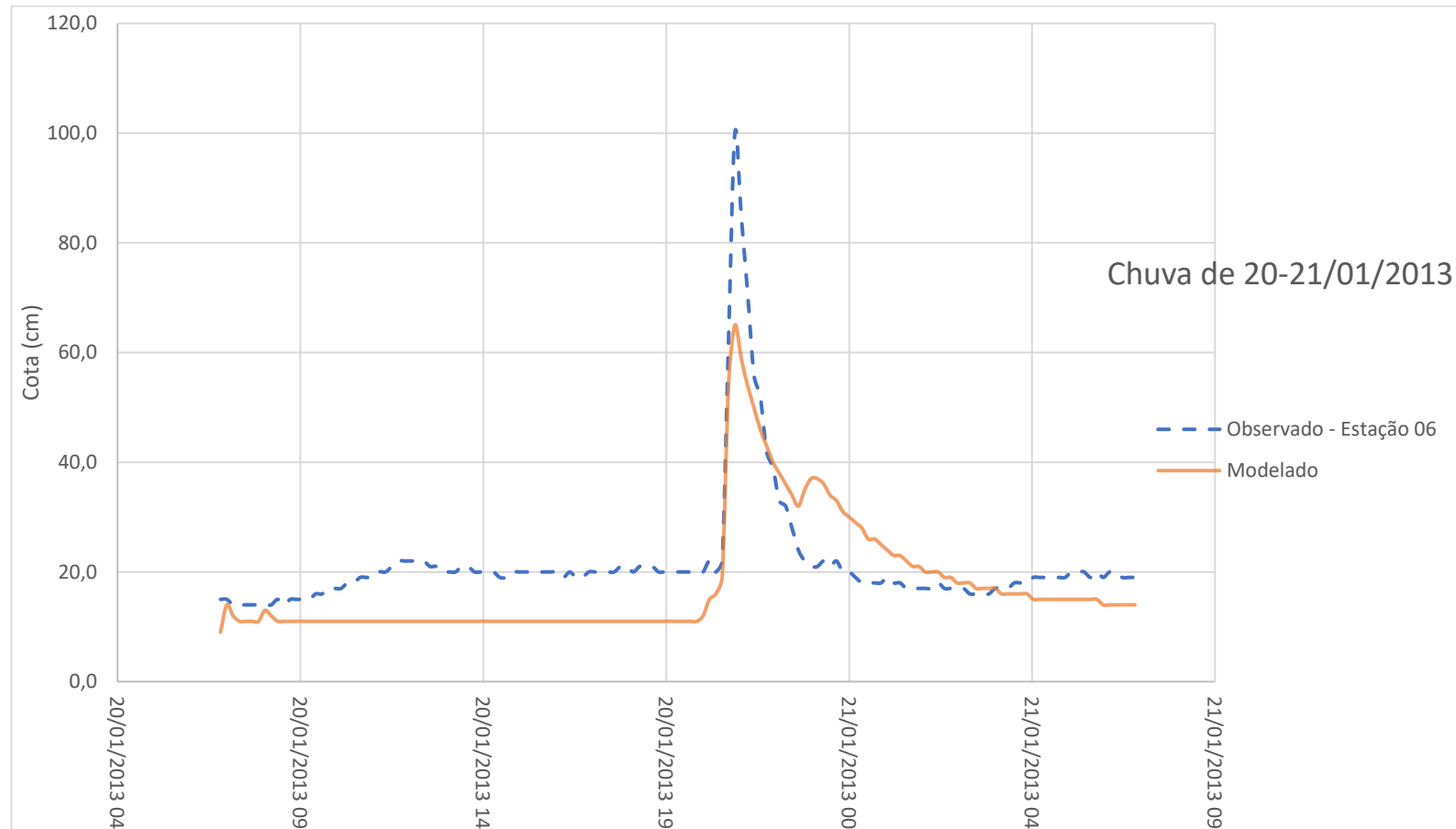
Gráfico 30 Chuva de 20-21/01/2013: Estação 06

Gráfico 31 Chuva de 20-21/01/2013: Estação 18

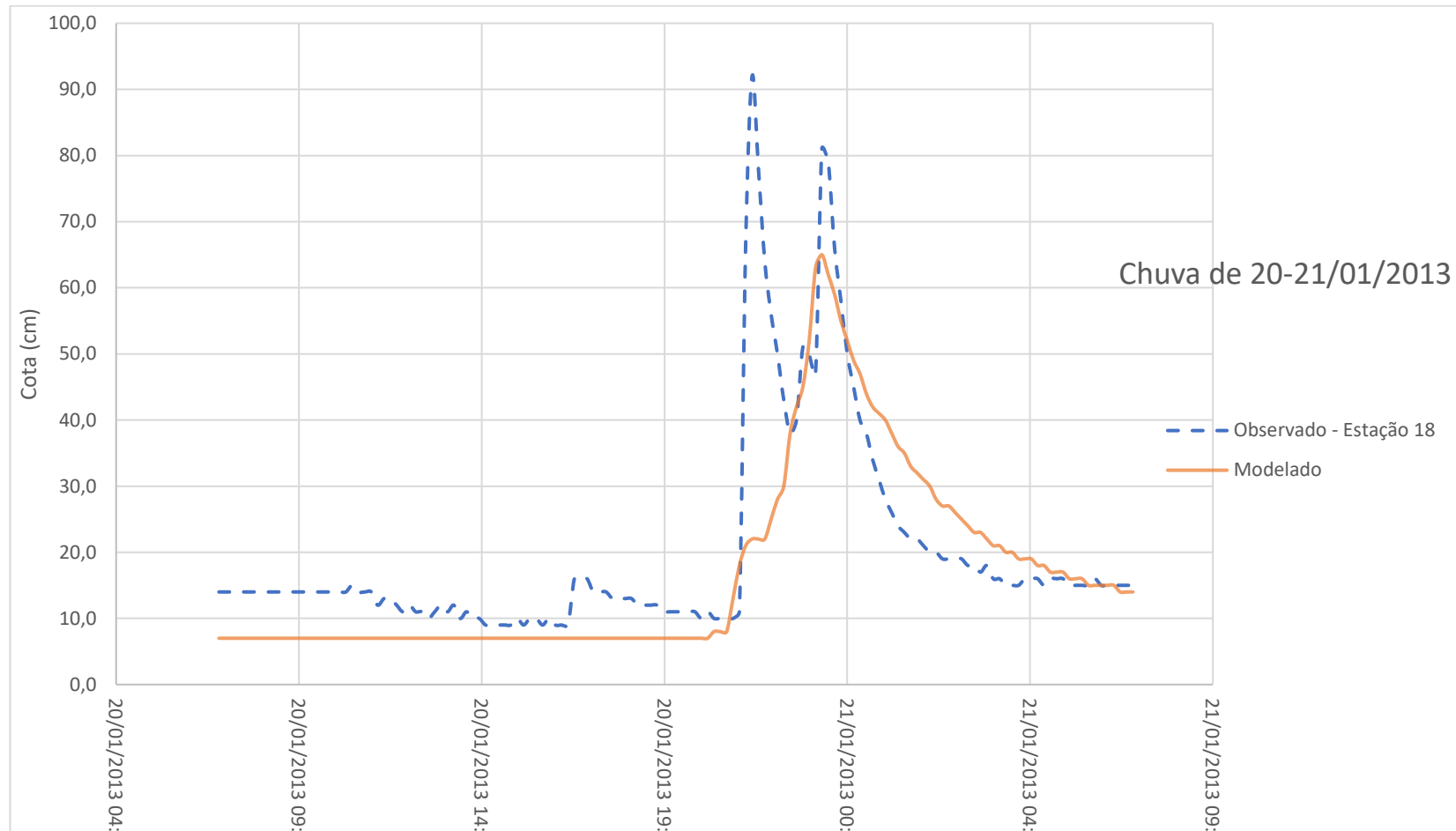


Gráfico 32 Chuva de 20-21/01/2013: Estação 10

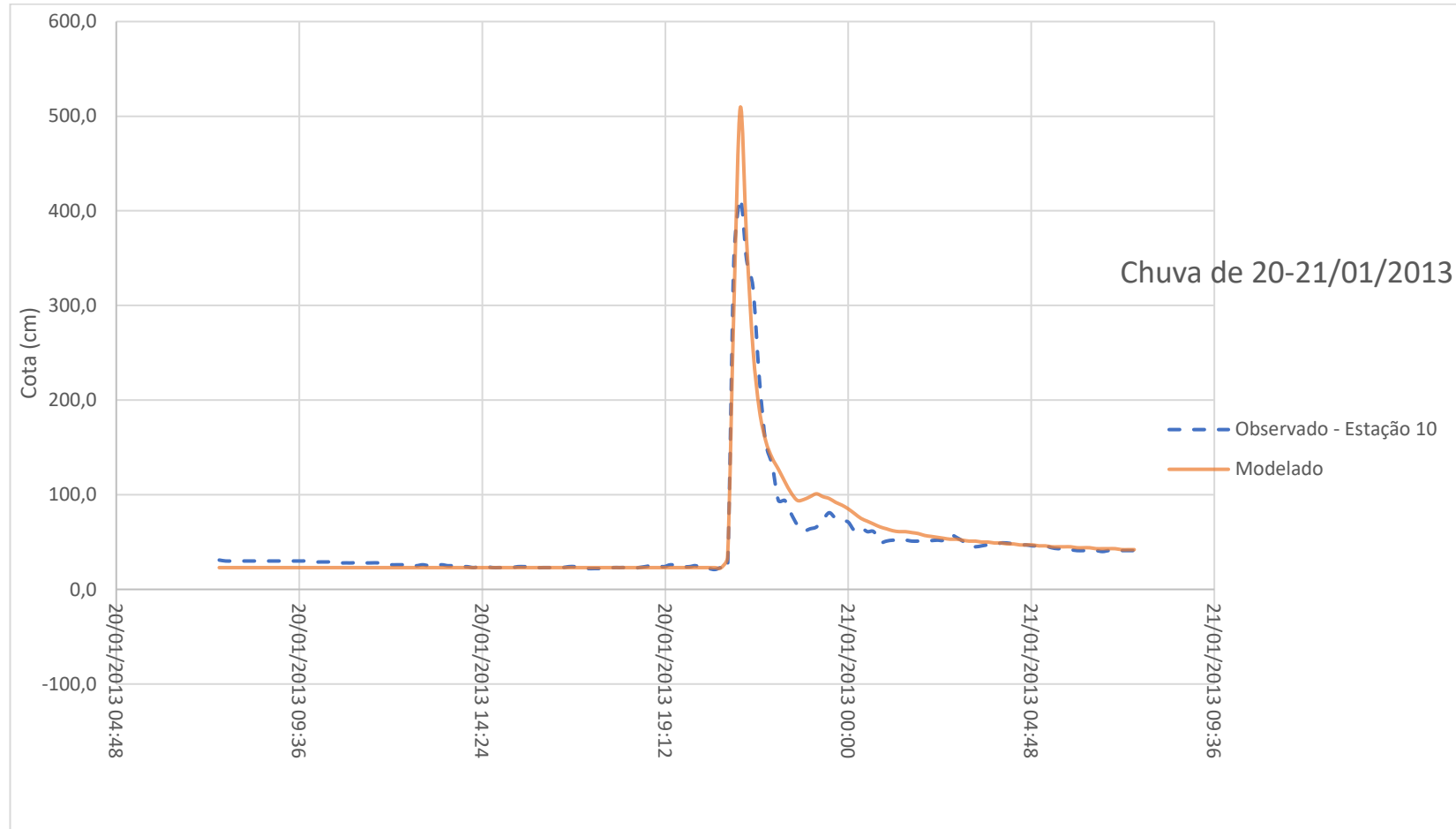


Gráfico 33 Chuva de 20-21/01/2013: Estação 09 (Validação modelo Hidrológico e Hidráulico)

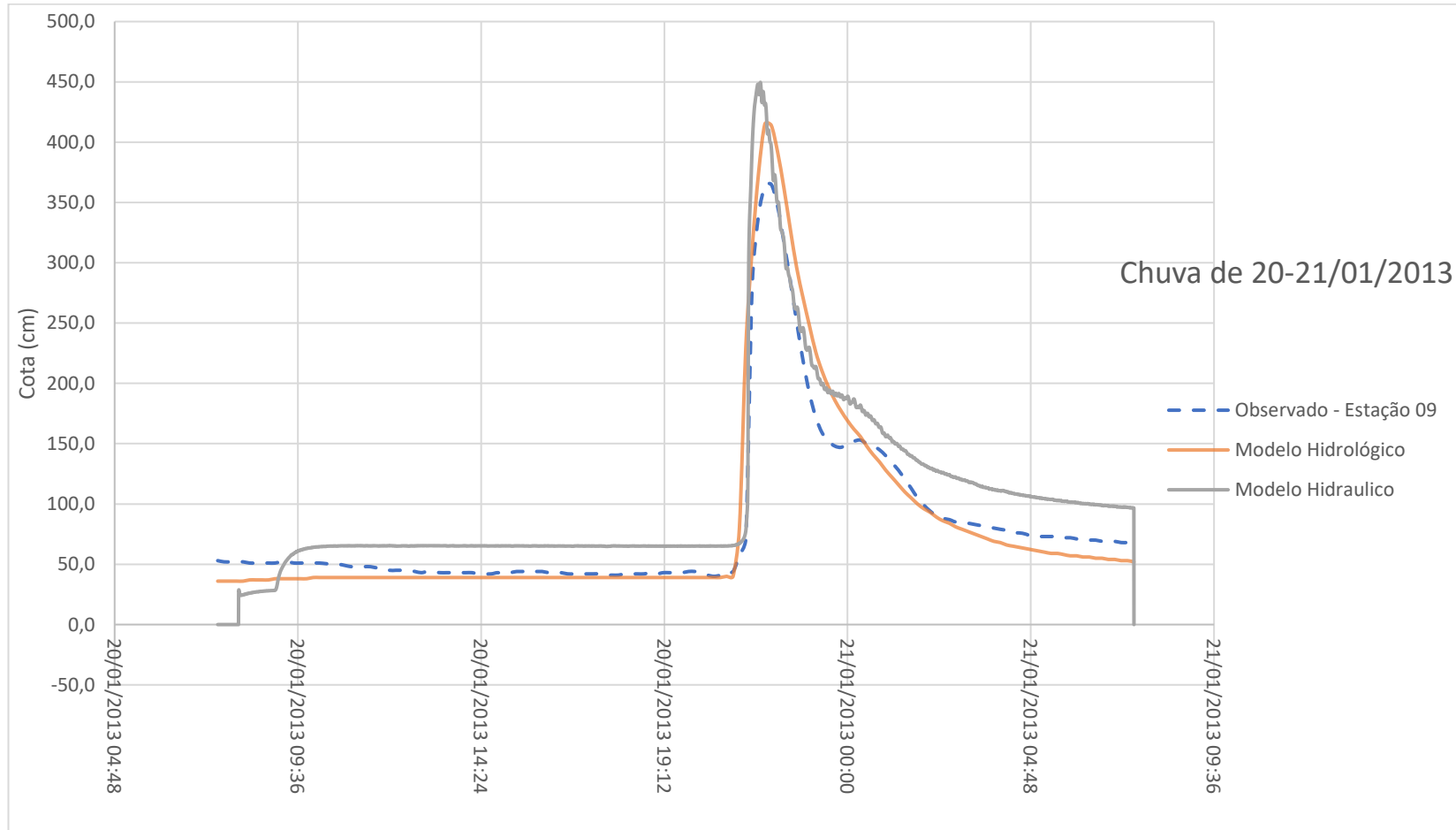


Gráfico 34 Chuva de 20-21/01/2013: Estação 17

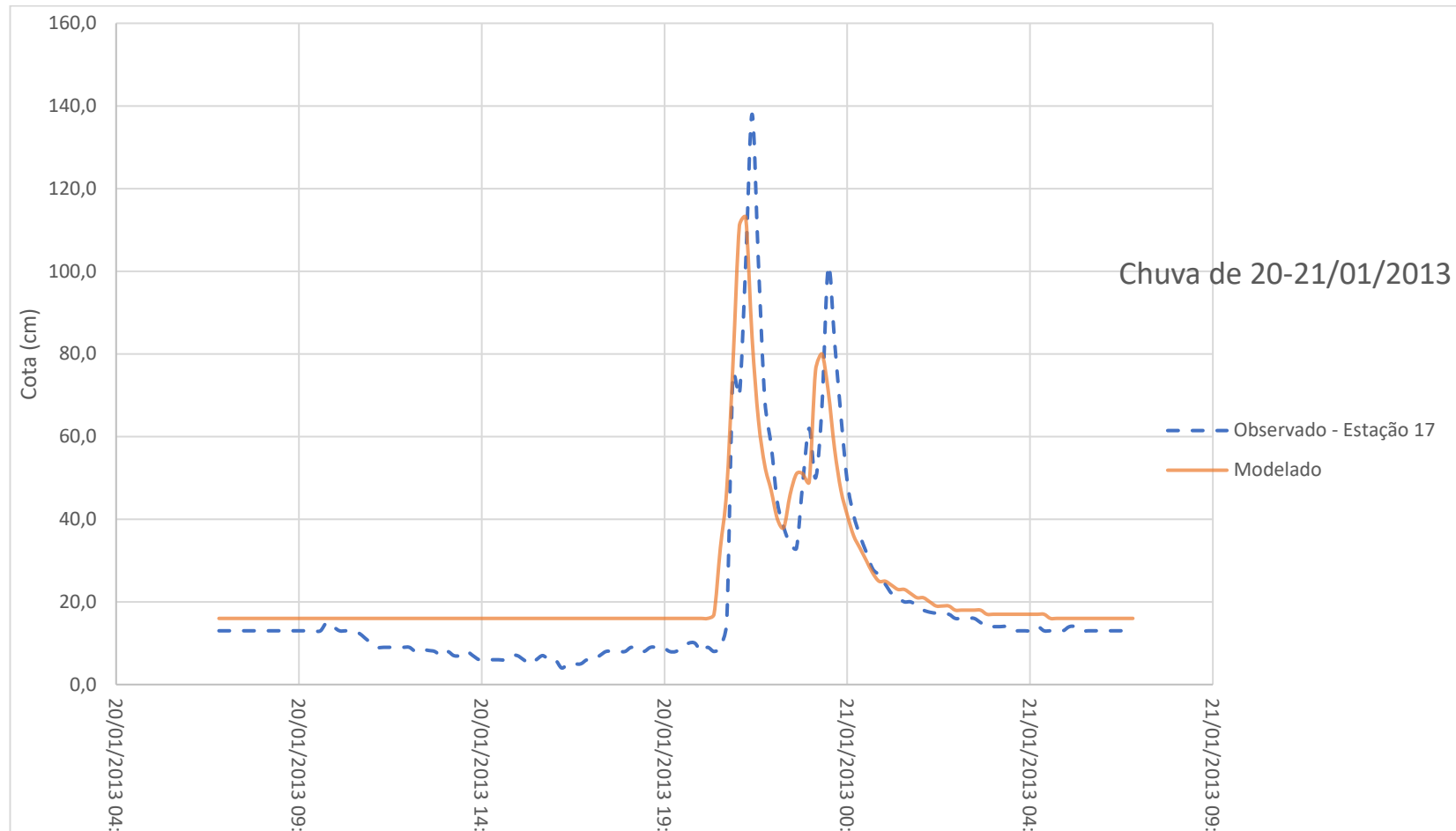


Gráfico 35 Chuva de 24-27/12/2018: Estação 06

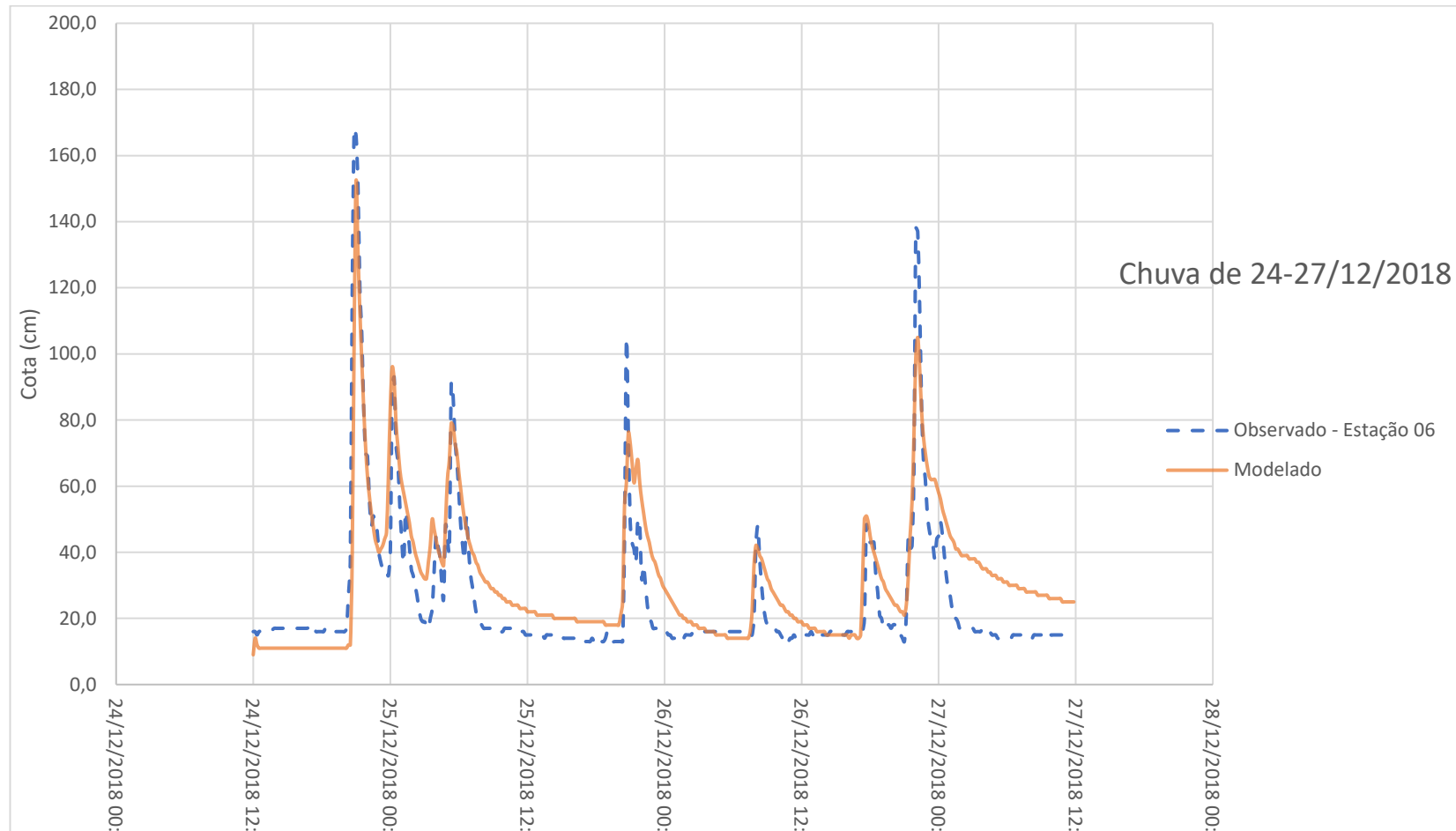


Gráfico 36 Chuva de 24-27/12/2018: Estação 18

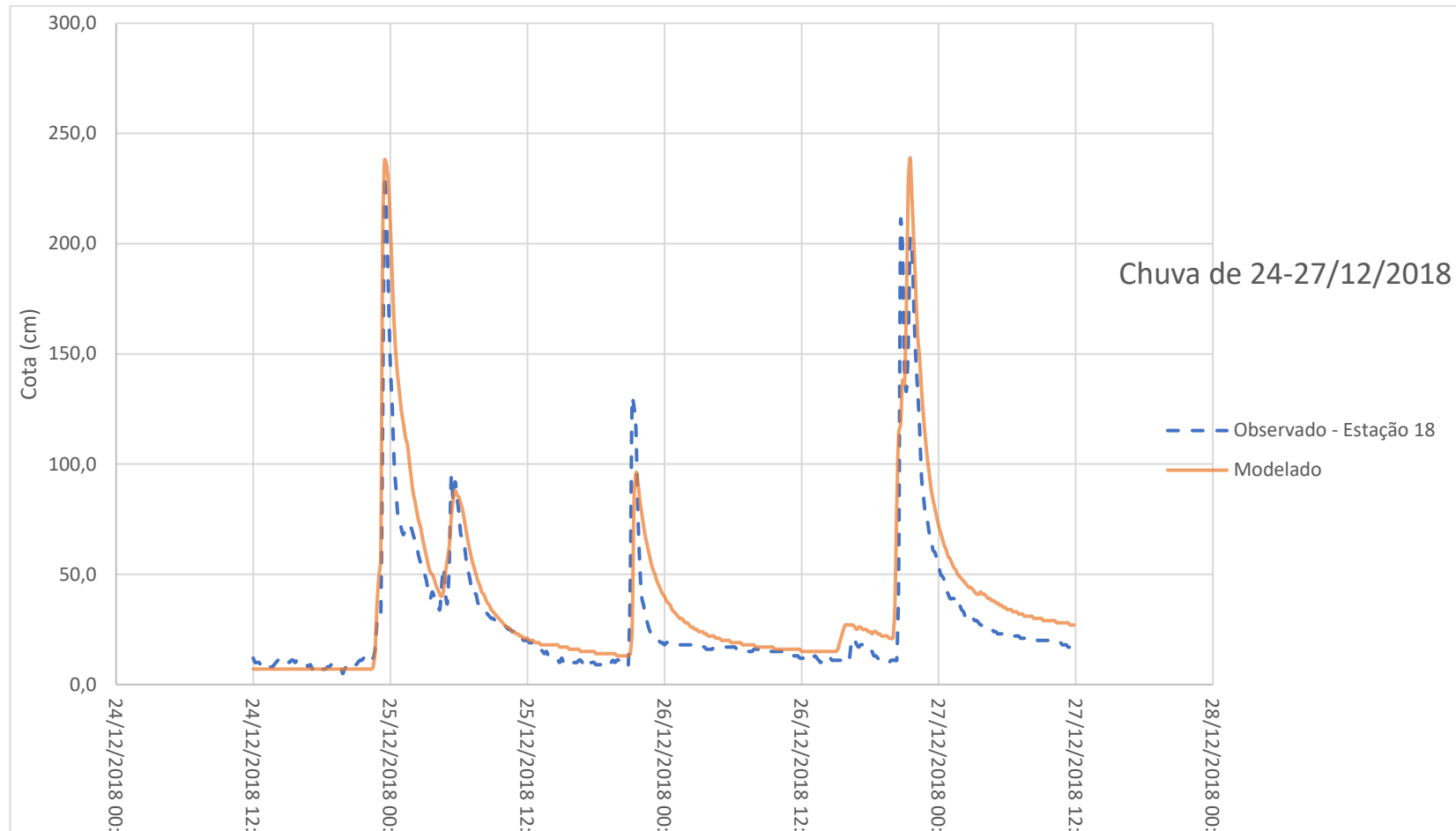


Gráfico 37 Chuva de 24-27/12/2018: Estação 10

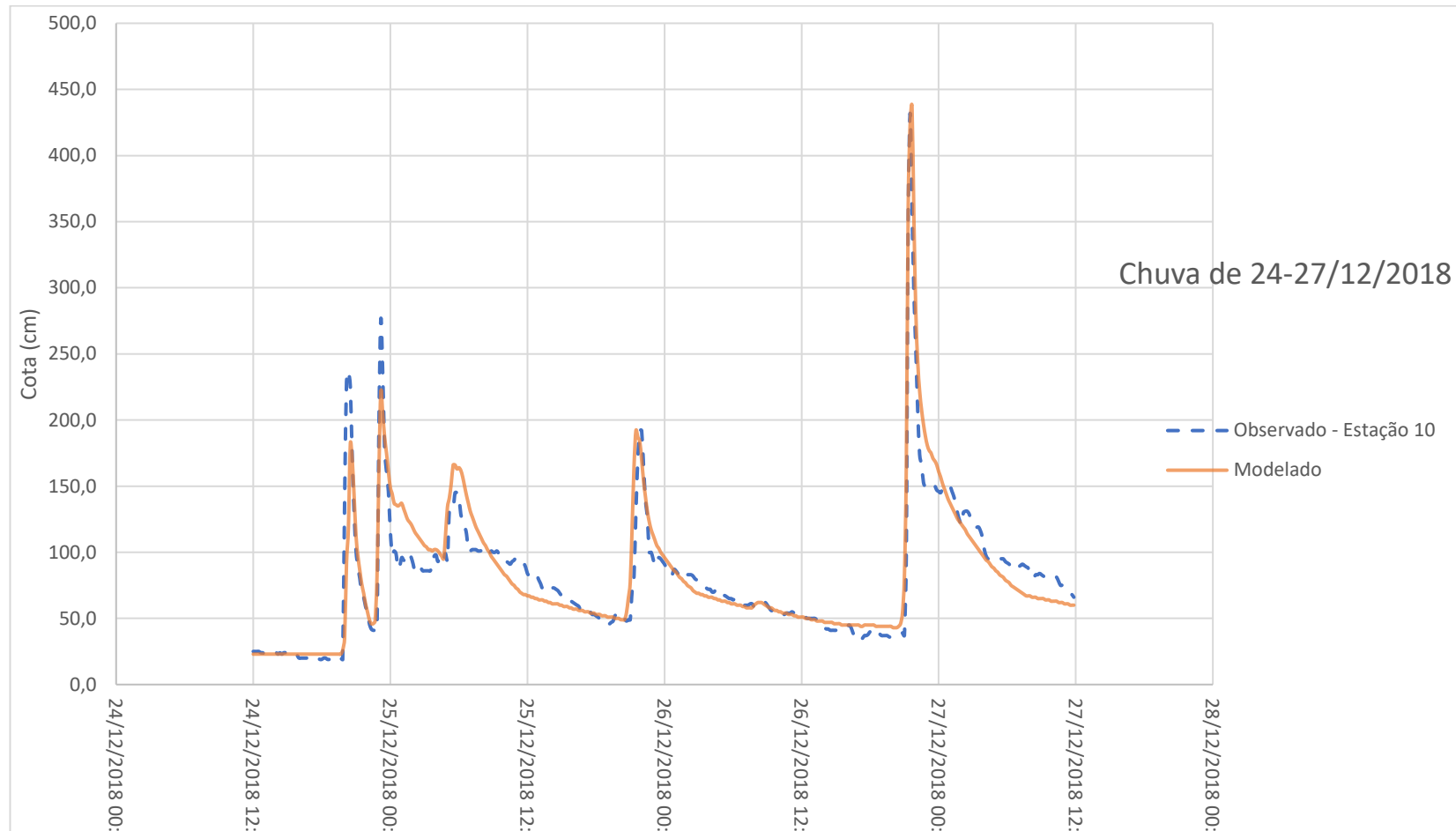


Gráfico 38 Chuva de 24-27/12/2018: Estação 09 (Validação do modelo Hidrológico e Hidráulico)

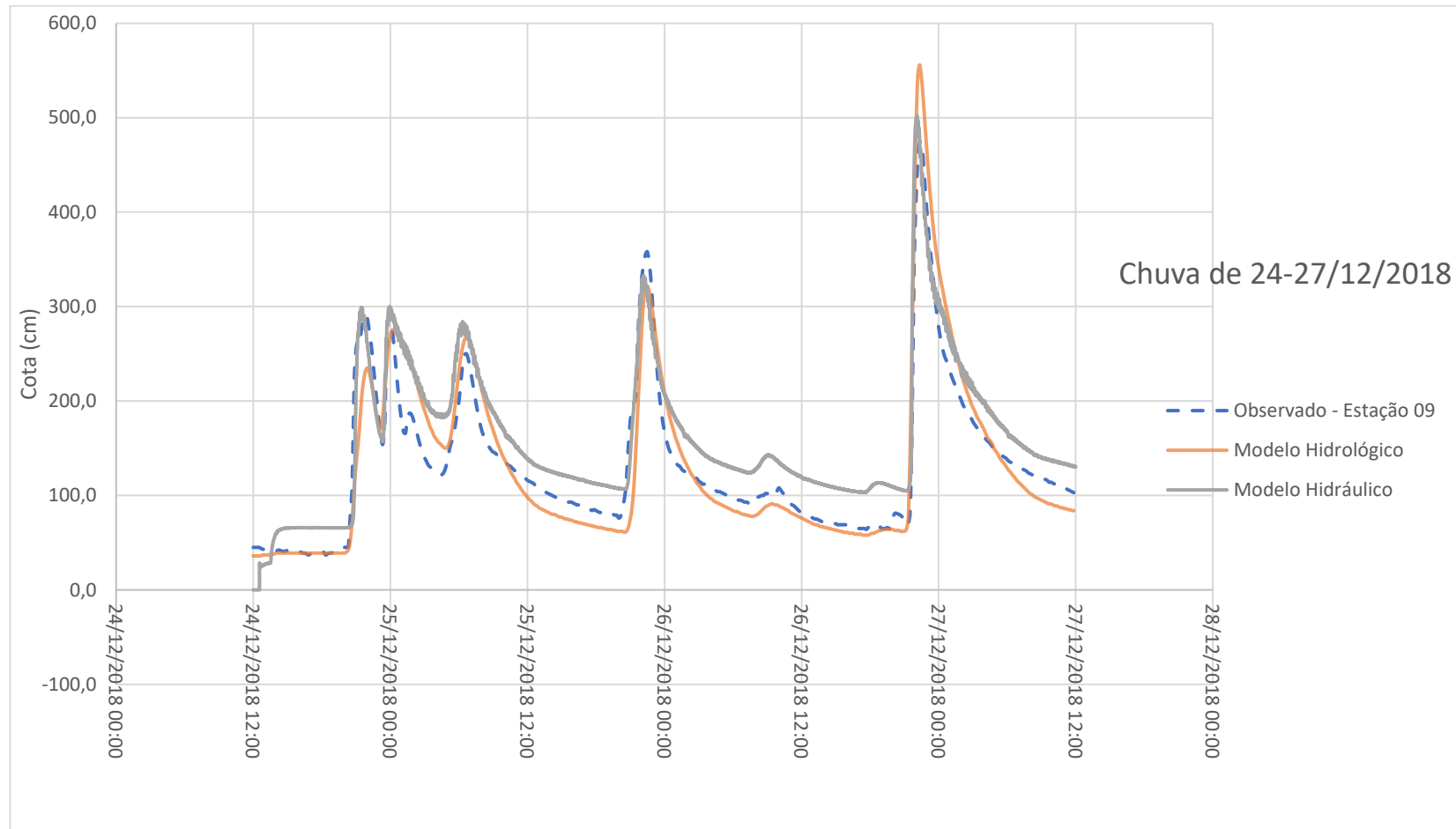


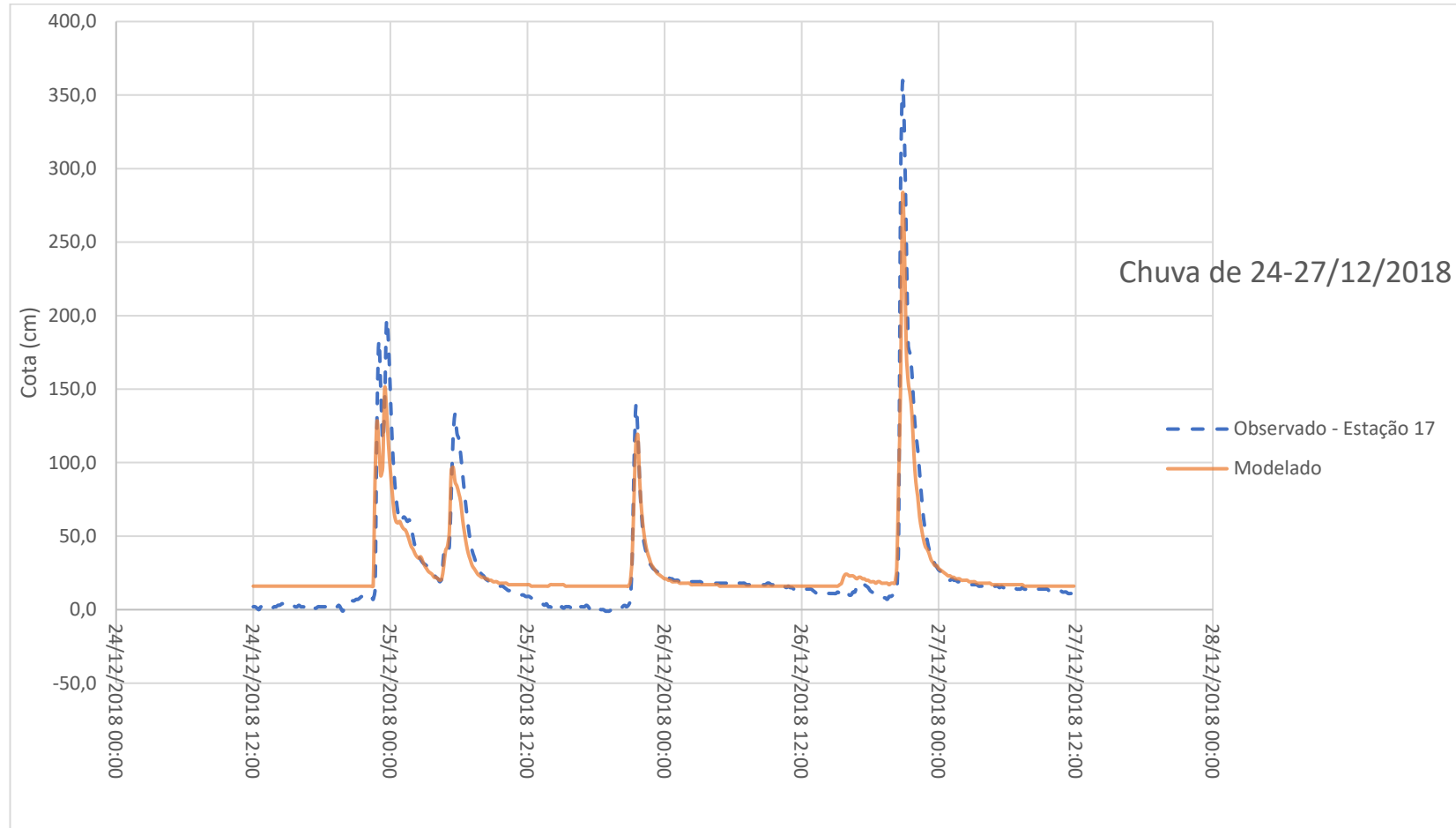
Gráfico 39 Chuva de 24-27/12/2018: Estação 17

Gráfico 40 Chuva de 05-06/12/2019: Estação 06

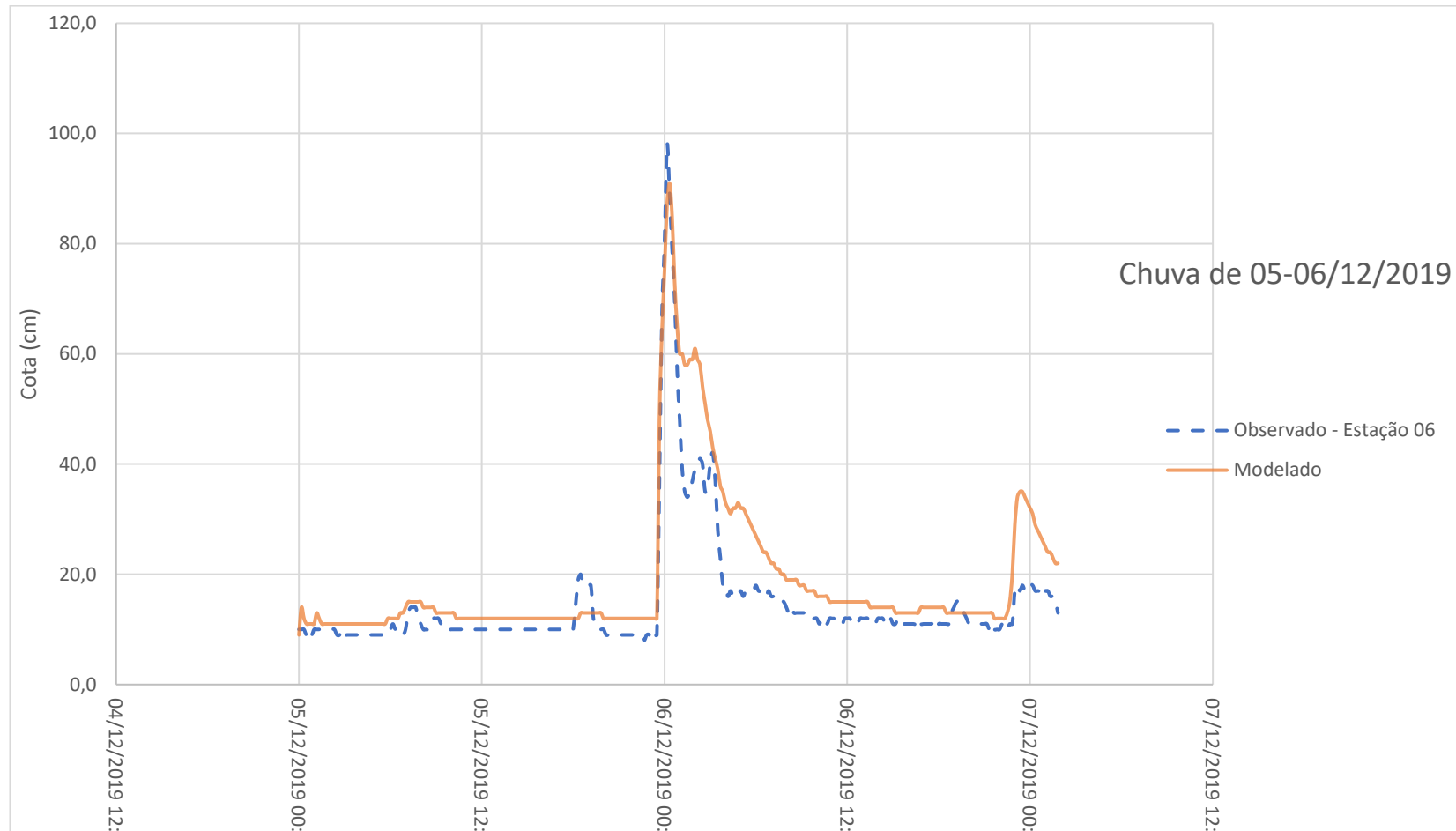


Gráfico 41 Chuva de 05-06/12/2019: Estação 18

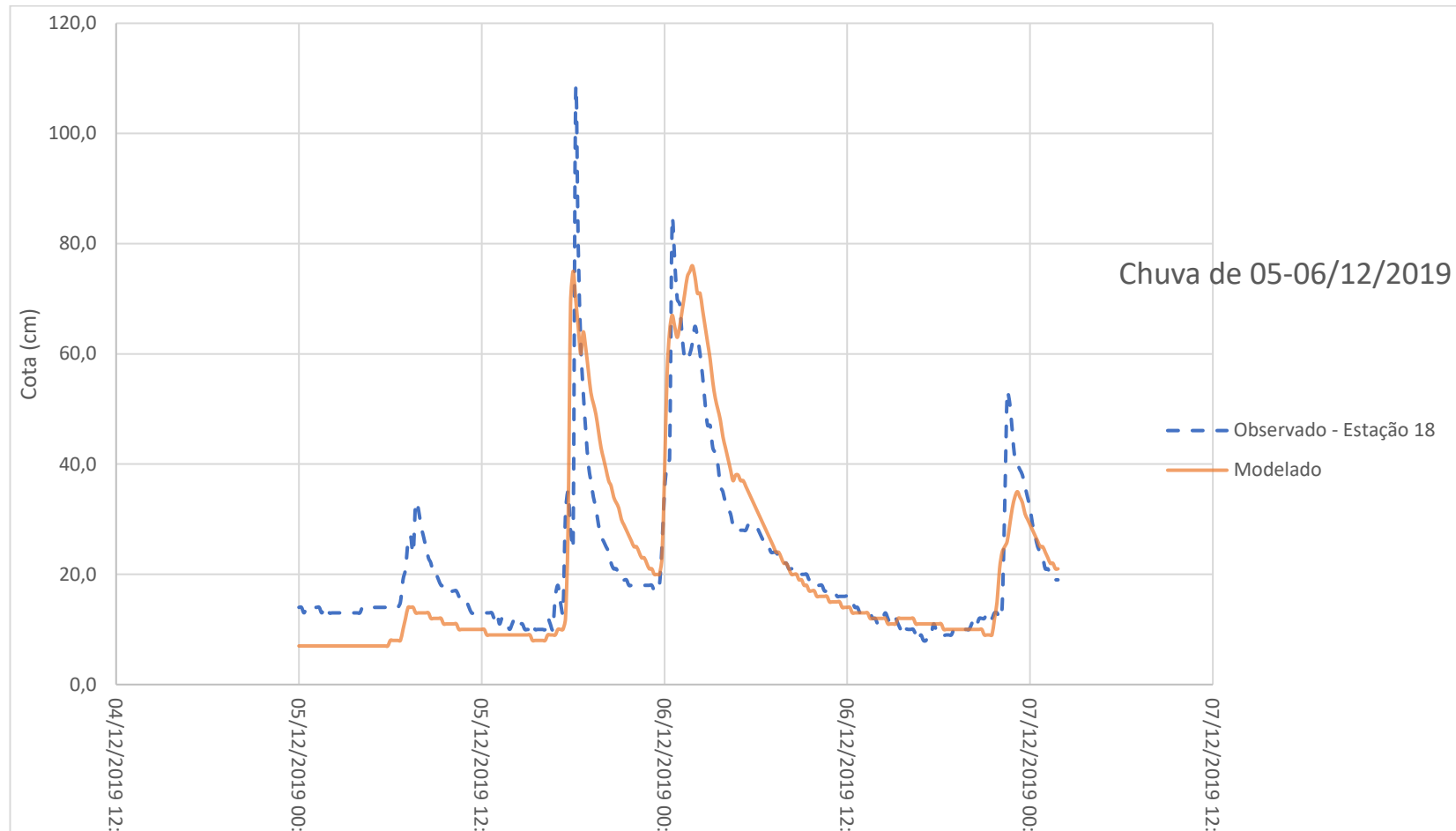


Gráfico 42 Chuva de 05-06/12/2019: Estação 10

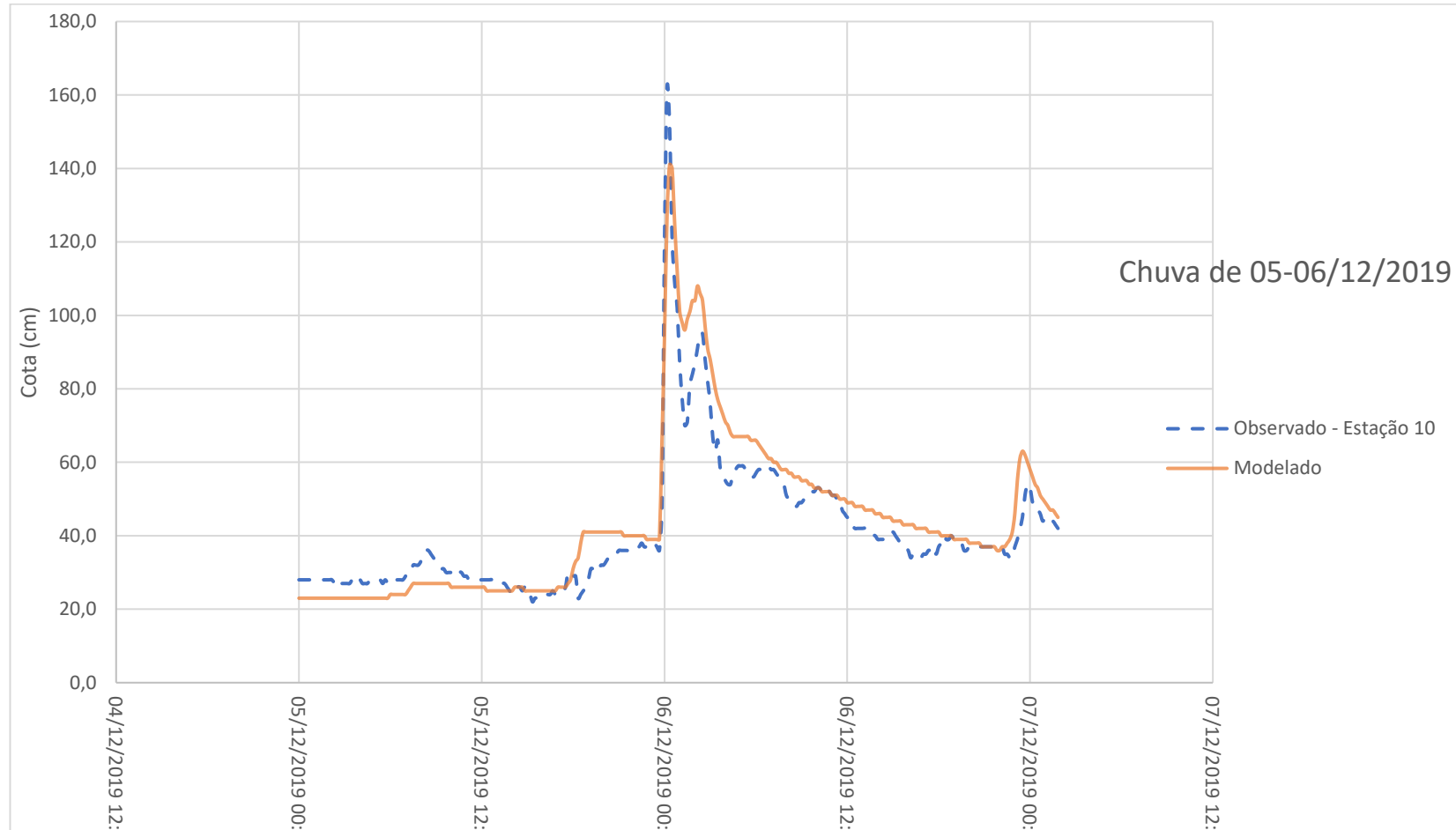


Gráfico 43 Chuva de 05-06/12/2019: Estação 09 (Validação do modelo hidrológico e hidráulico)

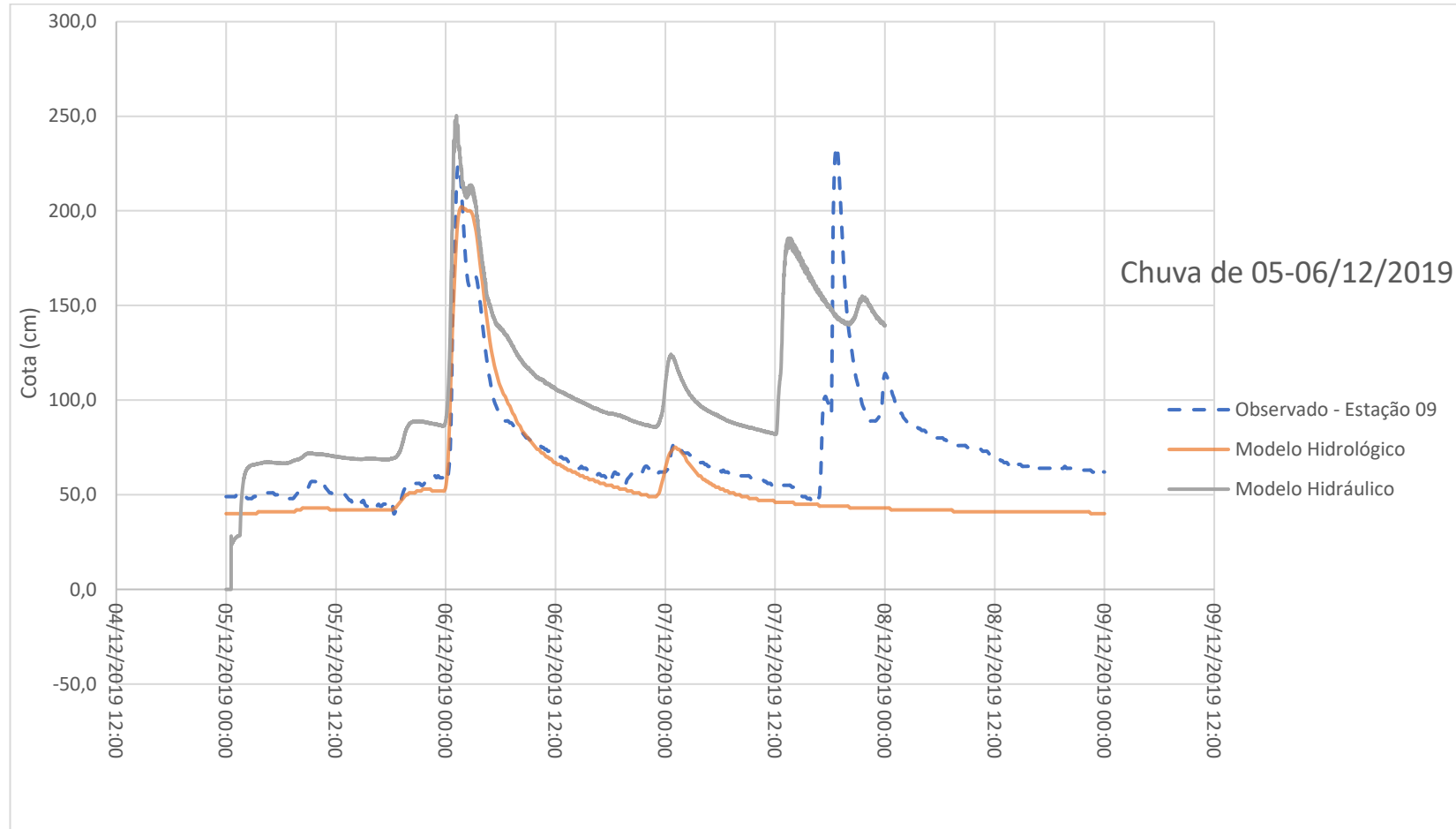


Gráfico 44 Chuva de 05-06/12/2019: Estação 17

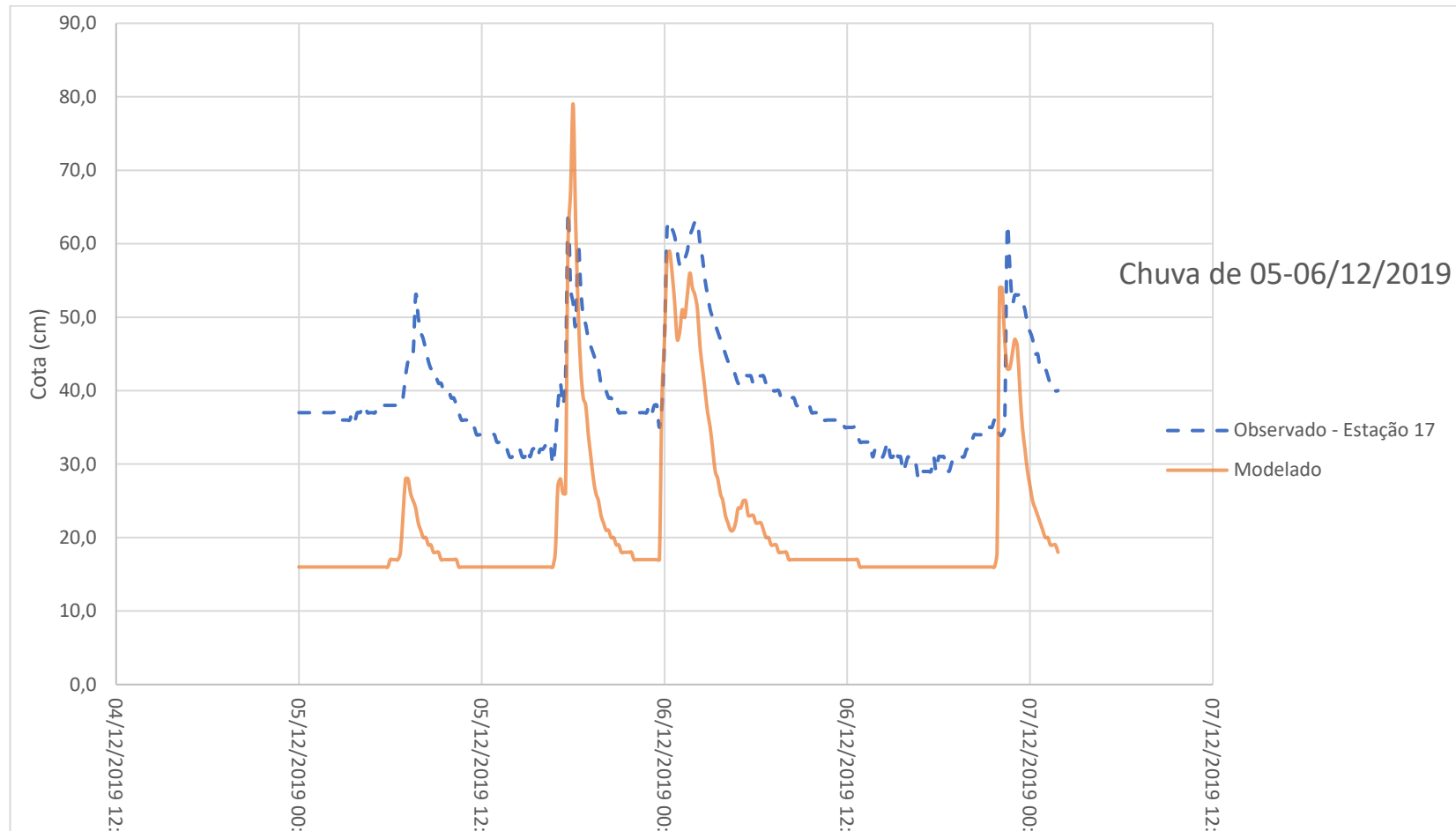


Gráfico 45 Chuva de 01-06/01/2020: Estação 06

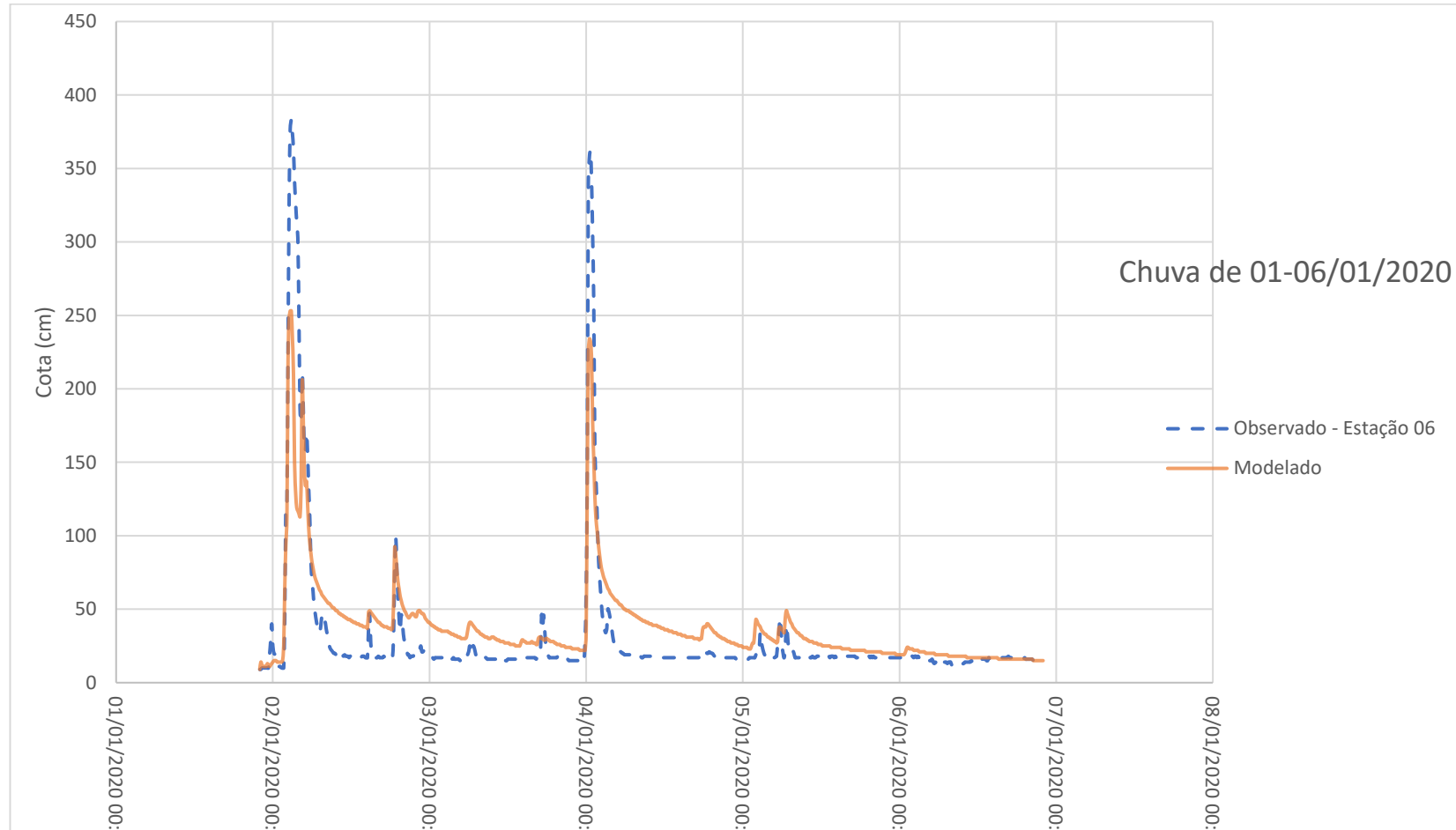


Gráfico 46 Chuva de 01-06/01/2020: Estação 18

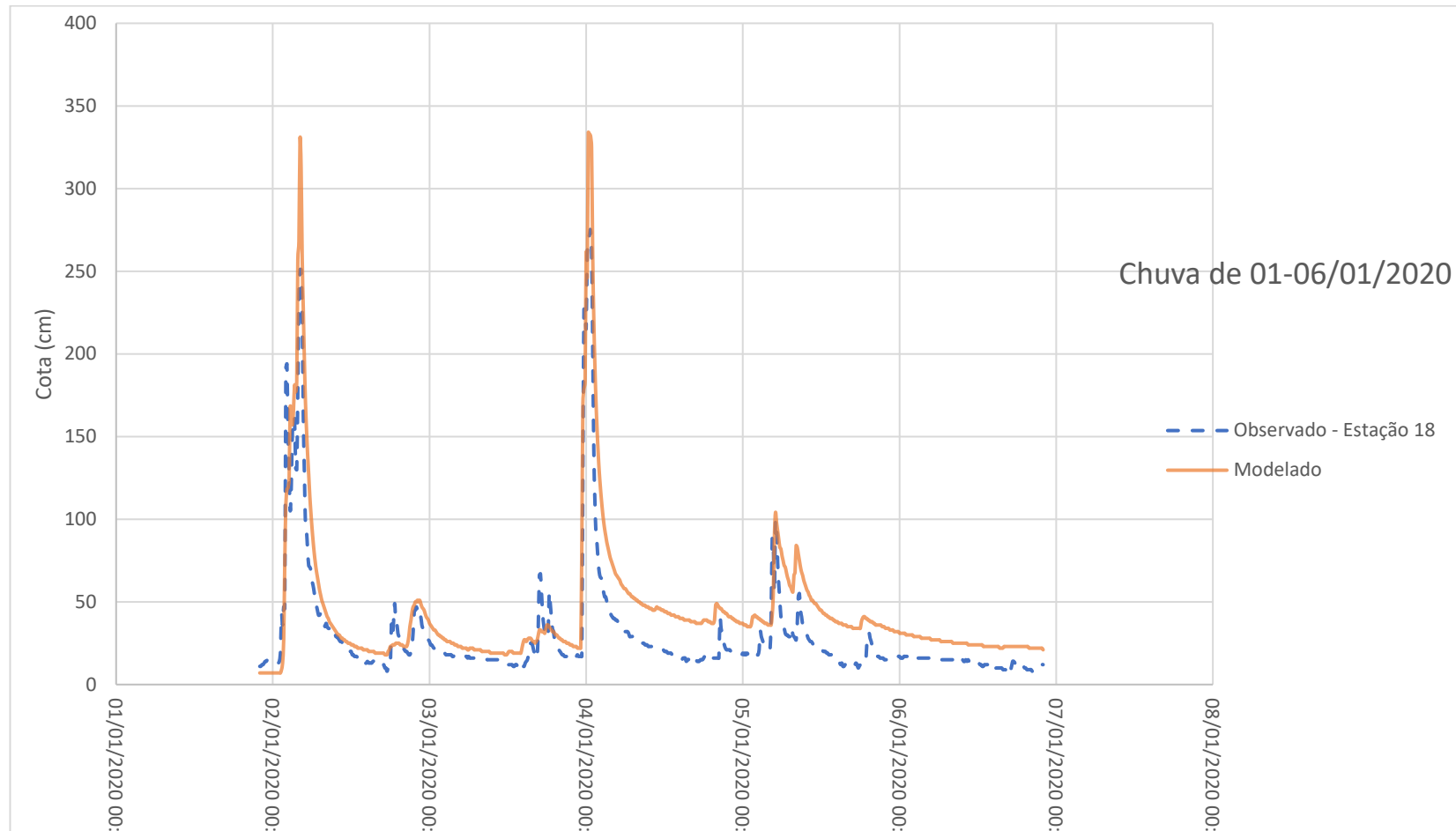


Gráfico 47 Chuva de 01-06/01/2020: Estação10

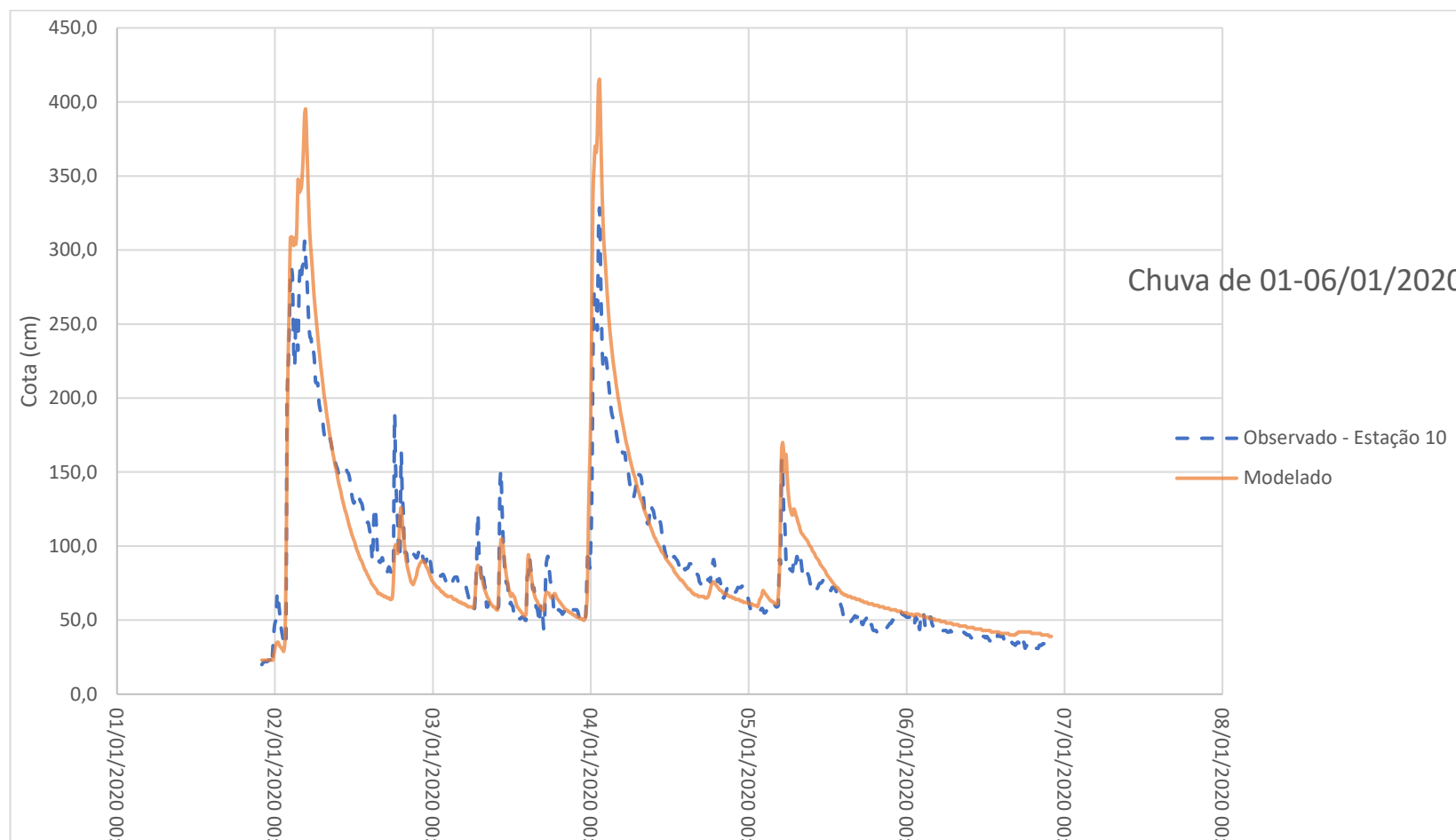


Gráfico 48 Chuva de 01-06/01/2020: Estação 09 (Validação do modelo hidrológico e hidráulico)

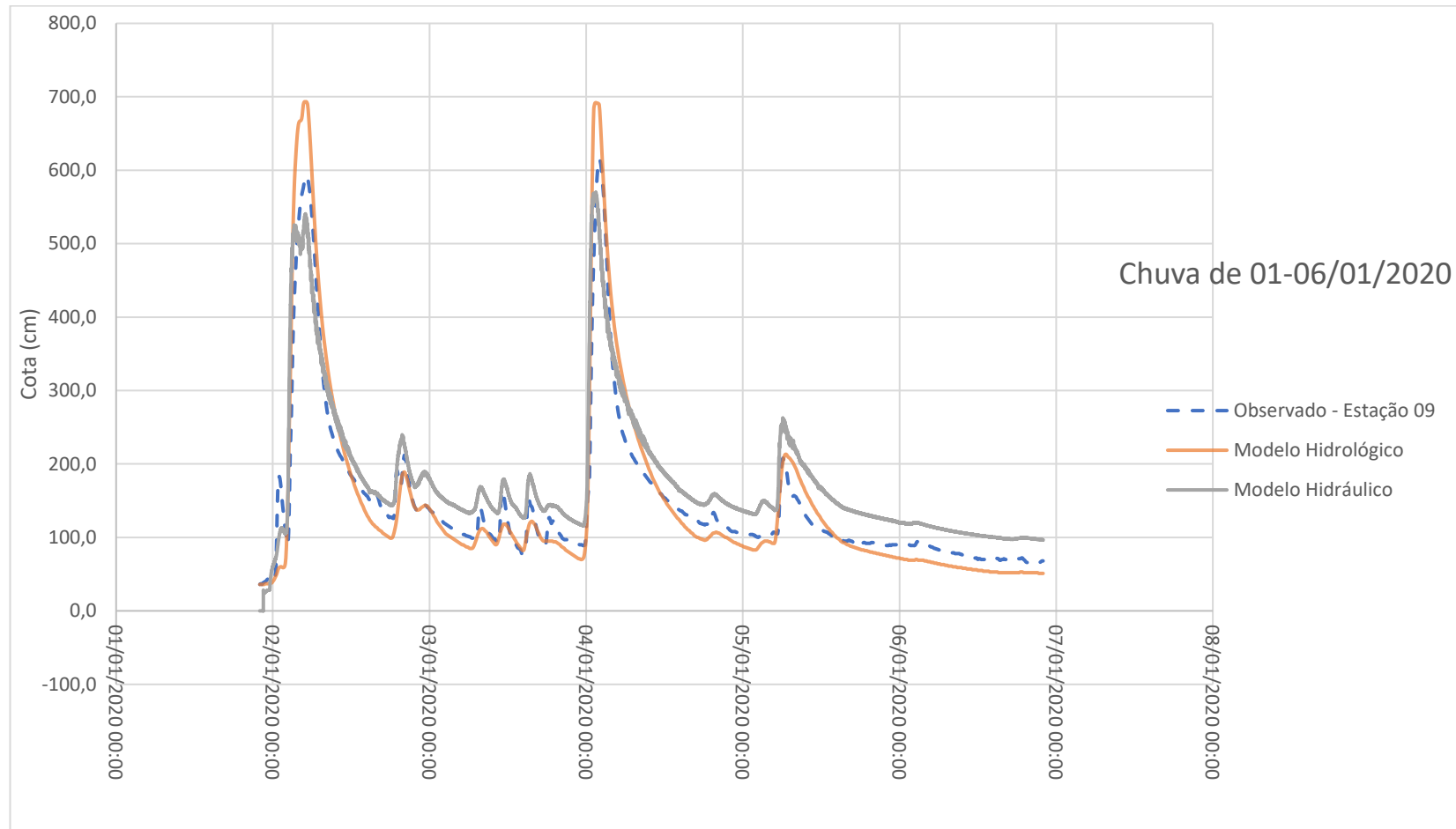


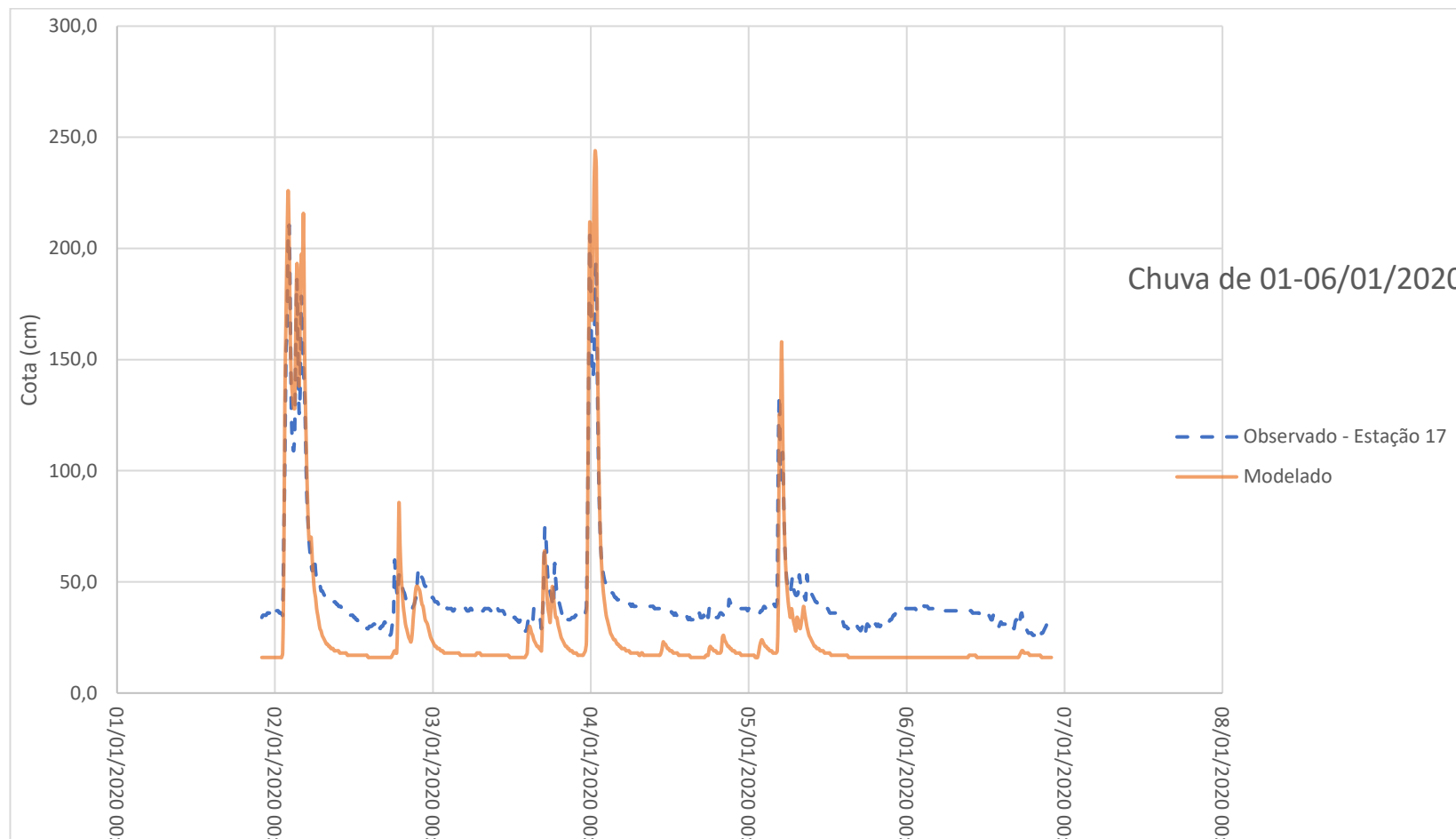
Gráfico 49 Chuva de 01-06/01/2020: Estação 17

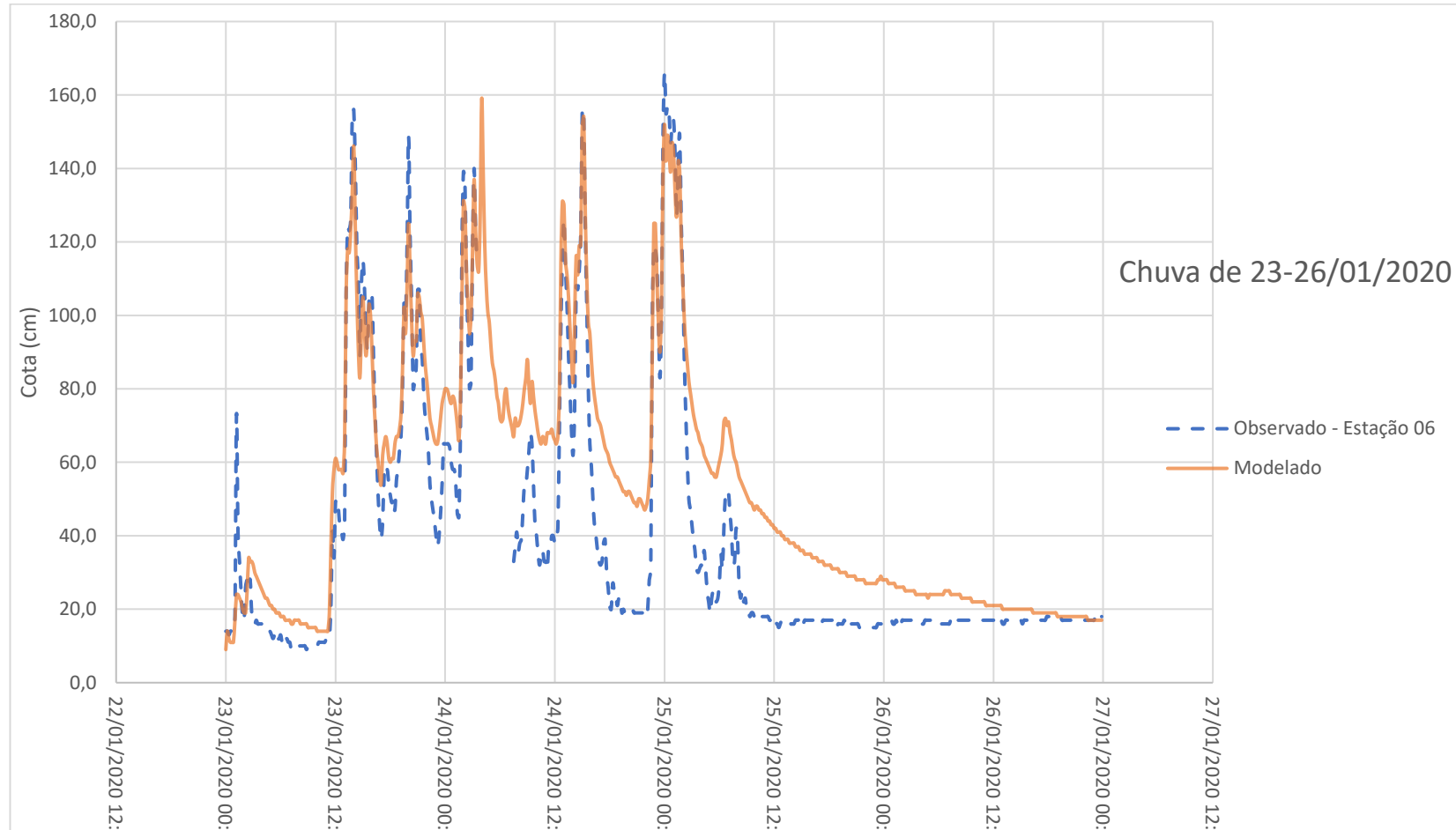
Gráfico 50 Chuva de 23-26/01/2020: Estação 06

Gráfico 51 Chuva de 23-26/01/2020: Estação 18

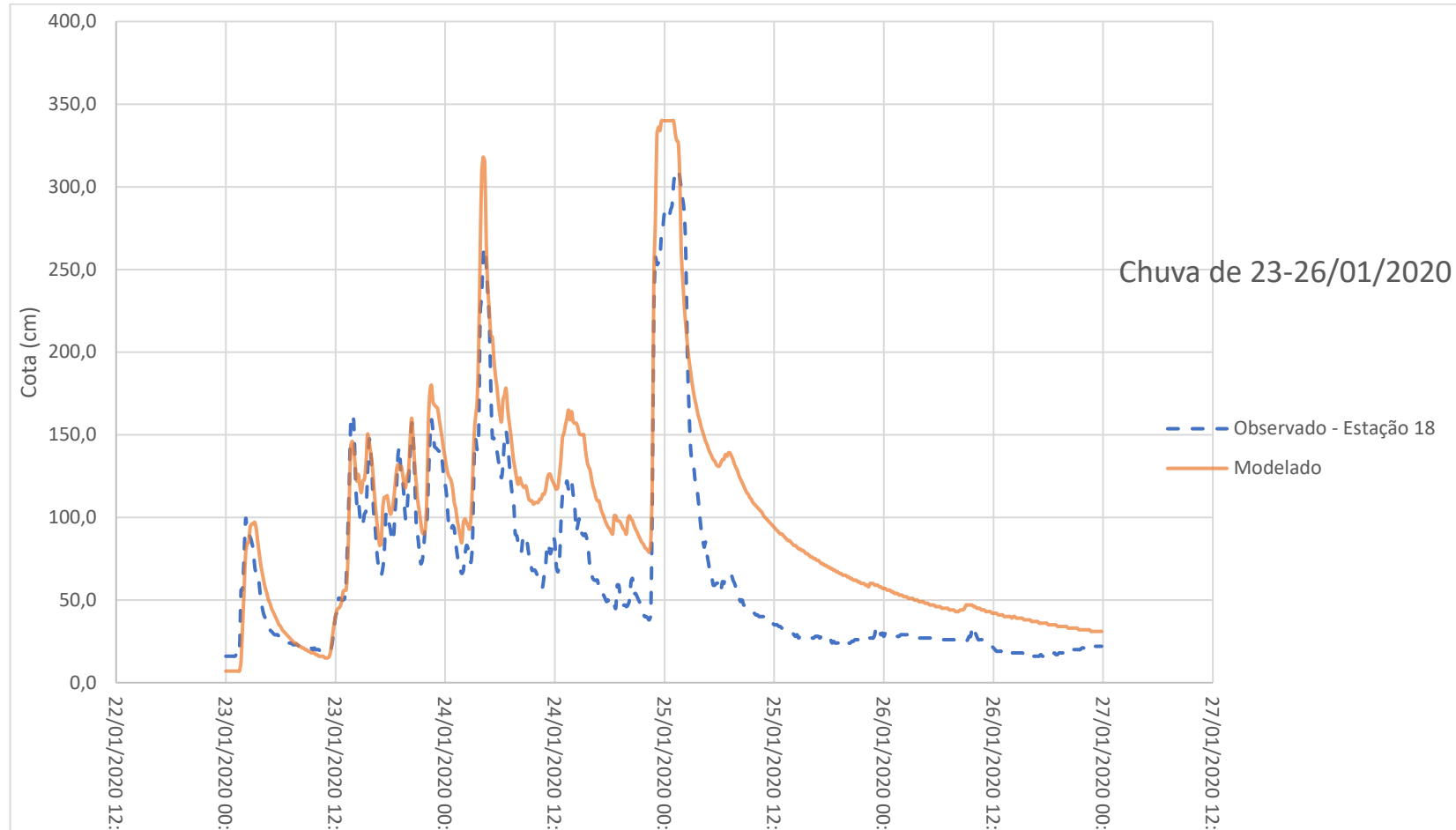


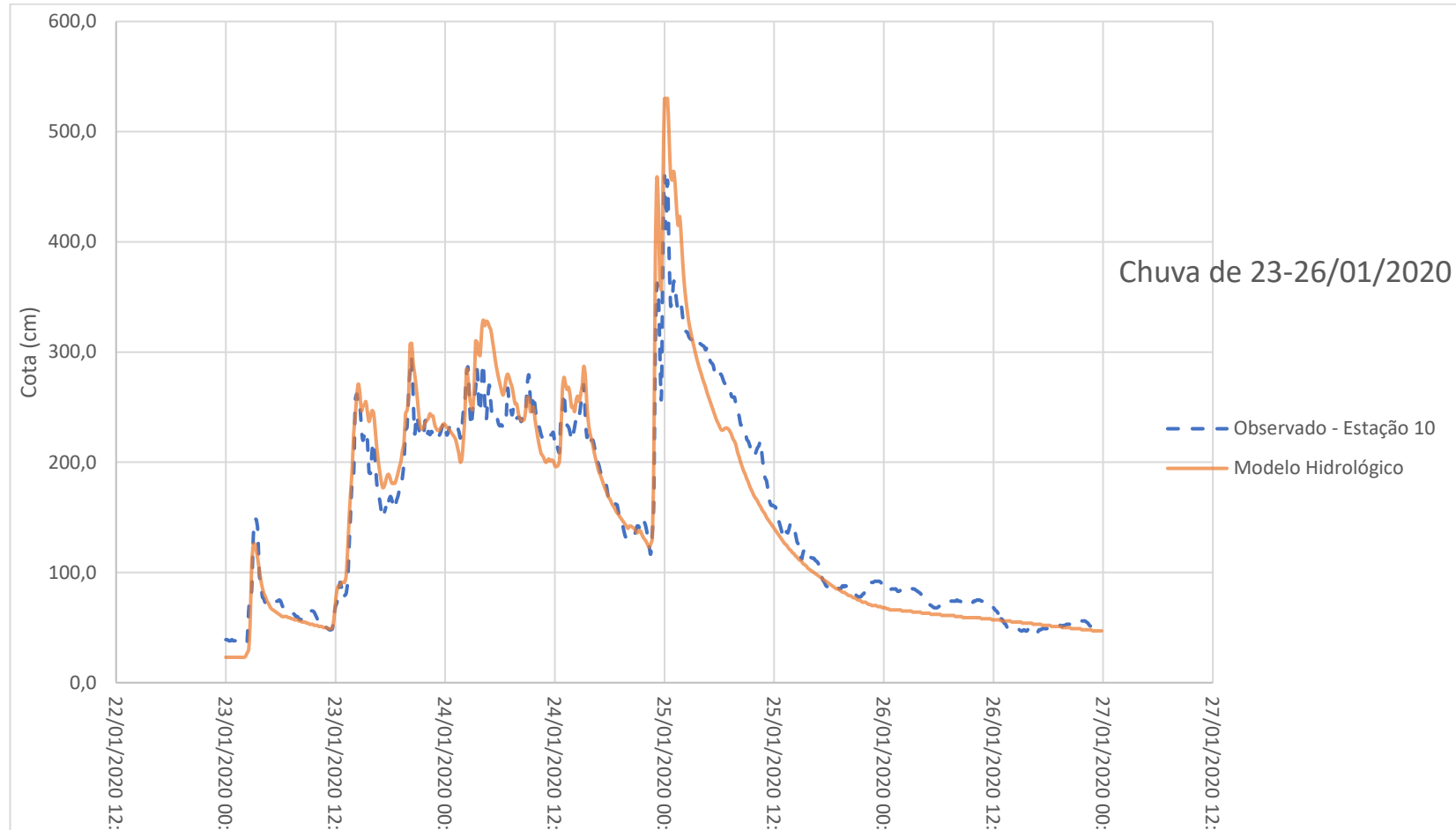
Gráfico 52 Chuva de 23-26/01/2020: Estação 10

Gráfico 53 Chuva de 23-26/01/2020: Estação 09 (Validação do modelo hidrológico e hidráulico)

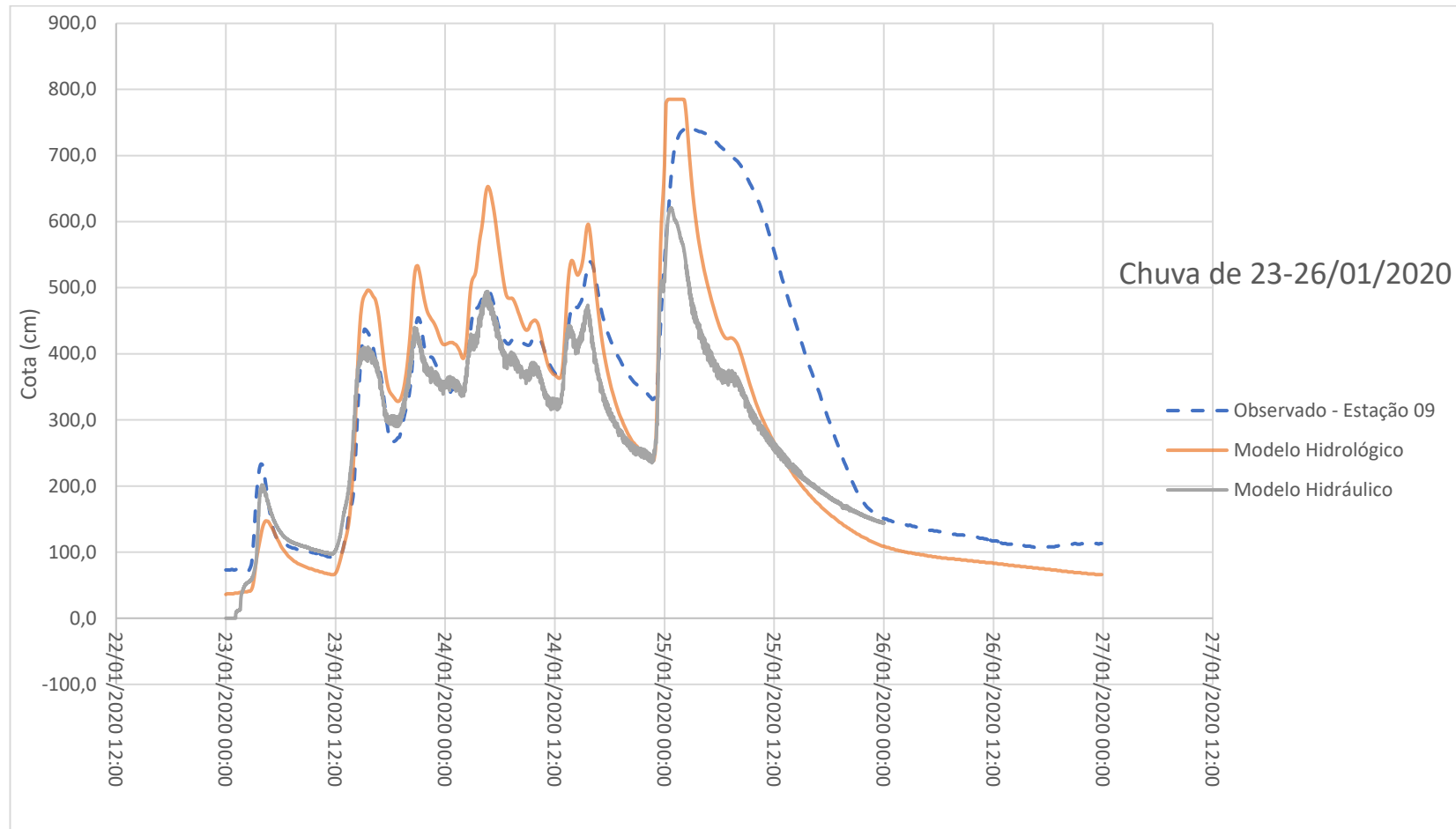


Gráfico 54 Chuva de 23-26/01/2020: Estação 17

