UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

RENATO MARTINS GOUVÊA

ALTERNATIVAS PARA MITIGAÇÃO DE RISCOS DE INUNDAÇÕES: ESTUDO DE CASO DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DOS CÓRREGOS BAMBUS/CUSTODINHO, TRÊS PONTAS/MG

Ilha Solteira
2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – MESTRADO PROFISSIONAL

RENATO MARTINS GOUVÊA

ALTERNATIVAS PARA MITIGAÇÃO DE RISCOS DE INUNDAÇÕES: ESTUDO DE CASO DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DOS CÓRREGOS BAMBUS/CUSTODINHO, TRÊS PONTAS/MG

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos. Linha de Pesquisa: Segurança Hídrica e Usos Múltiplos da Água.

Prof. Dr. Paulo Cesar Rocha

Ilha Solteira
2024

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

G719a

Gouvêa, Renato Martins.
Alternativas para mitigação de riscos de inundações: estudo de caso da microbacia hidrográfica dos Córregos Bambus/Custodinho, Três Pontas/MG / Renato Martins Gouvêa. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
238 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Ciências Ambientais, 2024

Orientador: Paulo Cesar Rocha
Inclui bibliografia

1. Geotecnologias. 2. Mitigação de enchentes. 3. Modelagem hidrológica.

Elaborada por Raiane da Silva Santos - CRB-8/9999

ProfÁgua Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos

unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: **ALTERNATIVAS PARA MITIGAÇÃO DE RISCOS DE INUNDAÇÕES: ESTUDO DE CASO DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DOS CÓRREGOS BAMBUS/CUSTODINHO, TRÊS PONTAS/MG**

AUTOR: RENATO MARTINS GOUVÊA
ORIENTADOR(A): PAULO CESAR ROCHA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, área: Regulação e Governança de Recursos Hídricos pela Comissão Examinadora:

gov.br Documento assinado digitalmente
PAULO CESAR ROCHA
Data: 18/09/2024 14:38:19-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. PAULO CESAR ROCHA (Participaçao Virtual)
Departamento de Geografia / Faculdade de Ciencias e Tecnologia de Presidente Prudente - FCT/Unesp

Profa. Dra. ANA CAROLINA VASQUES FREITAS (Participaçao Virtual)
Instituto de Ciências Puras e Aplicadas - ICPA / Universidade Federal de Itajubá

gov.br Documento assinado digitalmente
ANA CAROLINA VASQUES FREITAS
Data: 14/10/2024 10:18:12-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. ALEXANDRE SILVEIRA (Participaçao Virtual)
Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT) / Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL

gov.br Documento assinado digitalmente
ALEXANDRE SILVEIRA
Data: 14/10/2024 17:35:46-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Ilha Solteira, 20 de agosto de 2024

DEDICATÓRIA

Dedico essa conquista aos meus pais, cuja sabedoria e apoio incondicionais me moldaram e me deram forças para seguir em frente. Sem eles, nada seria possível, e nenhum passo faria sentido. Também dedico a todos que sempre caminharam ao meu lado, acreditando em mim e me impulsionando a alcançar meus sonhos. Essa vitória é nossa.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), sob o Código de Financiamento 001. Agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua e ao Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo inestimável suporte técnico-científico ao longo desta jornada.

Minha gratidão se estende à Prefeitura Municipal de Três Pontas/MG, pelo apoio e colaboração fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Gostaria de expressar meu profundo agradecimento a todos os professores que me acompanharam durante esta trajetória acadêmica. Cada um de vocês contribuiu de maneira significativa para meu crescimento profissional e intelectual.

À minha família, em especial à minha mãe, Almerita Martins Gouvêa, e ao meu pai, Guilherme Pinto Gouvêa, sem os quais eu não seria nada e com os quais sou tudo, meu amor e reconhecimento eternos. À minha querida parceira, Camilla, por todo o amor, motivação e apoio. Agradeço por estar sempre ao meu lado, ouvindo atentamente, mesmo quando os temas não eram de sua área. Sou grato aos colegas de turma e amigos, que, apesar das próprias demandas, sempre demonstraram interesse em me ouvir e compartilhar do entusiasmo pelo fascinante mundo da hidrologia e áreas correlatas. Obrigado por fazerem parte deste percurso.

Por fim, gostaria de expressar minha gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para esta jornada. Mesmo de maneira discreta, suas ações e palavras tiveram um impacto significativo, e sou profundamente agradecido por isso.

“À medida que me afastava, pensei comigo: ‘Sou mais sábio do que esse homem; nenhum de nós dois realmente conhece algo admirável e bom, entretanto ele julga que conhece algo quando não conhece, enquanto eu, como nada conheço, não julgo tampouco que conheço. Portanto, é provável, de algum modo, que nessa modesta medida seja eu mais sábio do que esse indivíduo - no fato de não julgar que conheço o que não conheço” (PLATÃO, 2015, p. 144).

RESUMO

Enchentes e inundações são problemas recorrentes em cidades brasileiras, causando prejuízos econômicos, perdas humanas e impactos ambientais significativos. Este fenômeno global afeta comunidades próximas a rios, destacando problemas de planejamento e gestão ambiental. No Brasil, a ocupação de áreas de risco e a falta de gestão eficaz das bacias hidrográficas agravam a situação. Fatores como precipitação excessiva, assoreamento de rios e impermeabilização do solo contribuem para as enchentes. O objetivo desta pesquisa é propor um conjunto de alternativas, pautadas em soluções baseadas na natureza, para mitigar riscos de inundações em microbacias urbanas, utilizando como estudo de caso as microbacias dos Córregos Bambus/Custodinho, no município de Três Pontas/MG. Utilizou-se uma abordagem integrada, combinando dados geográficos, hidrológicos e urbanísticos. As principais etapas incluíram a coleta de dados primários e secundários, análise de uso do solo e simulações hidrológicas. Ferramentas como QGIS e Google Earth Pro foram empregadas para processamento de dados geoespaciais e criação de mapas detalhados da área de estudo. A modelagem hidrológica utilizou o Método SCS para estimar vazões e impactos das intervenções propostas, empregando o software HEC-HMS. A análise identificou desafios significativos devido à urbanização desordenada e à falta de infraestrutura de manejo de águas pluviais. A simulação hidrológica mostrou que práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) e a revitalização de áreas de preservação permanente podem reduzir a vazão de pico em cerca de 13%, considerando uma chuva com tempo de retorno de 50 anos e duração de 1 hora, além de melhorar a gestão das águas pluviais. A pesquisa destaca a necessidade de uma abordagem integrada para a gestão de recursos hídricos, combinando práticas sustentáveis de uso do solo com a implementação de infraestruturas verdes. A reabilitação de áreas de preservação e a criação de zonas de infiltração são essenciais para mitigar os riscos de enchentes e promover a sustentabilidade ambiental e social. Políticas públicas que incentivem a urbanização planejada e fora de áreas de risco, junto com a fiscalização rigorosa, são cruciais para enfrentar os desafios apresentados. As soluções baseadas na natureza oferecem benefícios duradouros, fortalecendo a resiliência dos ecossistemas urbanos e contribuindo para a sustentabilidade a longo prazo.

Palavras-chave: geotecnologias; mitigação de enchentes; modelagem hidrológica.

ABSTRACT

Flooding and inundation are recurring issues in Brazilian cities, causing economic losses, human casualties, and significant environmental impacts. This global phenomenon affects communities near rivers, highlighting problems in planning and environmental management. In Brazil, the occupation of risk areas and the lack of effective watershed management exacerbate the situation. Factors such as excessive precipitation, river sedimentation, and soil impermeabilization contribute to flooding. The objective of this research is to propose a set of alternatives based on nature-based solutions to mitigate flood risks in urban microbasins, using the microbasins of the Bambus/Custodinho Streams in the municipality of Três Pontas/MG, as a case study. An integrated approach was used, combining geographical, hydrological, and urban data. The main steps included collecting primary and secondary data, analyzing land use, and performing hydrological simulations. Tools like QGIS and Google Earth Pro were employed for geospatial data processing and creating detailed maps of the study area. Hydrological modeling utilized the SCS Method with the HEC-HMS software to estimate flow rates and the impacts of proposed interventions. The analysis revealed significant challenges in the Bambus/Custodinho stream sub-basin due to unregulated urbanization and inadequate stormwater management infrastructure. The hydrological simulation indicated that Low Impact Development (LID) practices and the revitalization of permanent preservation areas can reduce peak flow by approximately 13%, considering rainfall with a return period of 50 years and a duration of 1 hour, as well as improve stormwater management. This research highlights the need for an integrated approach to water resource management, combining sustainable land use practices with green infrastructure implementation. Rehabilitation of preservation areas and the creation of infiltration zones are essential for mitigating flood risks and promoting environmental and social sustainability. Public policies that encourage planned urban growth outside risk areas, along with strict enforcement, are crucial to addressing these challenges. Nature-based solutions offer long-term benefits, strengthening urban ecosystem resilience and contributing to long-term sustainability.

Keywords: geotechnologies; flood mitigation; hydrological modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação geral da área de estudo 31
Figura 2 - Representação do ciclo hidrológico 34
Figura 3 - Zonas de recarga e fluxos 36
Figura 4 - Representação de uma bacia hidrográfica 38
Figura 5 - Relação entre desenvolvimento sustentável e gestão ambiental 52
Figura 6 - Fator de aumento da vazão média de inundação em função da percentagem de aumento da área impermeável e da canalização do sistema de drenagem 55
Figura 7 - Componentes integrantes dos SIGs 58
Figura 8 - Zonas de Uso e Ocupação do Solo 64
Figura 9 - Vista posterior do ponto exutório da microbacia do Bambus/Custodinho 76
Figura 10 - Vista anterior do ponto exutório da microbacia do Bambus/Custodinho 77
Figura 11 - Vista posterior do ponto exutório da microbacia do Bambus 78
Figura 12 - Vista anterior do ponto exutório da microbacia do Bambus 78
Figura 13 - Mapa de localização da microbacia hidrográfica do Córrego Bambus/Custodinho 79
Figura 14 - Dinâmica das atividades 92
Figura 15 - Localização e informações da estação pluviométrica Três Pontas – 2145043 96
Figura 16 - Dados do software Plúvio 2.1 para a região de Três Pontas/MG 98
Figura 17 - Características das áreas de estudo e equações relacionadas aos tempos de concentração onde foram desenvolvidas 100
Figura 18 - Microbacia dos Córregos Bambus/Custodinho e seus trechos de drenagem 103
Figura 19 - Microbacia do Córrego dos Bambus e seus trechos de drenagem 105
Figura 20 - Declividade dos trechos e declividade média (S3) do Córrego dos Bambus 109
Figura 21 - Declividade dos trechos e declividade média (S3) dos Córregos Bambus/Custodinho 110
Figura 22 - Mapa hipsométrico das microbacias Bambus e Bambus/Custodinho 111
Figura 23 - Mapa de declividade das microbacias Bambus e Bambus/Custodinho 112
Figura 24 - Mapa de solos das microbacias Bambus/Custodinho 115
Figura 25 - Mapa de solos, escala 1:50.000, na área de estudo. Folha de Três Pontas (MG) 116
Figura 26 - Chuvas intensas nos últimos anos 119
Figura 27 - Imagem representativa do ano de 2003, identificando trechos de referência nas microbacias hidrográficas dos Córregos Bambus e Bambus/Custodinho 121
Figura 28 - Fragmentos florestais na cabeceira do Córrego dos Bambus no ano de 2003 122

Figura 29 - Fragmentos florestais na cabeceira do Córrego dos Bambus no ano de 2010 123
Figura 30 - Ausência de fragmentos florestais na cabeceira do Córrego dos Bambus no ano de 2014 124
Figura 31 - Supressão de um eucaliptal nas proximidades do Trecho 3 125
Figura 32 - Expansão urbana no trecho 6 da microbacia no ano de 2003 126
Figura 33 - Expansão urbana no trecho 6 da microbacia no ano de 2010 127
Figura 34 - Expansão urbana no trecho 6 da microbacia no ano de 2014 128
Figura 35 - Expansão urbana no trecho 6 da microbacia no ano de 2017 129
Figura 36 - Expansão urbana no trecho 6 da microbacia no ano de 2023 130
Figura 37 - Uso e ocupação do solo no trecho 5 da microbacia no ano de 2010 131
Figura 38 - Uso e ocupação do solo no trecho 5 da microbacia no ano de 2014 132
Figura 39 - Uso e ocupação do solo no trecho 5 da microbacia no ano de 2015 133
Figura 40 - Uso e ocupação do solo no trecho 5 da microbacia no ano de 2020 134
Figura 41 - Uso e ocupação do solo no trecho 5 da microbacia no ano de 2023 135
Figura 42 - Mapa do uso e cobertura do solo das microbacias Bambus e Bambus/Custodinho - 2023 139
Figura 43 - Área permeável na zona urbana – 25 de janeiro de 2023 142
Figura 44 - Solo exposto – 25 de janeiro de 2023 143
Figura 45 - Área permeável residencial – 25 de janeiro de 2023 144
Figura 46 - Área de regeneração florestal – 25 de janeiro de 2023 145
Figura 47 - Área brejosa – 25 de janeiro de 2023 146
Figura 48 - Carreador de café – 25 de janeiro de 2023 147
Figura 49 - Aferição da tubulação de entrada de água pluvial no Córrego dos Bambus 148
Figura 50 - Ponto do principal gargalo de enchentes em Três Pontas 149
Figura 51 - Ponto de ocorrência do fenômeno do ressalto hidráulico no Córrego dos Bambus 150
Figura 52 - Distribuição de HUFF 155
Figura 53 - Hietograma de HUFF para o primeiro quartil 156
Figura 54 - Hidrograma unitário 157
Figura 55 - Hietograma de HUFF 158
Figura 56 - Hidrograma de projeto SCS 159
Figura 57 - Distribuição de HUFF 163
Figura 58 - Hietograma de HUFF para o primeiro quartil 163
Figura 59 - Hidrograma unitário 165
Figura 60 - Hietograma de HUFF 166
Figura 61 - Hidrograma de projeto SCS 167
Figura 62 - Diagrama das metodologias adotadas para a estimativa de vazões de enchente 170
Figura 63 - Comparação da Identificação de Linhas de Drenagem entre a Base Hidrográfica Ottocodificada e o Modelo FABDEM 175
Figura 64 - Hidrograma de projeto SCS 177
Figura 65 - Hidrograma de projeto SCS 183
Figura 66 - Hidrograma de projeto SCS 186

Figura 67 - Hidrograma de projeto SCS ……... 189

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Valores do CN para bacias com ocupação agrícola ……... 89
Quadro 2 - Valores de CN para bacias com ocupação urbana ……..... 90
Quadro 3 - Classes de umidade antecedente ……..... 90
Quadro 4 - Correção de CN para umidades diferentes da média (AMC II) ……..... 91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custos ($R\$/Km$) para execução da via com concreto convencional x bloco de concreto poroso …….. 48
Tabela 2 - Estágios de desenvolvimento das águas urbanas …… 56
Tabela 3 - Área e testada mínima dos lotes …….. 65
Tabela 4 - Parâmetros morfológicos e morfométricos das redes de drenagem das microbacias hidrográficas ……. 112
Tabela 5 - Quadro de informações das microbacias hidrográficas dos Córregos Bambus/Custodinho no ano de 2023 …….. 140
Tabela 6 - Quadro de informações da microbacia hidrográfica do Córrego dos Bambus no ano de 2023 ……..... 141
Tabela 7 - CN estabelecido para cada tipo de uso do solo presente na microbacia ……... 153
Tabela 8 - Distribuição dos quartis pelo Método de HUFF ……..... 154
Tabela 9 - CN estabelecido para cada tipo de uso do solo presente na microbacia ……... 160
Tabela 10 - Distribuição dos quartis pelo Método de HUFF ……..... 155
Tabela 11 - Áreas passíveis de alteração para reflorestamento ……..... 173
Tabela 12 - Comparação de Curve Number (CN) antes e depois das alterações de uso e ocupação do solo nas microbacias ……... 176
Tabela 13 - Áreas passíveis de alteração para reflorestamento ……..... 182
Tabela 14 - Tabela Comparativa dos Impactos das Medidas de Reflorestamento nas Vazões de Pico em Diferentes Níveis de Adesão …….. 192

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APG	Angiosperm Phylogeny Group
APP	Área de Preservação Permanente
APPs	Áreas de Preservação Permanente
BICs	Blocos Intertravados de Concreto
CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado a Quente
CE	Ceará
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CENPES	Centro de Pesquisas, Desenvolvimento e Inovação Leopoldo Américo Miguez de Mello
CETEC	Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
CF	Constituição Federal
CH	Circunscrição Hidrográfica
CN	Curve Number – Número da Curva
CN	Coeficientes de Escoamento
CNN	Cable News Network
CNPTIA	Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para Agricultura
COBRADE	Codificação Brasileira de Desastres
CPA	Concreto Asfáltico Poroso
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
DEA	Departamento de Engenharia Agrícola
DEMs	Modelos Digitais de Elevação
DMAPU	Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas (DMAPU)
DPI	Divisão de Geração de Imagens
ECP	Estado de Calamidade Pública
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	Environmental Protection Agency
ES	Espírito Santo
ESRI	Environmental Systems Research Institute
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto

FABDEM Forest And Buildings removed Copernicus DEM

FEAM Fundação Estadual do Meio Ambiente

GIS Geographic Information System

GLONASS Global Navigational Satellite System

GNU General Public License

GPS Global Positioning System

HEC-HMS Hydrological Engineering Center – Hydrologic Modeling System – Sistema de Modelagem Hidrológica

HEC-RAS Hydrologic Engineering Center – River Analysis System – Sistema de Modelagem Hidráulica

IBAMA Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBM International Business Machines

IDEB Índice de Desenvolvimento da Educação Básica

IDE-SISEMA Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

IEV Infraestrutura Verde

IGAM Instituto Mineiro de Gestão das Águas

INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPTU Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana

LID Low Impact Development – Desenvolvimento de Baixo Impacto

MCTI Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MDR Ministério do Desenvolvimento Regional

MG Minas Gerais

MP Modelos de Parcelamento

MPM Melhores Práticas de Manejo

MZRe Macrozona Residencial

NBR Norma Brasileira

NRCS Natural Resources Conservation Service

ODS Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU Organização das Nações Unidas

PDD Plano Diretor de Drenagem

PDDU Planos Diretores de Drenagem Urbana

PDMAT	Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê
PEDI	Plano Estratégico de Desenvolvimento Integrado
PIB	Produto Interno Bruto
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PPDS	Pavimento Permeável com Microbacia de Detenção em Escala
PRA	Programa de Regularização Ambiental
PUC	Pontifícia Universidade Católica
RL	Reserva Legal
SbN	Soluções Baseadas na Natureza
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SCS	Soil Conservation Service
SE	Setores Especiais
SE	Situação de Emergência
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SIGs	Sistemas de Informações Geográficas
SMG	Seoul Metropolitan Government
SMMA	Secretaria Municipal de Meio Ambiente
SNIS-AP	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Águas Pluviais
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SWMM	Storm Water Management Model – Modelo de Gestão de Drenagem Urbana
S2ID	Sistema Integrado de Informações sobre Desastres
TC	Técnicas Compensatórias
TCPO	Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos
TECGRAF	Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica
TR	Tempo de Retorno – Período de Retorno
UC	Universidade da Califórnia
UEG	Unidade Estratégica de Gestão
UFLA	Universidade Federal de Lavras
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UN	United Nation
Unesp	Universidade Estadual Paulista
USACE	United States Army Corps of Engineers

USDA	United States Department of Agriculture
US EPA	United States Environmental Protection Agency
USGS	United States Geological Survey
USP	Universidade de São Paulo
WMO	World Meteorological Organization
ZCC	Zona Comercial Central
ZEU	Zona de Expansão Urbana
ZI	Zona Industrial
ZP	Zona de Proteção
ZPs	Zonas de Proteção
ZR	Zona Residencial
ZRU	Zona Rural
ZR-2	Zona Residencial de Baixa Densidade

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área da microbacia ou área de contribuição (km^2)
d_c	Distância entre a cabeceira e a foz em linha reta (Km)
D_d	Densidade de drenagem (Km/Km^2)
E_{ps}	Extensão do percurso superficial (Km)
i_m	Intensidade máxima média de precipitação (mm/h)
I_a	Abstração inicial (mm)
I_{eq}	Declividade equivalente (m/m)
I_j	Declividade do subtrecho (m/m)
K_c	Fator de compacidade
K_f	Fator de forma
L	Comprimento axial do curso d'água principal (km)
Lc	Comprimento de cada canal fluvial ou comprimento de cada curso d'água (Km)
L_j	Comprimento do subtrecho (Km)
P	Perímetro da bacia (Km)
P	Precipitação total (mm)
P_e	Precipitação efetiva (mm)
q_p	Vazão de pico (m^3/s)
R_r	Razão de relevo
S	Máximo potencial de retenção do solo (mm)
S_c	Sinuosidade do curso d'água principal
t	Duração da precipitação (min)
t_c	Tempo de concentração (min)
t_p	Tempo de pico (h)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 25

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL RELACIONADOS AO TEMA 28

1.1.1 OBJETIVOS 32

1.1.1.1 OBJETIVOS GERAIS 32

1.1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 32

2. REVISÃO DE LITERATURA 33

2.1 Componentes do Ciclo Hidrológico 33

2.2 Bacia Hidrográfica e suas Subdivisões Hierárquicas 37

2.3 Eventos Hidrológicos e suas Implicações 39

2.4 Uso da Tecnologia e Inovação para o Controle de Enchentes e Inundações 41

2.5 Fatores Interceptadores de Águas Pluviais 43

2.5.1 Interceptação das Águas Pluviais pela Arborização Urbana 43

2.5.2 Pavimentos Permeáveis x Pavimento Asfáltico Convencional 46

2.5.3 Uso e Ocupação do Solo 48

2.6 Integração da Gestão Ambiental e dos Recursos Hídricos 50

2.6.1 Impactos do Gerenciamento da Água no Meio Urbano 54

2.7 Geotecnologias aplicadas à gestão ambiental 57

2.8 Planos Diretores de Drenagem Urbana 60

2.9 Legislação Aplicável ao Município de Três Pontas/MG quanto ao Uso e Ocupação do Solo 62

2.10 Cursos d'água na zona urbana de Três Pontas/MG 67

2.11 Desassoreamento e Limpeza de Cursos de Água 69

3. METODOLOGIA 71

3.1 Descrição da Área de Estudo 71

3.1.1 Demografia e População 71

3.1.2 Economia e Finanças 72

3.1.3 Educação 72

3.1.4 Geografia e Clima 73

3.1.5 Cultura e Patrimônio 74

3.1.6 Geologia e Hidrografia 74

3.2 Materiais e Métodos 81

3.2.1 Delimitação da microbacia hidrográfica dos Córregos Bambus/Custodinho e representação de seus trechos de drenagem 81

3.3 Caracterização fisiográfica da microbacia hidrográfica dos Córregos Bambus/Custodinho 82

3.3.1 Coeficientes da microbacia hidrográfica 82

3.3.1.1 Fator de forma (K_f) 82

3.3.1.2 Fator de compacidade (K_c) 83

3.3.2 Índices de drenagem 83

3.3.2.1 Ordem dos cursos d'água 83

3.3.2.2 Densidade de drenagem 84

3.3.2.3 Sinuosidade do curso d'água principal (S_c) 85

3.3.2.4 Extensão do Percurso Superficial (E_{ps}) 85

3.3.3 Relevo e Declividade Equivalente da Bacia 85

3.3.3.1 Razão de relevo (R_r) 85

3.3.3.2 Declividade Equivalente (I_{eq}) 86

3.4 Mapa de Solos 87

3.5 Uso e ocupação do solo 91

3.5.1 Mapa de uso e ocupação do solo 91

3.6 Análise da área de estudo e proposição de medidas 93

3.7 Modelagem hidrológica pré e pós implementação das medidas propostas 93

3.7.1 Dados de chuva 95

3.7.2 Estimativa de chuva com Tempo de Retorno (TR) de 50 anos 97

3.7.3 Modelagem hidrológica com o HEC-HMS 98

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 101

4.1 Fisiografia das microbacias hidrográficas, incluindo seus padrões de drenagem e características topográficas 101

4.2 Solos 114

4.3 Características urbanísticas das microbacias hidrográficas dos Córregos dos Bambus e Bambus/Custodinho 117

4.4 Análise do uso e cobertura do solo 119

4.5 Análise do objeto de estudo 148

4.5.1 O trecho canalizado do Córrego dos Bambus 148

4.6 Modelagem hidrológica 152

4.6.1 Cenário atual 152

4.7 Microbacia hidrográfica dos Córregos Bambus/Custodinho 152

4.7.1 Análise dos dados de chuva de acordo com o Método de Huff 153

4.7.2 Vazão de Projeto 156

4.7.2.1 Determinação das Vazões 156

4.7.2.1.1 Hidrograma unitário 156

4.7.2.2 Hietograma de projeto SCS 157

4.8 Microbacia hidrográfica do Córrego dos Bambus 160

4.8.1 Análise dos dados de chuva de acordo com o Método de Huff 160

4.8.2 Vazão de Projeto 164

4.8.2.1 Determinação das Vazões 164

4.8.2.1.1 Hidrograma unitário 164

4.8.2.2 Hietograma de projeto SCS 165

4.9 Cenários propostos 170

4.9.1 Microbacia hidrográfica dos Córregos Bambus/Custodinho 170

4.9.2 Hidrograma de projeto SCS considerando as medidas propostas para a microbacia Bambus/Custodinho 173

4.9.3 Microbacia hidrográfica do Córrego dos Bambus 180

4.9.4 Hidrograma de projeto SCS considerando as medidas propostas para a microbacia do Córrego dos Bambus (25% de adesão) 181

4.9.5 Hidrograma de projeto SCS considerando as medidas propostas para a microbacia do Córrego dos Bambus (50% de adesão) 185

4.9.6 Hidrograma de projeto SCS considerando as medidas propostas para a microbacia do Córrego dos Bambus (100% de adesão) 188

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 193

REFERÊNCIAS 196

1 INTRODUÇÃO

A maioria das cidades brasileiras sofrem com enchentes e inundações. Essas ocorrências, de forma geral, trazem grandes prejuízos, inclusive causando perdas humanas e materiais, além de provocar impacto negativo no meio ambiente (Piroli, 2022). Hodiernamente, as enchentes e as inundações representam um problema global que causa graves impactos aos moradores que vivem próximos aos rios (Cirella; Iyalomhe, 2018). Tal situação indica problemas de planejamento, gestão e manejo ambiental, principalmente das bacias hidrográficas, visto que algumas áreas claramente consideradas de risco são ocupadas (Peres, 2012; Piroli, 2022). As enchentes e as inundações podem ser causadas tanto pela ocorrência de precipitação acima do normal quanto por fatores indiretos, como o assoreamento de rios, a redução da capacidade de infiltração do solo, o estrangulamento dos leitos dos rios e o rompimento de barragens (Castro *et al*., 2003).

O ciclo hidrológico está intimamente relacionado ao clima. Portanto, mudanças climáticas que afetam o padrão de chuvas podem resultar em um aumento nos eventos hidrológicos extremos, como enchentes e períodos prolongados de seca (ANA, 2023). Dados de uma análise de atribuição feita por uma equipe internacional com mais de 20 cientistas do Brasil, Dinamarca, França, Alemanha, Holanda, Reino Unido e Estados Unidos, sob a liderança da rede World Weather Attribution, mostraram que as enormes inundações que atingiram a região Nordeste do Brasil em maio de 2022 tornaram-se mais prováveis e cerca de 20% mais intensas devido às mudanças climáticas (World Weather Attribution, 2022). No Sudeste não é diferente, o aumento das chuvas intensas em São Paulo, por exemplo, é um reflexo do agravamento das mudanças climáticas. Eventos climáticos cada vez mais frequentes e intensos são percebidos, o que evidencia a necessidade urgente de políticas públicas efetivas para lidar com essa situação no país (USP, 2023; Arruda Filho, Jacobi, 2024).

Em janeiro de 2020, no estado de Minas Gerais, Brasil, mais de 90000 pessoas foram impactadas por um evento climático extremo, que resultou em desabrigados, deslocados temporários e pessoas com problemas de saúde. As perdas econômicas ultrapassaram R$ 1,3 bilhão (USD 240 milhões), englobando danos materiais e prejuízos econômicos, tanto públicos quanto privados. Atribui-se que

aproximadamente 41% desses impactos estão relacionados às mudanças climáticas causadas por atividades humanas (Dalagnol *et al*., 2022).

Recentemente, o estado do Rio Grande do Sul enfrentou uma catástrofe decorrente do aquecimento das águas do Pacífico e do Atlântico Sul, o que concentrou e intensificou as precipitações na região. As chuvas, associadas ao fenômeno El Niño e às mudanças climáticas, devastaram o sul do Brasil (ONU, 2024). O Rio Grande do Sul sofreu a pior enchente em 80 anos, resultando na morte de centenas de pessoas e deixando milhares desabrigadas (Reuters, 2024). Estudo confirma que a tragédia foi intensificada pelas mudanças climáticas. Estima-se que a ação humana tornou a chuva 15% mais intensa e embora o El Niño e outros fenômenos tenham contribuído, suas influências foram menores que o aquecimento global (GZH Ambiente, 2024).

Cita-se ainda alguns eventos fora das fronteiras brasileiras. Recentemente, mais de 400 pessoas perderam a vida devido a inundações e deslizamentos na República Democrática do Congo. O Secretário-Geral da ONU enfatiza o impacto das mudanças climáticas em países que não são os principais responsáveis pelo aquecimento global (ONU, 2023). No Peru, as autoridades reportaram 246813 afetados e 42136 casas danificadas devido às enchentes e aos deslizamentos ocorridos desde março no País (ONU, 2023). No desastre ocorrido no Paquistão em 2022, foi estimado que meio milhão de residências foram danificadas ou destruídas, ocasião em que a maior barragem de terra do mundo atingiu seu limite máximo de retenção das águas (ONU, 2022).

Voltando à realidade brasileira, entre os 5570 municípios, 49,6% (ou seja, 2765) declararam Situação de Emergência (SE) ou Estado de Calamidade Pública (ECP) devido a cheias pelo menos uma vez no período de 2003 a 2021. Dessas cidades, cerca de 88% (2428 municípios) estão localizadas nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste (ANA, 2023).

No ano de 2021, mais de 1 milhão de pessoas foram afetadas por cheias (alagamentos, enxurradas e inundações) em todo o Brasil, de acordo com os dados disponíveis sobre danos humanos no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID) do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) (ANA, 2023). Nesse sentido, é crucial tomar medidas para reduzir o risco de enchentes e mitigar seus impactos ambientais e socioeconômicos.

Ademais, os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Águas Pluviais (SNIS-AP) 2020 revelam que a administração dos sistemas de

Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas (DMAPU) no Brasil ainda enfrenta desafios significativos em suas bases técnicas. Essa afirmação é confirmada ao constatar que, na amostra analisada, 714 municípios (17,4%) possuem Plano Diretor de Drenagem (PDD) e 1430 municípios (34,8%) possuem cadastro técnico de obras lineares. No entanto, dos municípios com PDD, 69 (9,7%) não possuem cadastro técnico. Essas informações indicam a existência de ambientes de planejamento e gestão de DMAPU ainda em estágios iniciais de desenvolvimento. No país, apenas 388 (40,2%) e 182 (18,8%) dos municípios críticos possuem cadastro técnico e Plano Diretor de DMAPU, respectivamente.

Os fatores que contribuem para essa condição no país são vários, como o crescimento acelerado da zona urbana que gera grande impermeabilização do solo, dificultando a infiltração da água das chuvas e, consequentemente, aumentando o coeficiente de *runoff* (escoamento superficial). Em outras palavras, a mudança sem levar em consideração os limites de resiliência do ambiente, interfere no ciclo hidrológico, especialmente na infiltração da água das chuvas (Tucci *et al*., 1995; Tundisi, 2011).

O resultado disso é o aumento do volume de água que escorre superficialmente e a diminuição da infiltração nos locais próximos. Sendo assim, a água escoa para regiões mais distantes, contribuindo com o desabastecimento do lençol freático e reduzindo o volume de água disponível que abasteceriam as nascentes. Além disso, quando o solo é manejado de forma inadequada, ele está sujeito a intensos processos de degradação, incluindo compactação, impermeabilização, erosão, entre outros. Esses fatores contribuem para o aumento do escoamento superficial, o que, por sua vez, pode resultar em processos erosivos e assoreamento dos corpos d’água (Piroli, 2022).

Para mitigar os impactos decorrentes da baixa permeabilidade do solo em áreas urbanas, torna-se essencial a adoção de estratégias que busquem restaurar, ainda que parcialmente, a capacidade original de retenção das águas pluviais. Essa recuperação pode ser viabilizada por meio do aumento da capacidade de infiltração do solo ou pela implementação de sistemas que favoreçam a acumulação controlada dessas águas em regiões urbanizadas (Londe *et al*., 2014). Quando a mata ciliar ao longo das áreas de proteção dos córregos é recuperadas, as enchentes e transbordamentos tendem a diminuírem, contribuindo para a drenagem urbana, ao contrário do que acontece quando os cursos d’água são canalizados ou quando se

impermeabiliza faixa da área de preservação permanente, por exemplo, com ruas e avenidas (Constantino, 2014).

As soluções baseadas na natureza (SbN) têm se mostrado eficientes na adaptação das cidades à crise climática, mitigando desastres como enchentes. Iniciativas como parques lineares e jardins de chuva aumentam a resiliência urbana, gerando benefícios ambientais, sociais e econômicos. No entanto, a aplicação das SbN geralmente depende de políticas e regulamentações institucionais que incentivem ou exijam sua implementação. Nesse contexto, as medidas preventivas mais eficazes para mitigar enchentes são, em grande parte, de caráter institucional, ressaltando a importância de uma atuação coordenada dos órgãos responsáveis para garantir sua efetividade (Oliveira *et al*., 2023).

A ação e fiscalização por parte dos órgãos responsáveis, em nível estadual e municipal, quanto ao uso e ocupação do solo, à gestão dos recursos hídricos e à aplicação da legislação vigente, constituem um ponto de partida importante para enfrentar esse problema (Bertone; Mello, 2008; Carneiro *et al*., 2008). Além disso, políticas públicas que promovam o crescimento urbano planejado fora de áreas de ocupação restrita, como encostas e planícies de inundação, podem contribuir significativamente para a solução dessa questão (Silva *et al*., 2017).

Por outro lado, medidas reativas são essenciais, principalmente quando se trata de cidades sem planejamento urbano adequado. As medidas para o controle da inundação podem ser de dois tipos: estruturais – intensivas ou extensivas – e não estruturais. As medidas estruturais referem-se à alteração do sistema fluvial para prevenir danos causados por enchentes, enquanto as medidas não-estruturais envolvem a redução dos prejuízos através de uma melhor adaptação da população às enchentes (Bertoni; Tucci, 2003; 2020).

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL RELACIONADOS AO TEMA

A área selecionada para o estudo, situada na região centro-norte do Município de Três Pontas e no sudeste do Estado de Minas Gerais, enfrenta desafios significativos de enchentes decorrentes de uma combinação de fatores geográficos, ambientais e de desenvolvimento urbano. A geografia da área, caracterizada por uma

linha de drenagem curta e um formato achatado/arredondado, resulta em um escoamento mais rápido da água durante chuvas intensas, elevando o risco de enchentes. Isso também implica um tempo de concentração mais curto, atingindo a vazão de pico em menor tempo. Na zona rural da microbacia, devido à renovação das lavouras, especialmente de café, por vezes, o solo fica exposto, propiciando processos erosivos e consequente assoreamento dos corpos d'água (SAAE, 2009; Três Pontas, 2021).

Já na zona urbana, depara-se com inúmeras intervenções que envolvem movimentação de terra as quais acarretam solo exposto e áreas desprotegidas. Essas intervenções consistem principalmente em construções de galpões industriais e de residências, manilhamento para recepção das águas pluviais e execução de outras obras. No entanto, em ambas as zonas se percebe falta de mata ciliar e áreas de preservação permanente degradadas (Três Pontas, 2021). Resolver esses problemas traria benefícios substanciais. A implementação de práticas agrícolas sustentáveis e a conservação do solo poderiam reduzir a erosão e o assoreamento, melhorando a qualidade das águas e a biodiversidade local. No contexto urbano, um planejamento eficiente e a adoção de infraestruturas verdes, como áreas permeáveis e corredores ecológicos, aumentariam a capacidade de absorção de água, reduzindo significativamente o risco de enchentes. Além disso, a reabilitação de áreas de preservação e a reintrodução de mata ciliar nas margens dos rios aumentariam a resiliência da região contra eventos extremos relacionados ao clima. Isso não só protegeria a infraestrutura e propriedades, mas também melhoraria a qualidade de vida da população, reduzindo riscos à saúde e potencializando o bem-estar comum.

Na ocupação histórica de Três Pontas/MG, observa-se que grande parte da cidade foi construída nos vales, próximo a corpos d'água. Com o decorrer dos anos, a cidade cresceu e, com a falta de planejamento da expansão urbana, a ocupação desses lugares acentuou os riscos causados por chuvas intensas. Em eventos de alta pluviosidade, ao chegar aos pontos mais baixos do relevo em Três Pontas/MG, especificamente no entroncamento da Av. Ipiranga com a Av. Oswaldo Cruz até a interseção da Av. Oswaldo Cruz com a Rua Boa Esperança, a água que não infiltrou ou foi retida acaba causando enchentes e inundações (Três Pontas, 2021). Essas ocorrências afetam a comunidade, impactando suas atividades, saúde e, em casos extremos, colocando vidas em risco.

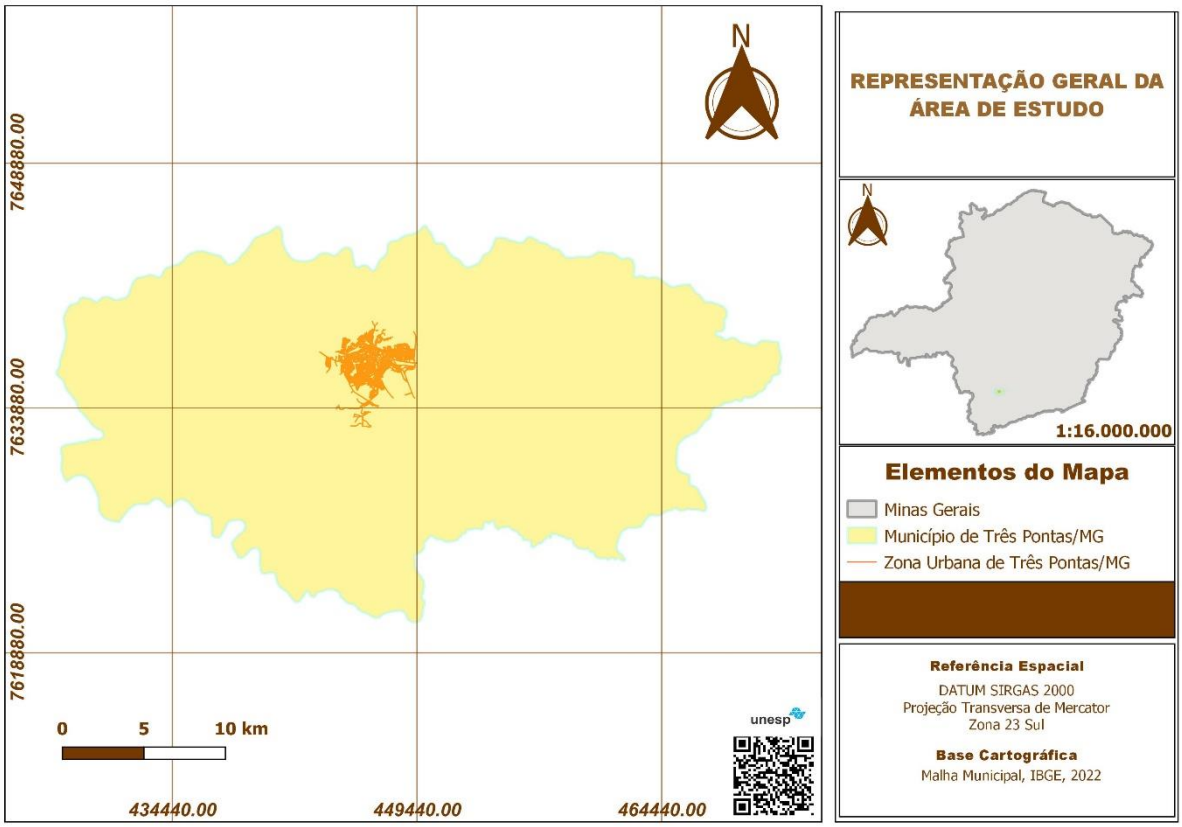
A microbacia, que apresenta registros de enchentes e inundações, bem como evidências de ações antrópicas, como os eventos ocorridos em março de 2021, ocasião em que uma criança de 3 anos foi arrastada e morta por causa de uma enchente, e outro ocorrido em dezembro de 2020, ocasião em que a chuva provocou estragos em várias residências e hotéis da cidade, gerando prejuízos estimados em mais de meio milhão de reais, foi escolhida como estudo de caso para explorar alternativas técnicas de mitigação desses eventos.

Essas soluções servirão de base para outras microbacias, já que muitas cidades enfrentam situações semelhantes, com uso e ocupação do solo desordenados, ocupação antrópica das áreas de várzea e impermeabilização da bacia, além da falta de dados sobre a rede de drenagem e o curso d'água. Tudo isso é agravado pela limitação de recursos técnicos e humanos.

Nesse contexto, a iniciativa busca alinhar-se e contribuir efetivamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Especificamente, volta-se para o ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis. Dentro deste escopo, destaca as metas 11.3, voltada para o aumento da urbanização inclusiva e sustentável e fortalecimento do planejamento de assentamentos humanos até 2030; 11.5, que visa reduzir o impacto de catástrofes até 2030; e 11.b, aspirando a ampliação de cidades com políticas de inclusão, eficiência de recursos, mitigação às mudanças climáticas, e resiliência a desastres até 2020.

A iniciativa também evidencia o comprometimento com o ODS 15 - Vida Terrestre, destacando as metas 15.1, voltada para a conservação, recuperação e uso sustentável de ecossistemas terrestres e de água doce até 2020; 15.2, focada na gestão sustentável de florestas; e 15.3, com a proposta de combate à desertificação e restauração de terras e solos degradados até 2030. Adicionalmente, engloba diretrizes do ODS 13 - Ação contra a Mudança Global do Clima, ressaltando as metas 13.1, de reforço à resiliência e capacidade de adaptação a riscos climáticos até 2030, e 13.3, de ampliação da educação e conscientização sobre mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Por fim, conecta-se ao ODS 6 - Água Potável e Saneamento, contemplando a meta 6.6, de proteção e restauração de ecossistemas aquáticos até 2020; e a meta 6.a, de expansão da cooperação internacional e apoio à capacitação em gestão de água e saneamento para países em desenvolvimento até 2030 (UN, 2015). A seguir, apresenta-se a Figura 1, que fornece uma visão geral da área de estudo.

Figura 1 – Representação geral da área de estudo



Fonte: Autoria própria.

1.1.1 Objetivos

1.1.1.1 Objetivos Gerais

O estudo tem como objetivo propor um conjunto de alternativas, pautadas em soluções baseadas na natureza, que podem ser usadas para mitigar riscos de inundações em microbacias urbanas, utilizando como estudo de caso a microbacia dos Córregos Bambus/Custodinho, no município de Três Pontas/MG.

1.1.1.2 Objetivos Específicos

1. Analisar a fisiografia das microbacias hidrográficas, incluindo os padrões de drenagem e características topográficas, para compreender seus comportamentos hidrológicos;

2. Analisar as características urbanísticas das microbacias hidrográficas;

3. Propor a implementação de medidas estruturais, com ênfase especial nas práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (Low Impact Development - LID) e nas medidas extensivas, para reduzir o escoamento superficial e melhorar a gestão de águas pluviais e recomendar a adoção de medidas não estruturais para prevenir enchentes e minimizar seus impactos nas microbacias urbanas;

4. Executar uma simulação hidrológica, tanto pré quanto pós-implementação das medidas propostas, com o intuito de avaliar sua eficácia.

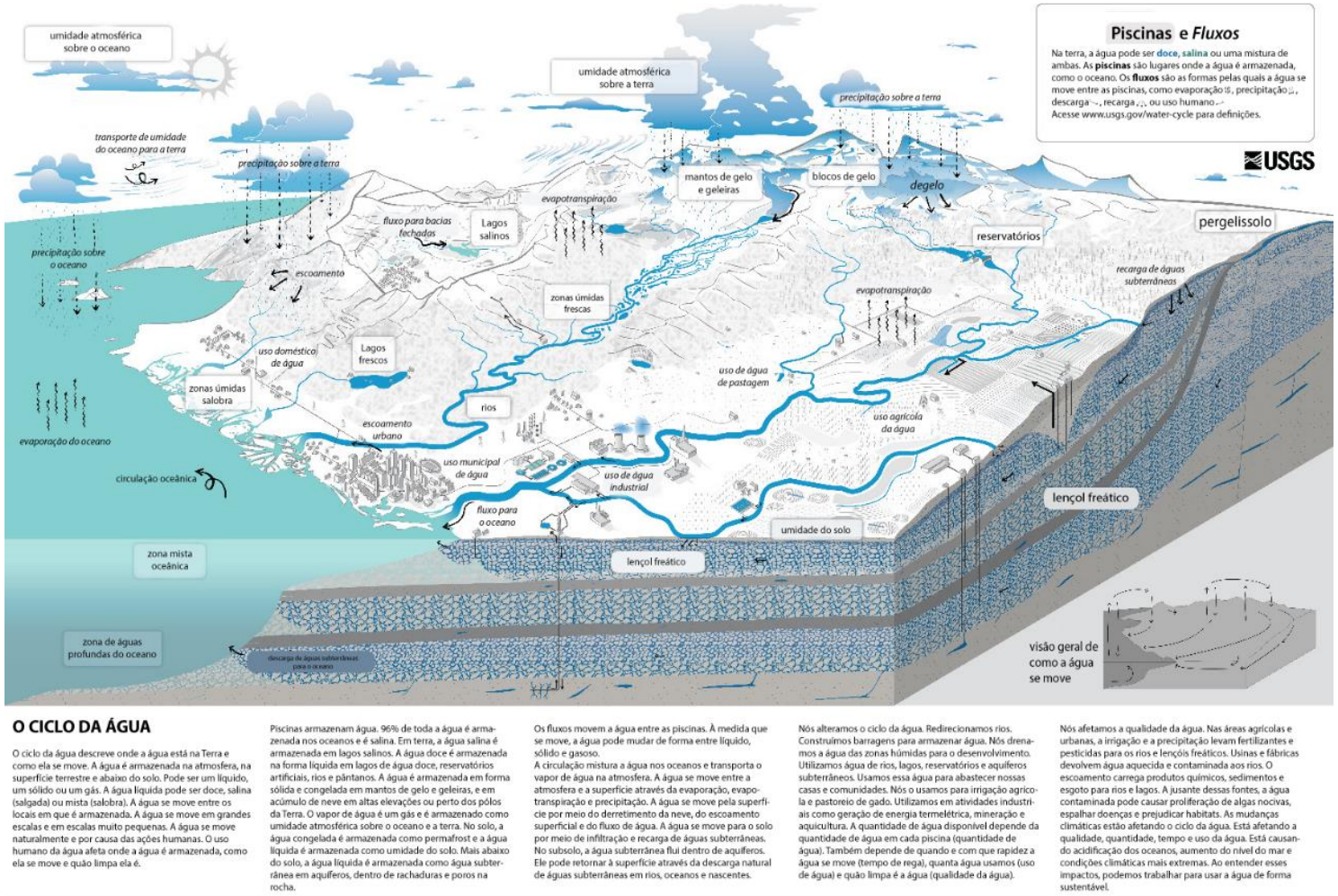
2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 COMPONENTES DO CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico descreve onde a água está na Terra e como ela se move. A água é armazenada na atmosfera, na superfície terrestre e no subsolo, podendo ser encontrada na fase sólida, líquida ou gasosa. Ela se move em grandes ou pequenas escalas, entre os lugares onde é armazenada, naturalmente e por causa das ações humanas, sendo o seu armazenamento, movimento, quantidade e qualidade afetado pelo seu uso (USGS, 2022).

O ciclo da água inicia-se da interação da energia solar com os mais diversos tipos de superfícies, dentre elas os corpos d'água e as florestas. A partir dessa interação, moléculas de água sofrem o processo de evaporação e ascendem na atmosfera. Após, os vapores d'água presentes na atmosfera condensam, sendo, por vezes, deslocados pelas correntes de ar para regiões onde há diferença de temperatura e pressão, que criam condições para a formação de chuvas (Pinto, 1973; Ward, 2000; OKI, 2006). Destaca-se que a principal transferência de água da atmosfera para a superfície terrestre é a precipitação (Tucci, 2020). A água da chuva possui vários caminhos, alguns deles preferenciais, ela pode escoar superficialmente, se infiltrar no solo, evaporar e retornar para a atmosfera, sendo o retorno dado principalmente pela evaporação dos corpos d'água, pela transpiração das plantas e de outros seres vivos e pela evaporação dos solos (Pinto, 1973; Ward, 2000; Oki, 2006). A seguir, dispõe-se da Figura 2 representativa do ciclo hidrológico.

Figura 2 – Representação do ciclo hidrológico



Fonte: Adaptado de USGS (2022).

O escoamento ocorre quando o excesso de água extrapola a capacidade de infiltração do solo. Quando o escoamento ocorre sobre o solo, pode causar erosão e parte do material é transportado para áreas mais baixas. O excesso de líquido flui pela superfície do solo e alimenta a vazão de cheia dos córregos e rios (RENNÓ; BORMA, 2017). Os fatores que influenciam o escoamento podem ser:

A) Climáticos

- Duração das chuvas;
- Intensidade das chuvas;
- Umidade antecedente do solo.

B) Fisiográficos

- Área da bacia hidrográfica;
- Forma da bacia hidrográfica;
- Declividade da bacia hidrográfica;
- Permeabilidade do solo.

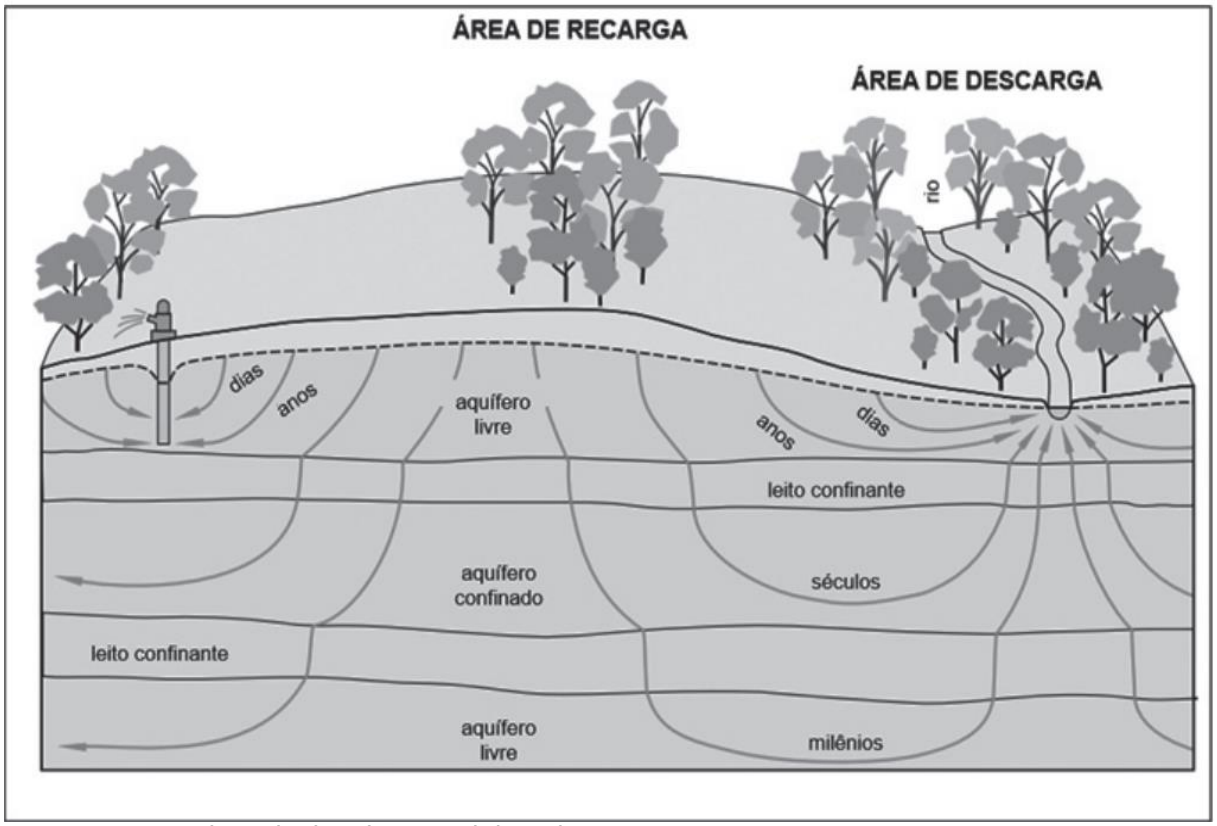
C) Uso da terra

- Cobertura vegetal;
- Superfícies impermeáveis.

Por sua vez, a infiltração também é amplamente estudada em hidrologia e ciências do solo. Trata-se do processo pelo qual a água na superfície do solo é absorvida para as camadas inferiores. A capacidade de infiltração é influenciada pelo tipo de solo e sua cobertura vegetal, sendo que solos mais arenosos tendem a infiltrar mais água do que solos argilosos. No entanto, áreas com pavimentação e construções urbanas perdem a capacidade de infiltração de água na sua superfície, tornando a manutenção de áreas verdes nas cidades um aspecto importante para preservar a capacidade de infiltração. Acredita-se que, para combater a baixa permeabilidade do solo nas cidades, devem ser buscadas formas de recuperar, ao menos em parte, a capacidade original de retenção das águas da chuva na região urbanizada, o que pode ser feito aumentando a capacidade de infiltração ou criando mecanismos de acumulação dessas águas (Rennó; Borma, 2017).

Ademais, é de fundamental importância para o entendimento do ciclo hidrológico conhecer a relação que existe entre as águas subterrâneas e os corpos hídricos superficiais (Manzione, 2015). As águas subterrâneas e as superficiais fazem parte de um único ciclo hidrológico (Winter *et al*., 1998). Em aproximadamente 90% do território brasileiro, os fluxos de base advindos dos aquíferos alimentam os rios, mantendo-os perenes mesmo nos períodos secos (Manzione, 2015). Teoricamente, o relevo pode ser dividido em áreas de recarga e áreas de descarga de águas subterrâneas. A seguir dispõe-se da Figura 3, referente às zonas de recarga de águas subterrâneas e possíveis fluxos.

Figura 3 – Zonas de recarga e fluxos



Fonte: Adaptado de Winter *et al*. (1998).

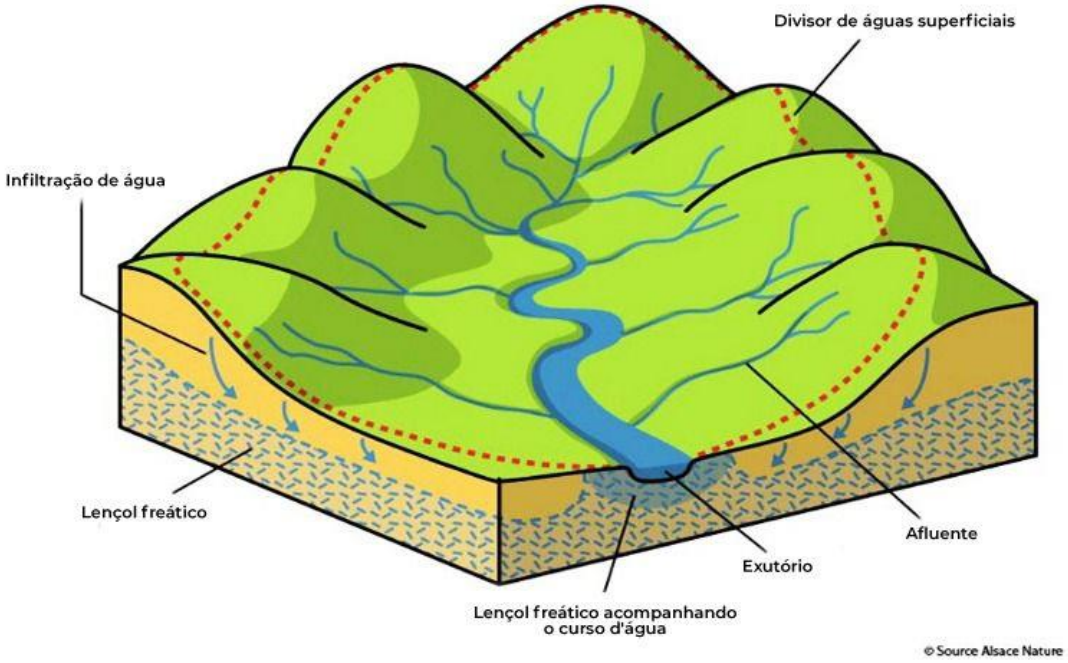
Então, a reposição das águas no solo, nos aquíferos, nas nascentes e nos córregos dependem do ciclo hidrológico que, modificado de alguma maneira, reflete na disponibilidade hídrica nos diversos locais (PIROLI, 2022). Por fim, o ciclo hidrológico só é fechado em nível global, uma vez que volumes de água que sofrem evaporação em determinado local do planeta, não necessariamente precipitam no mesmo local, devido a movimentos contínuos, dinâmicas diferentes, tanto na atmosfera, quanto na superfície terrestre (Tucci, 2020).

O ciclo hidrológico e a bacia hidrográfica estão intrinsecamente conectados no que diz respeito ao gerenciamento e à compreensão dos recursos hídricos. Como pode ser visto, o ciclo hidrológico descreve a contínua circulação de água na Terra, passando pelos processos de evaporação, transpiração, condensação, precipitação e escoamento superficial/subterrâneo. Por outro lado, uma bacia hidrográfica é uma área geográfica que drena toda a precipitação recebida como escoamento superficial e escoamento subterrâneo para um ponto comum. A dinâmica da bacia hidrográfica é fortemente influenciada pelo ciclo hidrológico, pois as entradas, saídas e o armazenamento de água na bacia são determinados pelos componentes do ciclo hidrológico. Dessa forma, a bacia hidrográfica atua como um sistema integrador dos diferentes processos do ciclo hidrológico, refletindo a interdependência desses dois conceitos fundamentais em hidrologia.

2.2 BACIA HIDROGRÁFICA E SUAS SUBDIVISÕES HIERÁRQUICAS

Apesar dos termos bacia, sub-bacia e microbacia serem usados indistintamente em diversas situações, tendo, inclusive, dificultado o entendimento entre as mais diversas áreas do setor, deve-se considerar a hierarquização natural que existem entre eles (PIROLI, 2022). A bacia hidrográfica é uma área natural de captação das águas pluviais, que direciona o escoamento superficial para um único ponto de saída, denominado exutório. É composta por superfícies vertentes e uma rede de drenagem formada por diversos cursos d'água interconectados, que convergem gradualmente até desaguar no canal principal no ponto de exutório (Figura 4) (Tucci, 1997; 2020).

Figura 4 – Representação de uma bacia hidrográfica



Fonte: Adaptado de Sage Cher Aval (2022).

A bacia hidrográfica deve ser vista como uma unidade básica para análise ambiental, permitindo conhecer e avaliar seus diversos componentes e os processos e interações que ocorrem (Braz *et al*., 2020). No Brasil, a bacia hidrográfica consiste na unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (PNRH, 1997). As bacias podem ser classificadas em: naturais (constituídas por vegetação nativa, com pouca ou nenhuma influência antrópica); rurais (inseridas em áreas cuja atividade principal é a agricultura, pecuária etc.); urbanas (localizadas em áreas urbanizadas) e a análise conjunta dos elementos fisiográficos de uma bacia hidrográfica é chamada de análise morfométrica (Taveira, 2018).

Cada bacia hidrográfica pode ser subdividida em sub-bacias, que estão relacionadas à área com drenagem direta no curso principal da bacia, podendo alcançar aproximadamente 700 km² (Faustino, 1996). No entanto, Rocha (1991) argumenta que a sub-bacia tem o mesmo significado de bacia com deságue em outro rio, sendo que suas dimensões podem variar entre 200 e 3000 km². Independente da

dimensão, chega-se à conclusão de que uma sub-bacia é parte integrante de uma bacia hidrográfica (Piroli, 2022).

Por sua vez, as microbacias compõem uma sub-bacia. Segundo Faustino (1996), uma microbacia tem uma área de até 100 km², e é caracterizada pela área de drenagem direta no curso principal de uma sub-bacia. Rocha (1991) argumenta que uma microbacia nunca é maior do que 200 km². Lima e Zakia (2000b) acrescentam que a microbacia é uma pequena área de drenagem altamente sensível às chuvas intensas e às diferenças de uso e ocupação do solo.

A gestão da água em todas essas unidades hidrográficas é desafiadora. É notável o crescente aumento dos conflitos pelo uso da água, devido a problemas demográficos, geográficos e políticos na distribuição de água no território brasileiro (Rossi; Santos, 2018; Ribeiro *et al*., 2019). Além disso, a interferência no ciclo hidrológico e as variações nos modos de apropriação da água pela sociedade aumentam a complexidade. Nesse sentido, a gestão e o planejamento adequados das bacias, sub-bacias e microbacias hidrográficas são de extrema relevância.

A bacia hidrográfica, enquanto unidade geográfica fundamental que recebe e canaliza a precipitação para um corpo de água comum, está intrinsecamente ligada à ocorrência e gestão de eventos hidrológicos. Alterações humanas, como desmatamento, urbanização não planejada e agricultura intensiva na bacia hidrográfica, podem aumentar a vulnerabilidade a eventos hidrológicos, incluindo inundações, erosão do solo, deslizamentos de terra e poluição da água. Esses eventos podem alterar drasticamente o ecossistema da bacia, impactando tanto a biodiversidade quanto os serviços ecossistêmicos, como o abastecimento de água e a produção de alimentos. Portanto, o manejo adequado da bacia hidrográfica é essencial para a prevenção e mitigação de desastres ecológicos e para a sustentabilidade dos ecossistemas.

2.3 EVENTOS HIDROLÓGICOS E SUAS IMPLICAÇÕES

No Brasil, os desastres são classificados. Por exemplo, para o grupo Hidrologia, existem três subgrupos que, segundo a Codificação Brasileira de Desastres - COBRADE (2013) são:

> *"Inundações: submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O*

> *transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície;*
>
> *Enxurradas: escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado. Caracterizada pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial. Apresenta grande poder destrutivo;*
>
> *Alagamentos: Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas* (Cobrade, 2013, p.2, grifo nosso)*."*

A respeito dos termos enchentes e inundações, é importante ressaltar que Suguio (1998, p. 266) define enchente, equivalente a inundação, como o transbordamento de água de leitos fluviais e canais artificiais para terras baixas próximas, geralmente causado por precipitação excessiva e ocorrendo anualmente ou a cada dois a três anos. Tucci, Hespanhol e Cordeiro Netto (2001, p. 70) abordam os termos enchente e inundação de maneira indistinta, sugerindo um tratamento sinônimo desses conceitos. Já Villela e Mattos (1975, p. 138) diferenciam enchente, definida por vazões grandes de escoamento superficial, da inundação, que é o extravasamento de água do canal. Enfatizam que enchentes podem não causar inundações se houver medidas de controle, mas inundações podem ocorrer devido a obstruções no canal, independentemente da magnitude do escoamento.

É essencial compreender as características distintas das enchentes e enxurradas para melhorar a gestão de riscos e implementar medidas adequadas de prevenção e resposta. O conhecimento sobre a extensão das bacias, o ritmo das enchentes, o padrão das chuvas e a antecedência dos alertas desempenham um papel crucial na mitigação dos danos causados por esses eventos naturais. As enchentes geralmente ocorrem em grandes bacias, nas áreas adjacentes ao rio, de forma mais lenta, na maior parte dos casos de maneira sazonal, sendo resultado de chuvas prolongadas e podendo causar grandes danos totais. Os alertas emitidos em situações de enchentes normalmente se dão com muita antecedência. Por outro lado, as enxurradas ocorrem em bacias menores, de forma rápida, podendo acontecer em qualquer época do ano, sendo frequentemente resultado de chuvas convectivas. São mais intensas, porém de menor duração, podendo causar danos proporcionais maiores em relação à extensão do impacto. Os alertas para enxurradas são emitidos

com pouco tempo de antecedência, o que limita a margem de preparação para as comunidades (Kobiyama, 2014).

Os eventos hidrológicos, como as enchentes e inundações, representam sérias ameaças tanto para as populações humanas quanto para os ecossistemas, necessitando de estratégias eficazes para sua mitigação. Entre as técnicas para a redução de enchentes e inundações, destacam-se o manejo adequado da bacia hidrográfica, com a preservação de áreas de absorção de água como florestas e áreas úmidas, e a implementação de infraestruturas de controle, como reservatórios de detenção e sistemas de drenagem eficientes. Além disso, o planejamento urbano consciente, incluindo a construção fora das áreas de alto risco de inundação e a utilização de pavimentos permeáveis, pode contribuir significativamente para a redução dos impactos das inundações. Portanto, a associação de várias estratégias pode atuar de forma sinérgica na mitigação dos desastres hidrológicos.

2.4 USO DA TECNOLOGIA E INOVAÇÃO PARA O CONTROLE DE ENCHENTES E INUNDAÇÕES

As medidas estruturais, de forma geral, referem-se à alteração do sistema fluvial para prevenir danos causados por enchentes e inundações. As medidas estruturais extensivas são definidas como aquelas que modificam os processos de chuva-vazão na bacia hidrográfica, implementando-se ao longo de sua extensão, incluindo o controle de cobertura vegetal e da erosão do solo (Tucci, 2020).

Já as medidas estruturais intensivas são definidas como obras de engenharia implementadas com o objetivo de mitigar os riscos de inundações. Essas obras podem ser classificadas em três tipos, dependendo de sua função específica: i) aceleração do escoamento, que inclui diques e canalizações para aumentar a capacidade de descarga dos rios e eliminar meandros; ii) retardamento do escoamento, que engloba reservatórios e bacias de amortecimento para reduzir a velocidade do fluxo de água; iii) desvio do escoamento, que abrange canais de desvio para direcionar o fluxo de água em rotas alternativas (Tucci, 2020).

Por sua vez, as medidas não estruturais envolvem a redução dos prejuízos através de uma melhor adaptação das cidades e da população às enchentes e inundações (Bertoni; Tucci, 2003). Como exemplo, pode-se citar: I) a regulação do

uso da terra e controle da ocupação em áreas suscetíveis a inundação; II) construções à prova de enchentes e implementação de medidas de proteção para reduzir danos em edifícios localizados em zonas inundáveis; III) seguro contra inundação, fornecendo proteção financeira contra possíveis perdas; IV) sistemas de previsão e alerta de enchentes, que envolvem a coleta em tempo real de dados de precipitação e vazão, transmissão para um centro de processamento, previsão de enchentes por meio de modelos matemáticos e planos de ação da Defesa Civil (ou instituições similares), com medidas de proteção individual e comunitária para minimizar os danos causados por uma inundação (Tucci, 2020).

As Soluções Baseadas na Natureza (SbN) representam uma abordagem estratégica que incorpora o aproveitamento de processos e sistemas ecológicos para abordar desafios ambientais, sociais e econômicos contemporâneos. Estas soluções envolvem a utilização consciente de ecossistemas saudáveis e suas funções inerentes para mitigar impactos adversos, promover a resiliência ambiental e oferecer benefícios sustentáveis para a humanidade. Dentro deste paradigma, as SbN são reconhecidas como uma metodologia inovadora, incentivando entidades governamentais, instituições acadêmicas e científicas, o setor privado e a sociedade civil a repensar e reformular a integração do capital natural no desenvolvimento de políticas públicas, estratégias de planejamento urbano e rural, e práticas de gestão de recursos. Além disso, enfatiza-se a importância de preservar e enriquecer a biodiversidade, assim como melhorar a qualidade de vida e o bem-estar das populações, alinhando-se aos objetivos de desenvolvimento sustentável (Eggermont, 2015).

Em outras palavras, Soluções Baseadas na Natureza (SbN) referem-se a um conjunto abrangente de práticas e tecnologias inspiradas em sistemas e processos naturais. Este conceito, promovido pela União Europeia, abarca estratégias que replicam ou potencializam funções ecológicas para enfrentar desafios ambientais e urbanos. Inclui a implementação de Infraestrutura Verde (IEV), Técnicas Compensatórias (TC), práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (Low Impact Development – LID), além de adotar as Melhores Práticas de Manejo (MPM), visando a sustentabilidade e a resiliência dos ecossistemas (USP, 2024).

Nos períodos recentes, têm sido apresentadas alternativas de medidas estruturais intensivas que diferem das abordagens convencionais, as denominadas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (Low Impact Development - LID). O LID trata-

se de uma abordagem de gestão e conjunto de práticas que podem reduzir o escoamento e a carga de poluentes, gerenciando o escoamento o mais próximo possível de suas fontes. Isso inclui práticas individuais de gerenciamento de águas pluviais em pequena escala (práticas isoladas de LID) que promovem o uso de sistemas naturais para infiltração, evapotranspiração e captação e uso de água da chuva. Embora as práticas isoladas de LID possam remover poluentes e reduzir o fluxo prejudicial de águas pluviais (volume e velocidade), abordagens holísticas maximizam esses benefícios (EPA, 2012).

Muitos municípios atualmente veem o Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID), também conhecido por infraestrutura verde de águas pluviais, como essencial para a gestão de escoamentos. O LID utiliza solos, vegetação e outros recursos para a captação, filtração e infiltração de águas pluviais *in situ*. Entretanto, a adoção generalizada de práticas de LID, incluindo jardins de chuva e valas vegetadas, é frequentemente impedida por códigos de obras locais complexos e ultrapassados. Uma revisão detalhada desses códigos poderia simplificar a incorporação do LID, adaptando-os para aceitar tais práticas vegetativas. No entanto, a complexidade e evolução constante dos códigos locais, por vezes, limitam a implementação do LID, particularmente quando não consideram práticas vegetativas como jardins de chuva elementos obrigatórios em projetos de desenvolvimento. Esse cenário pode desestimular os empreendedores a incluírem o LID, devido a possíveis aumentos de custos e atrasos (EPA, 2021).

2.5 FATORES INTERCEPTADORES DE ÁGUAS PLUVIAIS

2.5.1 Interceptação das Águas Pluviais pela Arborização Urbana

A arborização urbana desempenha um papel crucial na interceptação das águas pluviais, contribuindo significativamente para o controle de enchentes (XIAO & MCPHERSON, 2003; BERLAND *et al*., 2017). As árvores urbanas agem como barreiras naturais, interceptando a precipitação em suas folhas e ramos, o que reduz o volume de água que atinge diretamente o solo e, consequentemente, diminui o escoamento superficial. Além disso, as raízes das árvores aumentam a permeabilidade do solo, promovendo a infiltração da água e minimizando a formação de fluxos de água que podem resultar em inundações. Dessa forma, a arborização

urbana, ao desempenhar um papel crucial na interceptação das águas pluviais, é uma estratégia eficaz de controle de enchentes, promovendo a gestão sustentável das águas urbanas.

A interceptação da água da chuva é um processo que ocorre primeiramente nas copas das árvores, onde, momentaneamente, parte da água fica retida, sendo que outra escoa pelo tronco e outra é evaporada para a atmosfera (Arcova; Cicco; Rocha, 2003). Incorporar árvores no ambiente urbano pode trazer redução significativa da sobrecarga dos sistemas de drenagem, melhorando a infiltração das águas pluviais e, consequentemente, reduzindo a velocidade delas (Trowbridge; Bassuk, 2004). É válido ressaltar que, dependendo do tamanho e da espécie, uma única árvore pode armazenar 100 galões ou mais pelo menos até atingir a saturação depois de cerca de uma ou duas polegadas de chuva (Fazio, 2012). O papel das árvores na retenção de águas pluviais e seus benefícios para a saúde pública e os orçamentos municipais merece maior apreciação. É mais uma razão pela qual o plantio e cuidado das árvores em nossas comunidades é de importância crítica.

Em 1996, pesquisadores da UC-Davis e do Serviço Florestal do USDA conduziram uma análise pioneira sobre o impacto das árvores na retenção de água da chuva em áreas urbanas, com foco no potencial de árvores individuais. Foram desenvolvidas metodologias e modelos matemáticos para prever a quantidade de água interceptada por folhas e cascas, considerando fatores como estrutura da árvore, intensidade da chuva e características físicas. Esses resultados foram posteriormente integrados à suíte de programas de software i-Tree, que fornece avaliações empíricas dos benefícios das árvores urbanas e orientações baseadas em evidências para o plantio e manejo sustentável (Fazio, 2012).

Já em 2007, uma série de softwares começaram a ser lançados para ajudar a quantificar as contribuições das árvores urbanas e servir como um guia moderno em sua gestão. Vários desses auxílios esclarecem o valor das árvores na redução do escoamento de chuva (Fazio, 2012). As ferramentas Green Values Calculator (Center for Neighborhood Technology) (Gallet, 2011) e i-Tree Streets (anteriormente STRATUM) (Roy; Byrne; Pickering, 2012) usam valores de interceptação que assumem que todas as espécies de árvores têm uma capacidade de armazenamento de 1,0 mm em suas copas (Berland; Hopton, 2014).

Com o objetivo de diminuir a quantidade de água que escoa superficialmente em áreas urbanas densamente povoadas, estudos mostram que a arborização urbana

pode ser uma alternativa viável. Portanto, é importante reconhecer a relevância das árvores, já que elas oferecem benefícios para o gerenciamento das águas pluviais da cidade (Xiao; Mcpherson, 2011).

A interceptação pelas copas das árvores é fundamental no ciclo hidrológico urbano, pois contribui para redistribuir a água de chuva, amortecer, direcionar e reter as águas que atingem a superfície do solo. Esse processo beneficia a dinâmica do escoamento superficial e o processo de infiltração, tornando-se um componente importante na gestão das águas pluviais urbanas (Balbinot *et al*., 2008; Wang; Endreny; Nowak, 2008).

Em estudo realizado na cidade de Caieiras, São Paulo, ficaram demonstrados os impactos positivos das árvores na interceptação das águas pluviais no ambiente urbano. A precipitação interna média, que se refere à quantidade média de água da chuva que, após passar pelas copas das árvores, atinge o solo diretamente sob elas, variou entre as espécies analisadas. A *Alchornea triplinervea* (Spreng.) Müll. Arg. (Tapiá) apresentou uma precipitação interna média de 49,13%, o que significa que cerca de metade da água da chuva ultrapassa a copa e chega ao solo. Já a *Peltophorum dubium* apresentou uma precipitação interna média de 32,17%, enquanto a *Tabebuia heptaphylla*, atualmente classificada como *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos - APG IV, 2016, teve uma precipitação interna média de 34,38% (Silva; Santos, 2018). Esses valores refletem a capacidade variável de interceptação de chuva entre as diferentes espécies, influenciando o escoamento e a retenção hídrica no ambiente urbano.

Já em outra pesquisa realizada na área urbana da cidade de Uruaçu, Goiás, Brasil, três indivíduos de espécies diferentes foram estudados, a saber: *Mangifera indica* (mangueira); *Tabebuia ochracea* (ipê-amarelo); e *Licania tomentosa* (oiti), sendo estas duas últimas amplamente utilizadas na arborização urbana, inclusive da cidade de Três Pontas/MG, objeto do presente estudo. A redução de escoamento ocasionada pela presença dos indivíduos arbóreos foi, em solo impermeabilizado, na ordem de 5,6 mm/min, 4,6 mm/min e 3,8 mm/min para *Tabebuia ochracea*, *Mangifera indica* e *Licania tomentosa*, respectivamente, e em solo permeável e semipermeável, de 0,2 mm/min para *Tabebuia ochracea* e *Mangifera indica L*. e, de 0,1 mm/min para *Licania tomentosa* (Alves, 2019).

Ainda em uma outra pesquisa, foi constatado que para cada acréscimo de 10% na área impermeável, há um aumento de cerca de 100% no volume de escoamento

superficial e no coeficiente de escoamento de cheias. Esses resultados comprovam a importância da vegetação e da cobertura do solo na gestão das águas pluviais urbanas (Verbeiren, 2013; Gumindoga, 2014).

2.5.2 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS X PAVIMENTO ASFÁLTICO CONVENCIONAL

Além da arborização urbana, a utilização de pavimentos permeáveis em comparação com os impermeáveis tem um impacto significativo no controle de enchentes. Pavimentos permeáveis, como blocos de concreto permeável e pavimentos de grama, permitem a infiltração da água da chuva no solo, reduzindo o escoamento superficial e diminuindo a pressão sobre os sistemas de drenagem urbanos. Por outro lado, pavimentos impermeáveis, comuns em áreas urbanas, impedem a infiltração da água, contribuindo para o aumento do escoamento superficial e do volume de água que deve ser administrado pelos sistemas de drenagem, o que pode levar a inundações em eventos de chuva intensa. Portanto, a adoção de pavimentos permeáveis pode ser uma estratégia eficaz para o controle de enchentes em ambientes urbanos.

A utilização do pavimento asfáltico permeável tem sido cada vez mais explorada como uma alternativa para problemas de drenagem urbana e redução de enchentes. Além de auxiliar na gestão sustentável das águas pluviais, o pavimento asfáltico permeável também apresenta benefícios como redução do escoamento superficial, melhoria da qualidade da água e aumento da recarga do lençol freático. Existem diversos tipos de revestimentos que podem ser considerados permeáveis. Alguns exemplos são o revestimento poroso, como o concreto asfáltico poroso (CPA) ou o concreto de cimento Portland poroso, e os blocos de concreto intertravados (Pinto, 2011). Os pavimentos de blocos intertravados permeáveis podem ser construídos principalmente com três tipos de revestimento, a saber: peças de concreto com juntas alargadas, peças de concreto permeável e peças de concreto com aberturas de drenagem ou áreas vazadas (ABNT, 2015).

Recentes estudos envolvendo simulações de chuva estão sendo utilizados para verificar a eficiência de pavimentos permeáveis. Um deles, utilizou um simulador de chuva para realizar testes no perfil hidrológico de um pavimento, como período de detenção, capacidade de armazenamento, taxas de permeabilidade e desempenho de infiltração em diferentes períodos de chuva. O estudo foi realizado com um tipo

modificado de pavimento permeável com blocos intertravados, composto por um cilindro oco com uma cobertura hexagonal na parte superior e inferior do pavimento denominado “pavimento permeável com microbacia de detenção em escala” (PPDS). Projetado com um volume vazio de 70% e uma capacidade de armazenamento de água de $0{,}19\ m^3/m^2$, demonstrou capacidade de reter as primeiras águas pluviais em um período de 15 minutos para um período de retorno de 100 anos. Significativamente possui custo mais baixo em comparação com o pavimento permeável normal (Tabeni *et al*.,2019).

Outro estudo comparou o Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ), com uma espessura de 4,0 cm (amplamente utilizado no Sul de Minas), e o bloco intertravado de concreto de 16 faces, que tem um comprimento de 11 cm, uma espessura de 8 cm e uma largura de 22 cm. A comparação foi feita assumindo uma drenagem superficial adequada, considerando que o nível do lençol freático estaria a uma profundidade mínima de 1,5 m em relação ao greide de regularização. Uma das conclusões foi que o preço final da pavimentação com Blocos Intertravados de Concreto (BICs) é R$ 875.083,70 e com CAUQ é R$ 717.394,32, levando-se em consideração as composições de preço do TCPO edição 13, ou seja, os BICs apresentaram um custo 18% maior do que o do CAUQ, principalmente devido à mão de obra. O bloco em si, neste caso, não é permeável, mas é possível projetar as juntas de maneira a permitir infiltração. Assim, a água tem a capacidade de penetrar pelas juntas entre os pavers, que possuem entre 3 mm a 5 mm. Estes espaços entre as peças intertravadas facilitam a infiltração da água de volta ao solo do subleito (Martins, 2014).

Ademais, podem-se citar outros exemplos, como os blocos de concreto articulados, que foram adotados nos Estados Unidos e na Coreia do Sul na década de 2010 e aparentaram ter uma boa capacidade de infiltração (SMG, 2014; WEISS *et al*., 2015). O pavimento, feito com blocos de concreto que são articulados em uma única direção, alcançou uma alta permeabilidade de $4{,}89\ x\ 10^{-3}\ m/s$, valor que é comparável à permeabilidade do material brita (ONO; Balbo; Cargnin, 2017). Outro exemplo ocorreu no Espírito Santo, onde foi feita uma comparação entre blocos permeáveis e convencionais, sendo a concepção do primeiro definida de acordo com as diretrizes da ABNT NBR 16.416 – Pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos. Em relação aos custos de implantação das obras viárias com o uso de blocos de concreto convencionais e blocos de concreto poroso, a Tabela 1 a seguir

apresenta os detalhes. Por fim, ressalta-se que, em um primeiro momento das obras de pavimentação, 11 ruas da Barra do Jucu, em Vila Velha/ES, serão pavimentadas com o novo bloco de concreto permeável, sendo que a execução da primeira delas ocorreu em 2020 na Rua Odilon Redon (Vila Velha, 2020).

Tabela 1 – Custos ($R\$/km$) para execução da via com concreto convencional x bloco de concreto poroso

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	CONVENCIONAL	PERMEÁVEL	DIFERENÇA (%)
Terraplenagem	R$ 95.901,68	R$ 95.901,68	0,00%
Drenagem	R$ 502.386,35	R$ 346.946,07	-30,94%
Pavimentação	R$ 881.929,40	R$ 1.122.717,02	27,30%
Obras complementares	R$ 585.697,56	R$ 585.697,56	0,00%
Sinalização	R$ 13.809,52	R$ 13.809,52	0,00%
Canteiro de obras	R$ 204.604,06	R$ 204.604,06	0,00%
TOTAL	R$ 2.284.328,58	R$ 2.369.675,91	3,74%

Fonte: Adaptado de Motta (2019).

2.5.3 Uso e Ocupação do Solo

A arborização urbana e o emprego de pavimentos permeáveis, em conjunto com práticas conscientes de uso e ocupação do solo, são fundamentais como fatores interceptadores de águas pluviais. Essas estratégias, quando integradas, reforçam a capacidade do ambiente urbano em gerir eficientemente as águas da chuva, mitigando impactos como enchentes e processos erosivos (Ahern; Cilliers; Niemelä, 2014). A maneira como o solo é ocupado - por exemplo, através da construção de edifícios, estradas e outras infraestruturas - pode aumentar a impermeabilização da superfície, o que reduz a infiltração da água da chuva e, por sua vez, aumenta o escoamento superficial. Este último pode levar a inundações urbanas se não for adequadamente gerido por meio de sistemas de drenagem eficientes (Center for Watershed Protection, 2003).

Um Plano Diretor de Drenagem Urbana bem planejado deve considerar as diretrizes de uso e ocupação do solo, com o objetivo de integrar a gestão dos recursos hídricos com o desenvolvimento urbano. Isso pode incluir a identificação de áreas de risco de inundação para evitar sua ocupação, a promoção de técnicas de construção sustentáveis que reduzam a impermeabilização do solo e a implementação de

soluções baseadas na natureza, como a criação de áreas verdes, que podem ajudar a absorver a água da chuva e a reduzir a pressão sobre os sistemas de drenagem (Sun; Deng; Pan; Chiang; Sable; SHAH, 2020).

A Lei Federal nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979 dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Nela, fica claro que os Estados, o Distrito Federal e os Municípios poderão estabelecer normas complementares relativas ao parcelamento do solo municipal para adequar o previsto na Lei às peculiaridades regionais e locais (Brasil, 1979). Além disso, conforme Redação dada pela Lei nº 9.785, de 1999, “a legislação municipal definirá, para cada zona em que se divida o território do Município, os usos permitidos e os índices urbanísticos de parcelamento e ocupação do solo, que incluirão, obrigatoriamente, as áreas mínimas e máximas de lotes e os coeficientes máximos de aproveitamento.”

O artigo 182 da Constituição da República Federativa do Brasil, promulgada em 1988, estabelece a Política de Desenvolvimento Urbano, que é implementada pelo Poder Público Municipal, com a finalidade de assegurar o correto desenvolvimento das funções sociais da cidade e promover o bem-estar de seus moradores. Adicionalmente, designa o plano diretor como a ferramenta essencial para a política de desenvolvimento e expansão urbana, permitindo que o Poder Público Municipal imponha, por meio de legislação específica, o uso apropriado do solo urbano (BRASIL, 1988).

A Lei 10.257, de 10 de julho de 2001, regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelecendo diretrizes gerais para a política urbana. Essa legislação abrange uma série de providências, incluindo a prevenção da poluição e da degradação ambiental, a deterioração das áreas urbanizadas, bem como o parcelamento, a edificação ou o uso do solo de forma excessiva ou inadequada em relação à infraestrutura urbana (Brasil, 2001). No Brasil, nota-se que, nos zoneamentos relacionados ao uso do solo, os municípios têm negligenciado a inclusão de considerações sobre questões hídricas urbanas, tais como saneamento, resíduos sólidos, drenagem e inundações. Em contraste, o que se vê frequentemente são leis rígidas voltadas à proteção de mananciais e à regulamentação da ocupação de áreas ambientais. Contudo, regulamentações excessivamente restritivas tendem a gerar resistência e não conformidade, resultando em sua ineficácia em alcançar os objetivos de gestão ambiental (Bertoni; Tucci, 2003).

O uso inadequado do solo e as ocupações irregulares no seu entorno geram uma série de aspectos e impactos negativos no meio ambiente como o desencadeamento de processos erosivos e, consequentemente, o assoreamento dos corpos hídricos urbanos. As atividades antrópicas no entorno das bacias hidrográficas produzem quantitativos de sedimentos que vão além da sua produção de forma natural. Ocupações irregulares e desordenadas do território, desmatamentos, canalizações dos corpos d'água, impermeabilizações do solo, dentre outros fatores são responsáveis por acarretar efeitos adversos sobre os recursos hídricos, principalmente os urbanos, sendo sentidos pela população, seja através das enchentes, inundações e/ou transbordamentos (Smith, Silva; Biagioni, 2019). O padrão de ocupação urbana no Brasil é marcado por um processo desordenado e desigual, caracterizado pela concentração de pessoas, serviços e atividades econômicas em grandes centros urbanos. A urbanização brasileira é um fenômeno complexo, heterogêneo e marcado por contrastes, que tem gerado impactos ambientais, sociais e econômicos significativos (Ribeiro, 2012). Além disso, causa problemas como a falta de moradias adequadas, o crescimento de aglomerados subnormais e ocupações irregulares, a degradação ambiental e a falta de infraestrutura básica em muitas áreas urbanas (Cano, 2021).

2.6 INTEGRAÇÃO DA GESTÃO AMBIENTAL E DOS RECURSOS HÍDRICOS

A gestão ambiental e dos recursos hídricos tem um papel fundamental no controle de enchentes. Conforme supracitado, práticas de manejo adequadas, como a preservação de áreas verdes, a implementação de sistemas de drenagem eficazes e a utilização de pavimentos permeáveis, podem aumentar a capacidade do ambiente de absorver a água das chuvas e reduzir o escoamento superficial. Além disso, o planejamento estratégico dos recursos hídricos, incluindo principalmente medidas que visam a preservação do sistema natural (Tucci, 2002), pode ajudar a controlar a quantidade de água liberada durante e após eventos de precipitação intensa, minimizando o risco de enchentes. Assim, a gestão ambiental e dos recursos hídricos, quando realizada de maneira integrada e sustentável, pode ser uma ferramenta valiosa para mitigar o impacto das enchentes e das inundações.

O conceito de meio ambiente na área do planejamento e da gestão ambiental é bastante amplo, uma vez que abrange esferas da sociedade e da natureza, podendo

ser interpretado por diferentes zonas do conhecimento (Bueno; Taveira; Fogaça, 2020). Sendo assim, o estudo, bem como o planejamento ambiental devem ser realizados por equipes multidisciplinares, de modo que a análise seja minuciosa e envolva os especialistas de cada área (Sánchez, 2015). Basicamente, no planejamento e na gestão ambiental deve-se levar em consideração o meio natural e o antrópico (Bueno; Taveira; Fogaça, 2020), sendo que a gestão é dada no sentido de promover mudanças ou adaptações no meio natural a fim de ajustá-lo às necessidades da sociedade (Philippi Junior, Roméro, Bruna, 2014).

Antes do reconhecimento dos Princípios de Dublin, diversas iniciativas, baseadas no recorte geográfico da bacia hidrográfica, tiveram êxito na área da gestão de recursos hídricos (Porto, 2008). Porém, a gestão da água baseada na unidade territorial bacia hidrográfica ganhou força no início da década de 1990, quando os Princípios de Dublin foram acordados na reunião prévia à Rio-92. O primeiro princípio traz que para ser efetiva, a gestão dos recursos hídricos deve ser integrada e considerar os aspectos econômicos, físicos e sociais. Para que essa integração ocorra de forma eficaz, a gestão tem de ser baseada nas bacias hidrográficas (WMO, 1992). Sendo assim, as bacias hidrográficas constituem espaços integrados do conjunto de recursos naturais e a gestão sustentável desses recursos deve ser baseada na gestão integral deles dentro dessas bacias.

No Relatório de Brundtland (Nosso Futuro Comum) foi onde apareceu pela primeira vez o conceito de desenvolvimento sustentável: “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades” (Nações Unidas, 1987, p. 15). O seu significado sugere um modelo de crescimento econômico que leva em consideração as possibilidades de exaustão dos recursos naturais, de reutilização dos produtos ou subprodutos originados desses recursos, o controle de danos que os produtos e resíduos possam provocar no ambiente, e a minimização dos seus impactos negativos (Philippi Junior, Roméro, Bruna, 2014). Sendo assim, fica bastante perceptível a íntima relação entre desenvolvimento sustentável e a gestão ambiental, em que a gestão ambiental atua como ferramenta para o alcance de um desenvolvimento mais sustentável (Figura 5) (Bueno; Taveira; Fogaça, 2020).

Figura 5 – Relação entre desenvolvimento sustentável e gestão ambiental



Fonte: Bueno, Taveira e Fogaça (2020).

No Brasil, os Princípios da Gestão Ambiental e dos Recursos Hídricos estão integrados na Constituição Federal (CF/1988), a qual possui o Capítulo VI exclusivo para questões que envolvem o meio ambiente. O art. 225 traz que: “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988). Os instrumentos de gestão são ferramentas capazes de possibilitar uma gestão ambiental sustentável (Bueno; Taveira; Fogaça, 2020). Segundo o art. 9º da Lei nº 6938/1981:

> Art. 9º - São instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente:
>
> I - o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental;
>
> II - o zoneamento ambiental; (Regulamento)
>
> III - a avaliação de impactos ambientais;
>
> IV - o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras;
>
> V - os incentivos à produção e instalação de equipamentos e a criação ou absorção de tecnologia, voltados para a melhoria da qualidade ambiental;
>
> VI - a criação de espaços territoriais especialmente protegidos pelo Poder Público federal, estadual e municipal, tais como áreas de proteção ambiental, de relevante interesse ecológico e reservas extrativistas; (Redação dada pela Lei nº 7.804, de 1989)
>
> VII - o sistema nacional de informações sobre o meio ambiente;
>
> VIII - o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;
>
> IX - as penalidades disciplinares ou compensatórias ao não cumprimento das medidas necessárias à preservação ou correção da degradação ambiental.
>
> X - a instituição do Relatório de Qualidade do Meio Ambiente, a ser divulgado anualmente pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA; (Incluído pela Lei nº 7.804, de 1989)
>
> XI - a garantia da prestação de informações relativas ao Meio Ambiente, obrigando-se o Poder Público a produzi-las, quando inexistentes; (Incluído pela Lei nº 7.804, de 1989)
>
> XII - o Cadastro Técnico Federal de atividades potencialmente poluidoras e/ou utilizadoras dos recursos ambientais. (Incluído pela Lei nº 7.804, de 1989)
>
> XIII - instrumentos econômicos, como concessão florestal, servidão ambiental, seguro ambiental e outros (Incluído pela Lei nº 11.284, de 2006) (Brasil, 1981).

O planejamento dos recursos hídricos é uma importante ferramenta capaz de nortear a gestão do recurso por um determinado tempo. Nesse sentido, busca assegurar a disponibilidade de água em quantidade e qualidade de modo a atender as atuais e futuras gerações (Boulomytis, 2021). Para o devido desenvolvimento do planejamento, a participação dos diversos setores da sociedade, envolvendo as áreas técnica, social e política é imprescindível (Santos, 2004).

2.6.1 Impactos do Gerenciamento da Água no Meio Urbano

A gestão ambiental e dos recursos hídricos desempenham um papel crucial no meio urbano, especialmente quando se consideram os impactos do gerenciamento da água (CNN, 2023). A rápida urbanização, o adensamento populacional e a expansão desordenada das áreas urbanas podem resultar em uma série de desafios relacionados à água, como enchentes, poluição hídrica e degradação dos mananciais (Ministério das Cidades, 2023). Isso exige uma abordagem integrada e sustentável que considere a gestão adequada dos recursos hídricos e a proteção do meio ambiente.

O desenvolvimento de infraestrutura eficaz de abastecimento de água e saneamento é fundamental para a expansão urbana adequada (Tucci, 2002; Konteh, 2009). No contexto brasileiro e em países similares, há progresso no fornecimento de água, porém, o saneamento continua deficiente (Tucci, 2002; Who, Unicef, 2021). A falta de gerenciamento adequado da água pode levar à propagação de doenças. Além disso, durante a urbanização, são identificados diferentes estágios de produção de resíduos sólidos na drenagem urbana. Inicialmente, a remoção da cobertura natural do solo resulta em erosão e produção de sedimentos. À medida que a urbanização avança, há um aumento na produção de lixo pela população, somado aos sedimentos devido à contínua construção. Eventualmente, quando as áreas urbanas estão estabelecidas, a produção de lixo urbano se torna predominante, enquanto a contribuição de sedimentos diminui (Tucci, 2002).

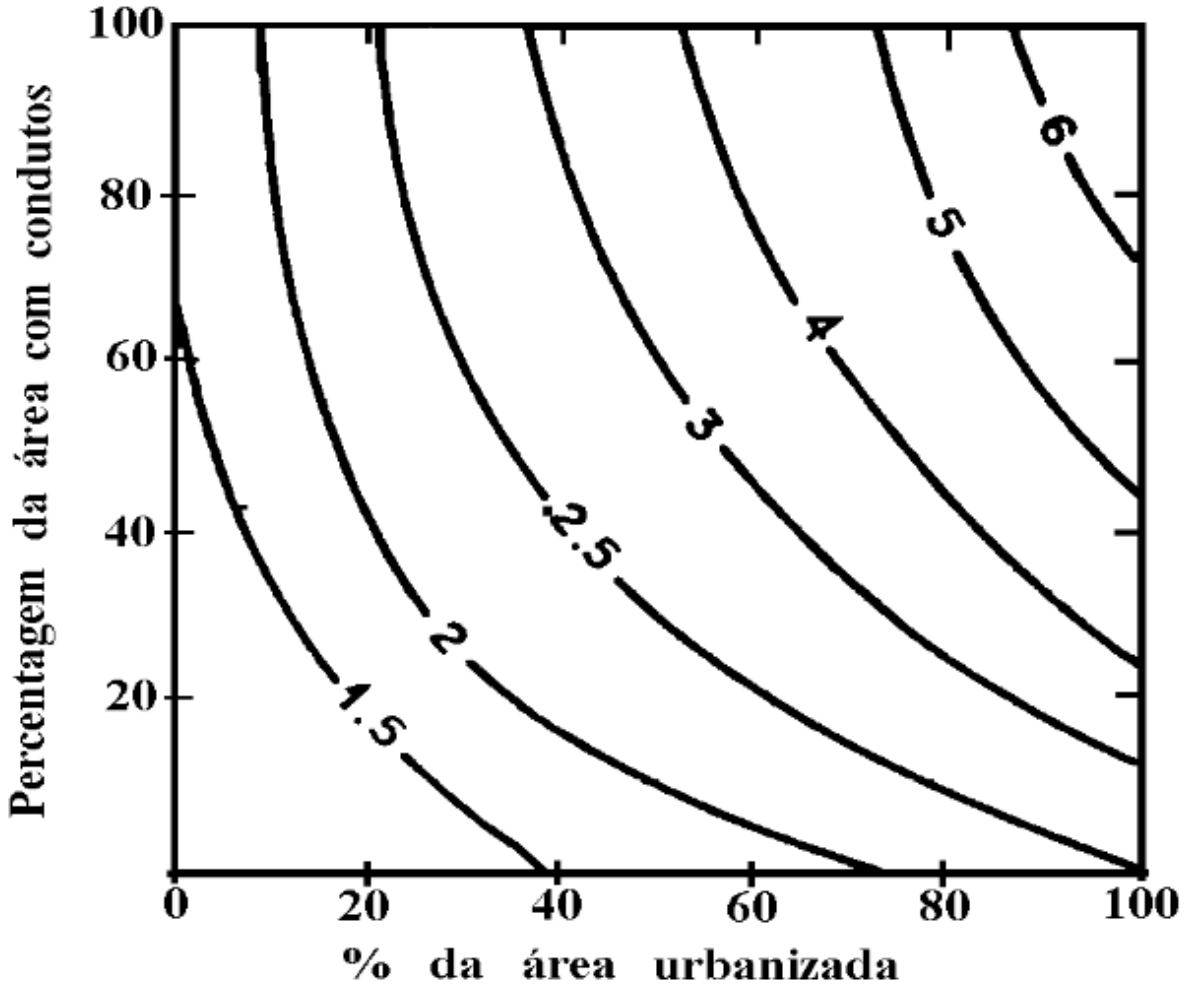
As inundações e os impactos nas áreas urbanas causados pelo escoamento das águas das chuvas podem ser resultado de dois processos distintos:

> 1) *"Inundações de áreas ribeirinhas: os rios geralmente possuem dois leitos, o leito menor onde a água escoa na maioria do tempo e o leito maior, que é inundado em média a cada 2 anos. O impacto devido à inundação ocorre quando a população ocupa o leito maior do rio, ficando sujeita à inundação;*
>
> 2) *Inundações devido à urbanização: as enchentes aumentam a sua frequência e magnitude devido à ocupação do solo com superfícies impermeáveis e rede de condutos de escoamentos. O desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento* (Tucci, 2002, p.8, grifo nosso)."

O aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais, bem como impermeabilização das superfícies gera um aumento das vazões máximas em

até 7 vezes (Leopold, 1968). A seguir, dispõe-se da Figura 6 referente ao fator de aumento da vazão média de inundação em função da percentagem de aumento da área impermeável e da canalização do sistema de drenagem.

Figura 6 – Fator de aumento da vazão média de inundação em função da percentagem de aumento da área impermeável e da canalização do sistema de drenagem



Fonte: Leopold (1968).

Ademais, nas palavras de Tucci (2002), a rede apresenta dois problemas:

> 1) *além de transportar o esgoto que não é coletado e tratado, também transporta a contaminação do escoamento pluvial (carga orgânica, tóxicos e metais);*
>
> 2) *a construção excessiva de canais e condutos que apenas transferem as inundações de um local para outro dentro da cidade, a custos insustentáveis para os municípios* (Tucci, 2002, p.13).

O planejamento urbano deve considerar diversos aspectos relacionados à água, incluindo o desenvolvimento urbano, o transporte, o abastecimento de água, o saneamento, a drenagem urbana, o controle de inundações, a gestão de resíduos

sólidos, o controle ambiental, além do uso e ocupação do solo e a determinação das tendências dos vetores de expansão da cidade (Tucci, 2002; 2012). Por fim, faz-se importante conhecer as fases de desenvolvimento das águas urbanas (Tabela 2).

Tabela 2 – Estágios de desenvolvimento das águas urbanas

Estágio	**Aspectos Dominantes**	**Resultados**
Pré-Higienista: Até o início do século XX	Descarte de resíduos em fossas ou na drenagem, sem sistemas de coleta ou tratamento e utilização de água da fonte mais próxima, seja um poço ou rio.	Ocorrência de doenças e epidemias, altos índices de mortalidade e inundações frequentes.
Higienista: Antes dos anos 1970	Deslocamento do esgoto para longe das pessoas e implementação de sistema de drenagem.	Diminuição de doenças, porém com a contaminação de rios, impactos negativos nas fontes de água e continuadas inundações.
Corretiva: Entre os anos 1970 e 1990	Tratamento do esgoto proveniente de casas e indústrias, além de medidas para diminuir o escoamento.	Recuperação dos rios, apesar da persistência da poluição difusa, construção de obras hidráulicas e consequente impacto ambiental.
Desenvolvimento Sustentável: Após os anos 1990	Implementação de tratamento terciário e do escoamento pluvial, e novas medidas que visam a preservação do sistema natural.	Promoção da conservação ambiental, diminuição das inundações e melhoramento da qualidade de vida.

Fonte: Tucci (2007).

Nesse cenário, a aplicação de geotecnologias torna-se crucial para mitigar os impactos do gerenciamento da água no meio urbano. Ferramentas como Sistemas de Informação Geográfica (SIG), sensoriamento remoto e imagens de satélite proporcionam um entendimento mais profundo da dinâmica do solo, escoamento de água e áreas propensas a inundações. Esses dados geoespaciais, quando integrados ao planejamento urbano, permitem a identificação precisa das áreas de risco, promovendo ações preventivas, minimizando assim os impactos negativos do manejo inadequado da água, como inundações e contaminações. A geotecnologia também ajuda na otimização do sistema de saneamento e abastecimento de água, contribuindo para a expansão urbana mais sustentável e resiliente. Portanto, o papel das geotecnologias é fundamental no desafio de conciliar o crescimento urbano com a gestão eficiente da água.

2.7 GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À GESTÃO AMBIENTAL

As geotecnologias são indispensáveis no planejamento e na gestão ambiental, incluindo os impactos do gerenciamento da água no meio urbano. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), por exemplo, permitem analisar, modelar e gerir processos e relações espaciais, podendo revelar conhecimentos profundos sobre dados – padrões, situações e relações – ao auxiliar utilizadores a tomar decisões inteligentes (ESRI, 2022).

Os SIGs são compostos basicamente por cinco componentes integrantes do processo como um todo, a saber: 1) hardware; 2) software; 3) base de dados; 4) usuários; 5) método. O software consiste em programas de computador e documentação associada, desenvolvidos para determinado cliente (Ian, 2020), sendo constituídos por ferramentas que permitem armazenar, processar, visualizar e analisar as informações (Figura 7) (Cubas; Taveira, 2020).

Figura 7 – Componentes integrantes dos SIGs



Fonte: Adaptado de JBSA (2022).

O QGIS, por exemplo, é um aplicativo profissional GIS Livre de Código Aberto, que é construído a partir de Software Livre e de Código Aberto, Free and Open Source Software (FOSS) (Dalla Corte *et al*., 2020; QGIS, 2022). O QGIS permite a criação, a edição, a visualização, a análise e a publicação de informações geoespaciais (QGIS, 2022), sendo considerado o sistema de geoprocessamento com desenvolvimento tecnológico mais acelerado, devido ao esforço dos usuários e ao apoio da comunidade global. Além disso, sabe-se que as novas versões deste aplicativo contam com mais de 900 ferramentas de geoprocessamento (Barbosa; Buriti, 2022).

Outro sistema de informação geográfica que se pode citar é o Spring. Desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Divisão de Geração de Imagens (INPE/DPI) com a participação do Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para Agricultura (Embrapa/CNPTIA), do Centro Latino-Americano de Soluções para Ensino Superior e Pesquisa (IBM Brasil), da PUC Rio - Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica da PUC-Rio (TECGRAF) e do Centro de Pesquisas "Leopoldo Miguez" (PETROBRÁS/CENPES), este aplicativo possui funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem de terreno e consulta a bancos de dados espaciais.

Um outro sistema de informação geográfica é o Google Earth, amplamente reconhecido como uma das geotecnologias mais avançadas e acessíveis na atualidade, é uma plataforma de uso gratuito que facilita a exploração virtual do globo terrestre. Este software, desenvolvido e distribuído pela empresa Google, oferece um modelo tridimensional detalhado da superfície terrestre. O programa é composto por um mosaico integrado de imagens de satélite, que são regularmente atualizadas para refletir mudanças na paisagem terrestre, embora não sejam fornecidas em tempo real (Schmitt *et al*. 2013). Utilizando as imagens disponibilizadas pelo Google Earth, é possível realizar a identificação e análise de diversos elementos geográficos, incluindo locais específicos, estruturas construídas, cidades e características da paisagem (Paiva, 2010).

Além dos SIGs, diversos sistemas de modelagem auxiliam no planejamento e gestão ambiental, inclusive de recursos hídricos. O Sistema de Modelagem Hidrológica (HEC-HMS), por exemplo, foi projetado para simular processos hidrológicos completos dos sistemas de bacias hidrográficas dendríticas. Recursos avançados são fornecidos para simulação do escoamento, além de ferramentas de análise suplementares para otimização do modelo, previsão de fluxo, redução da área

de profundidade, avaliação de incerteza do modelo, erosão e transporte de sedimentos e qualidade de água (USACE, 2022). O HEC-HMS tem sido aplicado em uma ampla gama de bacias hidrográficas para prever inundações, como demonstrado nos estudos de Azam *et al*. (2017) e Azizi *et al*. (2021), para resolver problemas em relação ao abastecimento de água conforme indicado por Bhadoriya *et al*. (2020) e Ndeketeya and Dundu (2021), para prever e para auxiliar na mitigação de impactos futuros da urbanização, de acordo com Gao *et al*. (2017); Du *et al*. (2019) e Ratnayake *et al*. (2022), para regular áreas de várzeas, conforme estudado por Abdessamed and Abderrazak (2019) e Ali *et al*. (2021), dentre outras importantes aplicações.

Por outro lado, o software HEC-RAS é um programa de computador desenvolvido para modelar rios que fluem por meio de canais abertos, permitindo calcular o perfil da superfície da água (Lamichhane; Sharma, 2017). Sendo assim, é um software bastante usado por engenheiros e pesquisadores em simulações hidráulicas (MARIMIN *et al*., 2018). Em outras palavras, o HEC-RAS permite que o usuário realize simulações de fluxos constantes unidimensionais, cálculos de fluxo instáveis unidimensionais, cálculos de transporte de sedimentos, modelagem da temperatura da água etc. Além disso, permite também a realização de cálculos hidráulicos bidimensionais para uma rede completa de canais naturais e artificiais (USACE, 2022). Tamiru e Dinka (2021) utilizaram o HEC-HAS no mapeamento de enchentes na bacia do rio Baro Akobo, Etiópia; e Cabral *et al*. realizaram a integração do SIG HEC-HMS e HEC-HAS no mapeamento de área de inundação urbana da bacia do rio Granjeiro no município do Crato, Estado do Ceará (CE).

Para análise de microdrenagem, o software SWMM é bastante utilizado. Trata-se de um Modelo de Gestão de Drenagem Urbana, da U. S. Environmental Protection Agency (US EPA), de chuva-vazão que simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial em áreas urbanas, com muitas aplicações, também, em áreas não urbanas. Pode ser utilizado para simulação contínua de longo prazo, bem como para a drenagem de águas residuárias ou para simulação de um único evento chuvoso. É amplamente aplicado em várias partes do mundo, seja para planejamento e análises, seja para projetos de sistemas de drenagem de águas pluviais (LENHS/UFPB, 2020). A ferramenta SWMM possui diversas aplicações na hidrologia, uma vez que oferta vários métodos para processos hidrológicos e hidráulicos, e fornece hidrógrafos de fluxos em esgotos, canais abertos ou características de desenvolvimento de baixo impacto – LID. Tem sido amplamente aplicada a estudos

de bacias hidrográficas que investigam benefícios de LID agrupados em comparação com o manejo tradicional de águas pluviais (Avellaneda *et al*., 2017; Bai *et al.*, 2018).

2.8 PLANOS DIRETORES DE DRENAGEM URBANA

As geotecnologias surgem como aliadas valiosas no desenvolvimento e aplicação de Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDU), proporcionando uma abordagem mais refinada e sistemática para a gestão de recursos hídricos em áreas urbanas. É altamente aconselhável desenvolver PDDU, pois são fundamentais na estratégia de alcançar soluções eficazes para a drenagem urbana. Planos bem elaborados permitem: abordar o estudo da bacia hidrográfica de maneira integrada, evitando assim ações restritivas que possam deslocar ou agravar as inundações em outras áreas, com foco em impactos de longo prazo e extensivos; aplicar normas e critérios de projeto consistentes em toda a bacia, como a definição do Período de Retorno (TR) a ser utilizado; identificar zonas que possam ser protegidas pelo governo antes de serem ocupadas; facilitar um crescimento urbano equilibrado através da coordenação do plano de drenagem com outros planos regionais (como planos de transporte e abastecimento de água); e priorizar a implementação de medidas preventivas de baixo custo e amplo alcance (Tucci, 2001, 2020).

Exemplos de sucesso incluem o Plano Diretor de Macrodrenagem de Taubaté, que adota tanto ações estruturais quanto não estruturais para mitigar inundações, com um horizonte de planejamento de 20 anos para garantir um sistema de drenagem eficiente e preventivo (Taubaté, 2023). Outro exemplo é o Plano Diretor de Drenagem do Recife (PDDR), que visa modernizar a infraestrutura de drenagem até 2037, com projetos em rios como Tejipió e Jiquiá, buscando reduzir riscos de inundações (Recife, 2023). Em São Paulo, o Plano Diretor de Drenagem Urbana integra a drenagem com outros planos regionais, como transporte e uso do solo, adotando uma abordagem participativa e sustentável para mitigar os impactos das chuvas intensas (São Paulo, 2024).

O Município de Três Pontas, embora ainda não conte com um plano diretor específico para macrodrenagem, adotou uma resolução que estabelece diretrizes ambientais destinadas à prevenção de inundações na área urbana. Esta resolução determina que os projetos de drenagem considerem um período de retorno de 50 anos, visando assegurar a eficácia das medidas de longo prazo. Adicionalmente, o

artigo décimo da resolução instrui a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA) a desenvolver ações estratégicas para a minimização de inundações urbanas. Essas ações incluem a criação de um Plano Diretor de Drenagem Urbana, que deverá definir os índices de impermeabilização do solo e estabelecer parâmetros para a macrodrenagem urbana. O município também é encarregado de elaborar e implementar um plano de contingência e um programa específico de combate a inundações, fortalecendo a capacidade de resposta e mitigação desses eventos.

Vários princípios norteiam o plano diretor de drenagem urbana, dentre os quais são destacados no texto, abaixo, de Carlos E.M. Tucci:

> *"- O subsistema de drenagem é parte de um ambiente urbano muito mais complexo e deve ser articulado com os outros subsistemas. O subsistema de drenagem não deve ser um fim por si só, mas um meio que possibilite a melhoria do ambiente urbano de forma mais ampla;*
>
> *- As várzeas de inundação são áreas de escoamento e armazenamento naturais cuja conformação foi delineada pelo próprio rio. Nenhuma ocupação da várzea pode ser feita sem que se tenha de adotar medidas compensatórias muito onerosas. A preservação da várzea é invariavelmente a solução mais barata para os problemas de inundação, além de oferecer outras vantagens como preservar o ecossistema, criar áreas verdes e oportunidades de recreação;*
>
> *- Águas pluviais requerem espaço. Uma vez sobre o solo, a água irá escoar exista ou não sistema de drenagem adequado. Sempre que se elimina o escoamento natural sem que se adotem medidas compensatórias, o volume eliminado será exigido em outro local. Canais, galerias, desvios e reversões deslocam a necessidade de espaço e devem ser projetados tendo esse fato em vista;*
>
> *- Quantidade e qualidade de água são variáveis do mesmo problema e devem ser consideradas em conjunto. Em áreas onde a qualidade da água está deteriorada, as consequências das inundações são mais graves e medidas, como, por exemplo, a construção de reservatórios de amortecimento podem se tornar inviáveis. Ao contrário, águas pluviais de boa qualidade constituem recursos potencialmente utilizáveis para irrigação, abastecimento industrial, recarga de aquíferos, reservatórios de recreação, combate a incêndios* ***etc****"* (Tucci, 2001; 2020, p. 811).

As sugestões para intervenção devem incluir ações fundamentadas em pesquisas especializadas, como a harmonização entre meio ambiente e a elaboração de planos políticos, estratégicos e de gestão, a conservação de recursos naturais, a adoção de tecnologias sustentáveis e a participação da comunidade na determinação dos critérios para a tomada de decisões (Rocha, 2014). O Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de São Paulo serve como um exemplo de um Plano de Drenagem Urbana que incorpora esses princípios. O manual enfatiza que as

intervenções e as tomadas de decisão relacionadas aos desafios decorrentes da presença de água em áreas urbanas precisam ser fundamentadas em dados robustos e fidedignos, já que são afetadas pelo contexto ambiental, regional ou nacional em que são implementadas (São Paulo, 2012a). Ademais, a drenagem também se relaciona com a alocação de espaços: a remoção de planícies de inundação, sejam naturais ou não, resulta em sua transferência para áreas mais baixas, e o mesmo acontece com áreas de infiltração devido à impermeabilização (Canholi, 2014).

2.9 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL AO MUNICÍPIO DE TRÊS PONTAS/MG QUANTO AO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

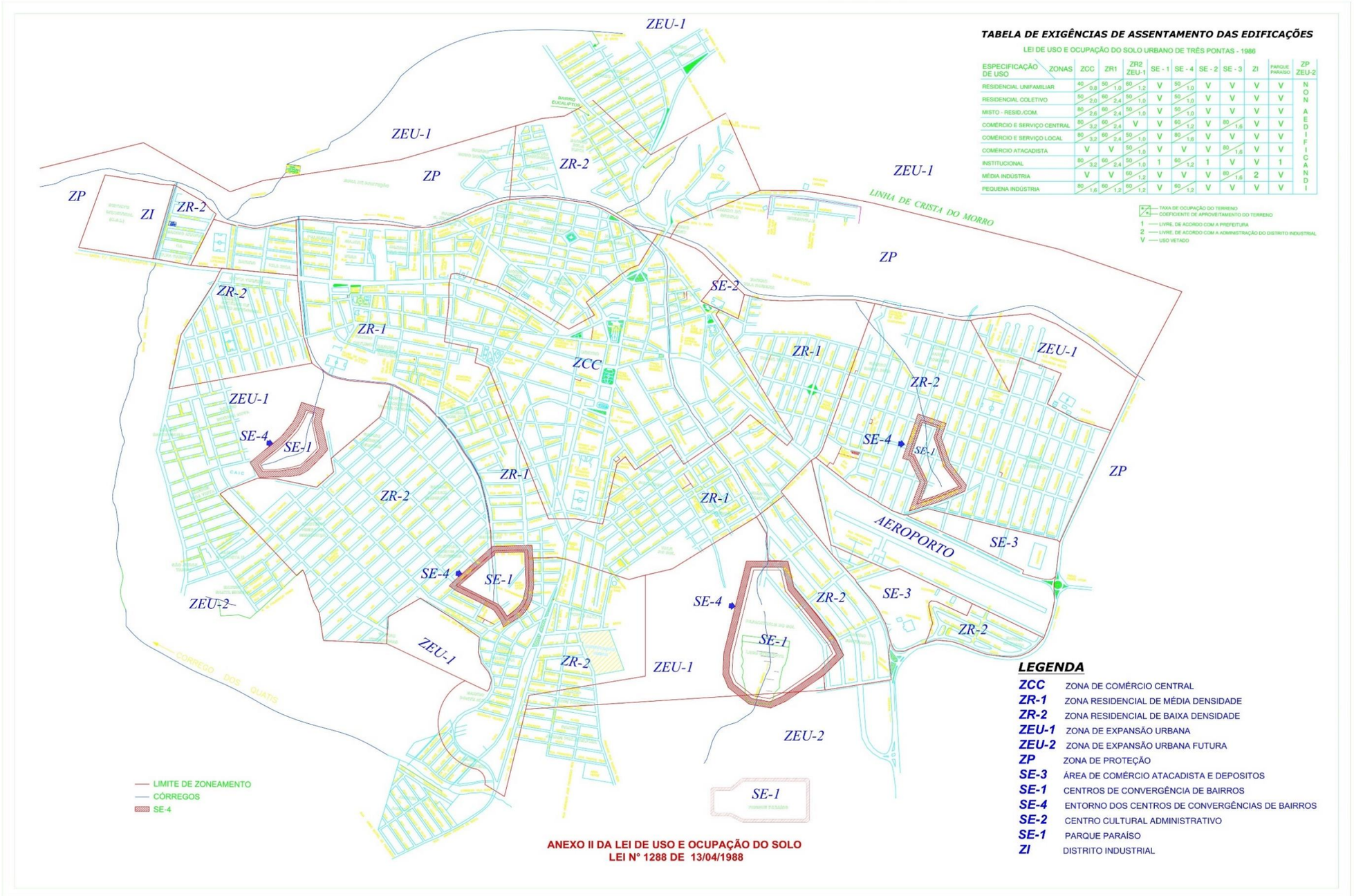
As normas de uso e ocupação do solo urbano de Três Pontas são constituídas pelo: I - zoneamento do território do Município; II - disciplina do parcelamento do solo; III – fixação de categorias de uso; IV - delimitação de áreas reservadas às vias públicas e às destinadas à execução de projetos especiais. Já as zonas de uso, ocupação e parcelamento do território do Município são as seguintes: a) Zona Residencial (ZR I e ZR II); b) Zona Comercial Central (ZCC); c) Zona Industrial (ZI); d) Setores Especiais (SE); e) Zona de Expansão Urbana (ZEU); f) Zona de Proteção (ZP); g) Zona Rural (ZRU). Por sua vez, as categorias de uso são: I - Residencial; II - Comercial e de Serviços; III - Industrial; IV - Institucional; V – Misto (Três Pontas, 1988).

O município de Três Pontas representa o espaço físico-territorial onde ocorrem as atividades humanas e onde as diretrizes do Plano Estratégico de Desenvolvimento Integrado (PEDI) são implementadas. O PEDI subdivide esse espaço em macrozonas (ANEXO A) para aplicação de suas diretrizes, a saber: I Macrozona Central; II Macrozona Residencial; III Macrozona de Expansão Urbana; IV Macrozona de Proteção; V Macrozona Rural; VI Macrozona Especial 1; VII Macrozona Especial 2 (Três Pontas, 2006).

As áreas designadas para circulação, instalação de equipamentos comunitários e espaços livres de uso público devem corresponder a no mínimo 38% da área total a ser loteada. É obrigatória a destinação de pelo menos 18% da área total para equipamentos comunitários e espaços livres de uso público (áreas destinadas a praças, jardins e parques), sendo que a área destinada a equipamentos comunitários

não pode ser inferior a 3% da área total a ser loteada. Essas áreas devem estar localizadas nas regiões centrais dos loteamentos (Três Pontas, 1997). Abaixo, dispõe-se da Figura 8 relativa à delimitação das zonas de uso e ocupação do solo em 1988.

Figura 8 – Zonas de Uso e Ocupação do Solo



Fonte: Três Pontas (1988).

Os lotes terão área e testada mínima definidas em função dos Modelos de Parcelamento (MP) estabelecidos na Tabela 3 que se segue:

Tabela 3 – Área e testada mínima dos lotes

Modelo (MP)	Área dos Lotes (m²)	Testadas Mínimas Correspondentes (m)
MP 1	De 200 a 356	10,0
MP 2	De 360 a 449	12,0
MP 3	De 450 a 599	15,0
MP 4	De 600 a 720	18,0
MP 5	Acima de 720	24,0

Fonte: Três Pontas (1988).

O lote mínimo para assentamentos é de 200 m², com uma frente mínima de 10,0 m. No entanto, existem exceções para casos em que o imóvel está destinado a programas habitacionais de interesse social com envolvimento do Governo Federal, Estadual e/ou Municipal, ou quando há um condomínio com dois ou mais proprietários, desde que a área individual de cada condômino seja igual ou superior a 125 m², respeitando uma frente mínima de 5,0 m. Nesses casos, é permitido o desmembramento das áreas e o registro junto aos órgãos competentes (TRÊS PONTAS, 2016). Além de outras restrições, o parcelamento para fins urbanos é proibido nos setores de preservação, bem como em quaisquer outras áreas declaradas como de preservação pelo Prefeito Municipal ou por legislação, devido às suas características naturais ou à importância de serem mantidas como áreas verdes devido à sua localização (Três Pontas, 1988).

Dentre os projetos cruciais para a aprovação de um loteamento, que visam enfatizar a sustentabilidade ambiental, inclui-se: o projeto de rede de distribuição de energia elétrica e de iluminação pública, que deverá ser aprovado pela Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, destacando a importância de integrar fontes de energia renováveis e tecnologias de iluminação eficientes, para minimizar o consumo energético e reduzir as emissões de carbono.

Outro aspecto importante é o projeto de drenagem pluvial, que deve contemplar um planejamento ambientalmente responsável através de cálculos hidrológicos, para garantir que o escoamento das águas das chuvas seja realizado de maneira a prevenir enchentes e promover a recarga de aquíferos, contribuindo para o equilíbrio do ecossistema local.

Adicionalmente, é crucial que a rede de distribuição e abastecimento de água, bem como a rede coletora de esgoto sanitário, sejam aprovadas pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE, com um enfoque em sistemas sustentáveis, que incluam o tratamento e reúso da água, reduzindo o desperdício desse recurso vital e minimizando o impacto no meio ambiente.

Esses elementos corroboram a existência de mecanismos que, ao menos em teoria, incentivam uma abordagem de desenvolvimento mais sustentável e consciente em relação à interação entre o crescimento urbano e o ambiente natural (Três Pontas, 2014).

Ademais, o Município de Três Pontas/MG possui dispositivo sobre medidas de caráter ambiental visando a prevenção de inundações na área urbana municipal, sendo a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA) previamente incitada a manifestar nos requerimentos de parcelamento do solo urbano, no sentido de prevenir inundações na zona urbana do Município. Além disso, o requerimento de parcelamento do solo urbano não poderá ser deferido, sem anuência do órgão ambiental competente na esfera municipal, ocasião em que deverá ser considerado além da taxa de impermeabilização, a consolidação e a ampliação das Zonas de Proteção (ZPs) (Três Pontas, 2013). No entanto, na realidade, observa-se a introdução de legislações intricadas que prescrevem a desafetação de ZPs, bem como projetos que promovem a impermeabilização de áreas de preservação permanente, principalmente por meio da implementação de pavimentação asfáltica. Ao que tudo indica, a gestão atual, da maioria das cidades, não fomenta a prevenção de risco de inundações, pois sempre que uma inundação catastrófica acontece, o município declara estado de emergência, recebendo assim fundos não reembolsáveis e evitando a necessidade de licitação pública para seus gastos. A maioria das soluções sustentáveis envolve medidas não-estruturais que impõem restrições à população, portanto é improvável que um prefeito opte por essa abordagem, já que comumente a população aguarda por uma obra física. Implementar medidas não-estruturais implicaria em afetar os interesses dos proprietários de áreas de risco, uma questão politicamente complicada no âmbito local (Tucci, 2002).

Por fim, ressalta-se que o mais recente Plano Diretor de Três Pontas/MG data de 2006 e deveria ter sido atualizado em 2016. No entanto, somente em 2023 está sendo realizada sua revisão, lamentavelmente baseada em dados secundários, com mínima participação tanto da comunidade quanto da equipe técnica do município. A

situação no Brasil geralmente é de que, mesmo com a existência de um Plano Diretor sólido, na prática, a aderência às normas urbanas e às regulamentações de loteamentos é escassa. Esta tendência obstaculiza a organização das ações não estruturais para o controle ambiental urbano. Uma das questões sérias neste processo de desenvolvimento urbano é a expansão, frequentemente irregular, sobre áreas de recursos hídricos para abastecimento humano, prejudicando a sustentabilidade hídrica das cidades.

2.10 CURSOS D'ÁGUA NA ZONA URBANA DE TRÊS PONTAS/MG

Embora a regulamentação do Município de Três Pontas/MG estabeleça diretrizes voltadas para a construção e o desenvolvimento, com o objetivo de preservar as áreas ribeirinhas e minimizar impactos ambientais, a efetiva garantia de um desenvolvimento urbano sustentável é frequentemente comprometida pela insuficiência de fiscalização (SMMA, 2023).

A maioria das cidades brasileiras, inclusive Três Pontas/MG, cresceram nas proximidades das áreas de várzea. Praticamente todos os canais de escoamento possuem uma área de várzea para receber o excedente de água quando ela ultrapassa os limites dos canais, todavia, a ocupação dessas áreas, bem como a impermeabilização do solo, intensificam as enchentes (Cadorin; Mello, 2011). A ausência de vegetação nas matas ciliares propicia o início de processos erosivos e, consequentemente, o assoreamento dos cursos d'água; as canalizações de cursos d'água causam alterações nas vazões naturais das águas; a movimentação de terra por meio de terraplenagens pode provocar assoreamento, contribuindo com a diminuição da capacidade de vazão dos sistemas de drenagem urbana (Carvalho *et al*., 2017). Os principais fatores que exercem influência no escoamento superficial são relacionados à precipitação e decorrentes da ação antrópica, tais como o uso do solo e realização de obras hidráulicas nos cursos d'água e no entorno destes (AMPE *et al*., 2012; Berezowski *et al*., 2012).

A cidade de Três Pontas/MG possui uma considerável rede de drenagem, sendo cortada por córregos importantes como o Custodinho, o Bambus, o Candongas, o Quatis, dentre outros. Segundo Canholi (2014); Mello, Silva e Beskow (2021), os processos relacionados ao ciclo hidrológico e às demandas pelo uso da água não são uniformes. Sendo assim, a situação dos recursos hídricos no Município, de forma

geral, vem chamando atenção principalmente pela degradação da qualidade da água desses córregos, bem como a falta de gestão e planejamento de suas respectivas microbacias hidrográficas, tendo em vista que o córrego do Custodinho, por exemplo, sofre com escassez hídrica em período de seca e enchentes e transbordamentos em períodos chuvosos. Em relação à microdrenagem, trata-se de um desafio para o Município de Três Pontas, uma vez que não há uma base de dados consolidada referente à drenagem urbana. Por vezes, não se encontra informação relacionada a galerias e tubulações de águas pluviais, por exemplo.

O crescimento desordenado das áreas urbanizadas interfere no ciclo da água por uma série de fatores como a ocupação irregular de áreas de preservação permanente, redução das áreas permeáveis, maior demanda no abastecimento de água. Soma-se a isso o aumento do volume de resíduos e efluentes que, sem uma gestão efetiva, comprometem ainda mais os ecossistemas (Canholi, 2014; Mello; Silva; Beskow, 2021). No caso de Três Pontas/MG, ainda não há uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) para o tratamento dos efluentes gerados por mais de 50.000 pessoas, o que contribui ainda mais para a degradação da qualidade da água e do meio ambiente. Os recursos hídricos locais também vêm sofrendo com as irregularidades apresentadas pelos eventos de precipitação, bastando analisar a série histórica para corroborar que os regimes pluviométricos têm se expressado de forma mais variável, tanto espacial, quanto temporalmente, interferindo diretamente no ciclo hidrológico.

Além das interferências das ações antrópicas, uma das consequências esperadas e resultantes das mudanças climáticas em sistemas socioecológicos relacionados aos recursos hídricos em Três Pontas/MG é o aumento da frequência de secas (MCTI, 2022). Isso resulta em um desequilíbrio do ecossistema natural e no aumento dos riscos de desastres naturais, como enchentes e estiagens prolongadas. Embora as chuvas intensas e volumosas já sejam perceptíveis, os períodos de seca estão se tornando cada vez mais longos, agravando os níveis críticos dos reservatórios de abastecimento do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Três Pontas/MG, como foi observado nos anos de 2001, 2014, 2017 e 2021 (SMMA, 2022). É importante lembrar que esses anos de crise hídrica ocorreram em diversas regiões do Brasil e, embora não seja possível determinar exatamente quanto dessas tendências pode ser atribuído à variabilidade decadal ou ao aquecimento global, essas tendências são consistentes com os cenários de aquecimento global. Nesse

sentido, diversas medidas de adaptação serão necessárias para mitigar os impactos futuros, como as já implementadas na área metropolitana de São Paulo após a crise hídrica de 2014 (Tomasella *et al*., 2023).

A ocupação da bacia hidrográfica do Bambus/Custodinho principalmente com atividades agrícolas (cultivo de café) e agropecuárias, existência de grandes galpões comerciais, oficinas mecânicas e lava a jatos, sendo a área de preservação permanente do Córrego dos Bambus, a partir do início da zona urbana, ausente de vegetação, e a do Córrego do Custodinho totalmente degradada, com baixíssima densidade arbórea, tem impactado a quantidade e a qualidade da água. Sendo assim, no caso de Três Pontas/MG, fica claro que a ocupação foi feita sem planejamento, gestão ambiental e manejo dos componentes da natureza e uma das consequências disso é a ocorrência de impactos negativos, como as enchentes e transbordamentos colocando em risco a integridade das pessoas e de outros seres vivos (SMMA, 2023).

Geralmente, as ocupações em áreas de risco são dadas por pessoas socialmente vulneráveis, porém, no Município de Três Pontas, segundo informações constantes no Banco de Dados da Prefeitura Municipal de Três Pontas/MG, ocorre a ocupação por pessoas abastadas, sendo o principal motivo a preparação do terreno para posterior venda, tudo isso desconsiderando-se as fragilidades de segurança a qual os moradores da localidade ficarão expostos. Além de serem áreas de risco, são áreas de preservação permanente ou consideradas de relevante interesse ambiental, como é o caso das Zonas de Proteção (ZPs), instituídas pela Lei nº 1.288 de 13 de abril de 1988 (SMMA, 2022).

2.11 DESASSOREAMENTO E LIMPEZA DE CURSOS DE ÁGUA

O desassoreamento consiste na remoção de sedimentos e vegetação invasora presente no leito de um rio (Scottish Natural Heritage, 2017). Apesar de ser uma intervenção comum em corpos hídricos assoreados, é uma solução paliativa. A chave para uma solução mais duradoura e sustentável está em focar na recuperação e revitalização das zonas de proteção e Áreas de Preservação Permanente (APPs). Estas áreas desempenham papéis cruciais na manutenção do equilíbrio hidrológico e prevenção do assoreamento de rios e reservatórios (Tundisi; Matsumura-Tundisi, 2008). A preservação das APPs reduz a degradação e, por consequência, pode diminuir a necessidade de ações corretivas dispendiosas (Santos, 2019).

O desmatamento das matas ciliares, assoreamento, erosão e lixiviação de contaminantes causam problemas ambientais em áreas de recarga de nascentes, afetando a quantidade e a qualidade da água drenada (Oliveira *et al*., 2020). A respeito do assoreamento, suas causas estão relacionadas a uma combinação de fatores, incluindo condições climáticas, ação da água no solo, ausência de vegetação de cobertura e a expansão urbana (Accorsi *et al*., 2017). Dessa forma, o desassoreamento é erroneamente considerado como a solução para as recorrentes inundações, sendo adotado como uma medida emergencial para mitigar potenciais danos e riscos mais graves.

A execução de obras de desassoreamento constitui uma ação drástica e paliativa, uma vez que não atinge a causa do problema, que geralmente está relacionada a processos erosivos, como desmatamento ou falta de cobertura vegetal, alta impermeabilização, deposição inadequada de material particulado, entre outros (Zellhuber; Siqueira, 2007; Smith, Silva; Biagioni, 2019).

O desassoreamento, apesar de necessário em certos casos de rios assoreados, é uma medida paliativa e financeiramente onerosa. No caso do município de Santa Maria (RS), o investimento total foi de R$ 2.708.584,63 para a realização de um projeto de desassoreamento, financiado por recursos do Fundo Pró-Saneamento (Bicoski; Souza; Poleto, 2021). Esses valores evidenciam o custo elevado dessa intervenção, que pode ser evitado ou reduzido com a adoção de práticas preventivas. A preservação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) é fundamental nesse contexto, pois ao proteger essas áreas, a degradação é minimizada, evitando a necessidade de recorrentes e caras intervenções corretivas, como o próprio desassoreamento (Santos, 2019).

3 METODOLOGIA

A metodologia proposta envolveu a integração de conhecimentos de geografia, hidrologia, urbanismo e tecnologias de geoprocessamento, visando uma abordagem multidisciplinar para solucionar problemas de inundação em microbacias urbanas. Para isso, primeiramente foram coletados dados geográficos, hidrológicos e urbanísticos das microbacias em estudo, utilizando informações primárias e secundárias. Isso incluiu visitas técnicas *in loco* para obter informações detalhadas, bem como o acesso a bases de dados Estaduais e Federais, com destaque para a Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-SISEMA). Essas fontes de dados permitiram a obtenção de informações cruciais para a análise das características fisiográficas das microbacias hidrográficas, como topografia, uso do solo, redes de drenagem e atributos das vias e infraestruturas existentes.

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Demografia e População

A população de Três Pontas/MG é de 55255 pessoas, sendo o 591º Município mais populoso do país e o 63º do Estado de Minas Gerais. A densidade demográfica é de 80,10 habitante por quilômetro quadrado. No ano de 2021, o rendimento médio mensal observado na região era equivalente a 1,9 vezes o valor do salário mínimo. Quando avaliada a taxa de empregabilidade, verificou-se que 24,26% da população total estavam empregadas. Em um contexto estadual, o Município situava-se na 184ª posição, em um total de 853 municípios, em termos de renda média, e na 130ª posição no que diz respeito à taxa de empregabilidade. Em uma escala nacional, comparando-se com outras cidades do Brasil, o Município ocupava a 2715ª posição em relação ao salário médio e a 1041ª posição quanto à proporção de pessoas ocupadas, em um universo de 5570 cidades (IBGE, 2022).

3.1.2 Economia e Finanças

Considerando os domicílios com renda mensal per capita de até meio salário mínimo, constatou-se que 30,9% da população do Município encontrava-se nesta faixa de rendimento. Esta estatística posiciona a cidade na 727ª colocação entre os municípios do Estado e na 4510ª colocação em âmbito nacional, em um total de 853 e 5570 cidades, respectivamente (IBGE, 2022).

Em 2021, o Produto Interno Bruto (PIB) per capita do Município era de R$ 32.896,24. Essa métrica posiciona o Município na 185ª posição entre os 853 municípios do Estado e na 1907ª posição em um ranking nacional de 5570 municípios. No que se refere ao percentual de receitas externas em 2015, o Município registrou 68,7%, classificando-se na 704ª posição a nível estadual e na 4562ª posição em âmbito nacional, entre os municípios avaliados (IBGE, 2022).

Quanto ao balanço financeiro de 2017, o Município alcançou um total de receitas de R$ 147.674,11 mil e despesas de R$ 125.671,97 mil. Estes valores financeiros colocam o Município na 65ª posição em termos de receitas e na 68ª posição em termos de despesas, considerando os 853 municípios do Estado. Em uma comparação com os 5570 municípios do país, essas classificações correspondem, respectivamente, às posições 591ª e 629ª (IBGE, 2022).

3.1.3 Educação

No ano de 2010, o percentual de crianças entre 6 e 14 anos matriculadas em instituições de ensino atingia 97,8%. Em termos de comparação estadual, essa taxa de escolarização situava o Município na 395ª posição entre os 853 municípios do Estado. Em um contexto nacional, o Município classificava-se na 2411ª posição entre 5570 municípios brasileiros (IBGE, 2022).

Quanto ao Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) em 2021, para os anos iniciais do ensino fundamental na rede pública, o índice alcançado foi de 6,1. Para os anos finais do ensino fundamental, o IDEB registrado foi de 4,5. Comparando-se com outros municípios do Estado, o Município ocupava as posições 200 e 578 de 853, respectivamente, para os anos iniciais e finais. Em uma análise nacional, essas posições correspondiam à 1275ª e 3358ª entre 5570 municípios brasileiros, respectivamente, para as mesmas categorias de ensino (IBGE, 2022).

3.1.4 Geografia e Clima

No ano de 2022, a extensão territorial do município totalizava 689,794 quilômetros quadrados. Essa área situa o município na 229ª posição no ranking de tamanho entre os 853 municípios do estado. Em uma perspectiva mais ampla, abrangendo todo o país, essa medida o classifica na 1941ª posição em termos de área, considerando os 5570 municípios brasileiros (IBGE, 2022).

Localizado na Zona Tropical Brasil Central, o município de Três Pontas/MG apresenta um clima mesotérmico brando, com temperaturas médias variando entre 15º C e 18º C em pelo menos um mês, e é classificado como semiúmido, tendo de 4 a 5 meses secos. Segundo a classificação de Thornthwaite (1948), o tipo climático do município é caracterizado como B3 – úmido, com um índice de umidade que varia de 60 a menos de 80 (IDE-SISEMA, 2023). Nota-se uma concentração das chuvas principalmente no período de novembro a março, indicando que a estação do verão recebe maior intensidade de chuvas em comparação com o inverno. Segundo a classificação de Köppen e Geiger (1928), o clima de Três Pontas é subtropical de inverno seco (Cwa), com temperaturas inferiores a 18 ºC no inverno e superiores a 22 ºC no verão. O município registra uma temperatura média de 20,3 °C e um índice de pluviosidade média anual de aproximadamente 1.429,00 mm (Climate-data, 2023).

Enquadra-se numa categoria de vulnerabilidade climática de grau moderado. Isso implica que, apesar de apresentar certa resiliência, o sistema regional possui elementos suscetíveis a impactos advindos de variações climáticas. Quanto à sensibilidade climática, o Município situa-se em um nível elevado. Tal classificação indica que mudanças no clima têm um impacto significativo sobre os sistemas ecológicos, socioeconômicos e infraestruturais locais (IDE-SISEMA, 2023).

Adicionalmente, o Município apresenta uma exposição moderada às mudanças climáticas. Esta categoria reflete uma probabilidade intermediária de ocorrência de eventos climáticos extremos ou de longo prazo que podem afetar a região. Paralelamente, observa-se uma capacidade de adaptação elevada às mudanças climáticas, indicando que o Município dispõe de recursos, estratégias e políticas eficazes para ajustar-se às novas condições climáticas e mitigar potenciais impactos adversos (IDE-SISEMA, 2023).

3.1.5 Cultura e Patrimônio

No município de Três Pontas, um dos bens culturais de destaque é representado pelos conhecimentos, linguagens e expressões musicais associados à viola em Minas Gerais, reconhecidos na figura do “Fazedor de viola”. Além disso, o município é palco de diversas manifestações religiosas, entre as quais se destacam as Folias de Minas, que incluem a Folia de Santa Margarida, São Cristóvão, Padre Victor 2, Companhia de Reis Santa Clara, Nossa Senhora do Bonfim, Campanha Família Dias e Caminho de Belém (IDE-SISEMA, 2023).

Também são notáveis alguns patrimônios tombados no âmbito municipal. Dentre eles estão o Conjunto Paisagístico do Parque Municipal Vale do Sol, o Conservatório Municipal de Música Heitor Villa Lobos (atualmente Centro Administrativo UNIS), o Coreto Municipal na Praça Cônego Vitor, o Conjunto Paisagístico da Praça Cônego Vitor, a Herma do Padre Vitor na Praça Cônego Vitor, o Casarão Coronel Rabelo e Campos, número 67, a Casa de Cultura Alfredo Benassi, o Casarão do Sr. Paulo Loures, o Centro Cultural de Três Pontas – Milton Nascimento, o Conjunto Paisagístico da Praça Travessia, o Passinho Remanescente na Rua Barão da Boa Esperança, número 198, o Pretório Remanescente na Rua Barão da Boa Esperança, número 484, a Capela São Francisco de Assis e o Parque da Mina do Padre Vitor (IDE-SISEMA, 2023).

3.1.6 Geologia e Hidrografia

De acordo com Pedrosa-Soares *et al*. (1994), a unidade geológica predominante no município de Três Pontas é do Proterozóico, denominada Sequência Varginha-Guaxupé. A região em foco é predominantemente caracterizada pela unidade geomorfológica conhecida como Depressão do Rio Grande. Esta configuração topográfica é definida como um compartimento extenso e rebaixado do relevo, formado ao longo do curso do Rio Grande. A abrangência desta depressão estende-se por vastas áreas no sul do Estado de Minas Gerais e engloba uma porção menor do Triângulo Mineiro (CETEC, 1983).

O presente estudo foi desenvolvido na microbacia hidrográfica do Córrego dos Bambus, que envolve parte da microbacia do Córrego Custodinho. Esta área conjunta

é denominada microbacia hidrográfica dos Córregos Bambus/Custodinho e faz parte da Unidade Estratégica de Gestão – UEG – 3 Afluentes do Rio Grande, e da Circunscrição Hidrográfica (CH) do Entorno do Reservatório de Furnas (GD3), localizada na região sul do Estado de Minas Gerais. A área total desta microbacia é de aproximadamente 16 km². O exutório para esta microbacia está localizado no entroncamento da Avenida Oswaldo Cruz com a Rua Boa Esperança (Figuras 9 e 10).

Entretanto, ao definir o exutório no ponto crítico de enchentes no Córrego dos Bambus, especificamente no trecho do entroncamento da Avenida Oswaldo Cruz com a Rua 12 de outubro e a Travessa D'Aparecida (Figuras 11 e 12), identifica-se a área de contribuição principal para as inundações severas em Três Pontas/MG. Esta área, denominada microbacia hidrográfica do Córrego dos Bambus, faz parte integral da microbacia hidrográfica dos Córregos Bambus/Custodinho e tem uma área de contribuição de cerca de 3,4 km². Ela também foi considerada na modelagem hidrológica descrita no item **3.7**. Em seguida, a Figura 13 é apresentada, mostrando o mapa de localização das microbacias do Bambus/Custodinho e Bambus.

Figura 9 – Vista posterior do ponto exutório da microbacia do Bambus/Custodinho



Fonte: Autoria própria.

Figura 10 – Vista anterior do ponto exutório da microbacia do Bambus/Custodinho



Fonte: Autoria própria.

Figura 11 – Vista posterior do ponto exutório da microbacia do Bambus



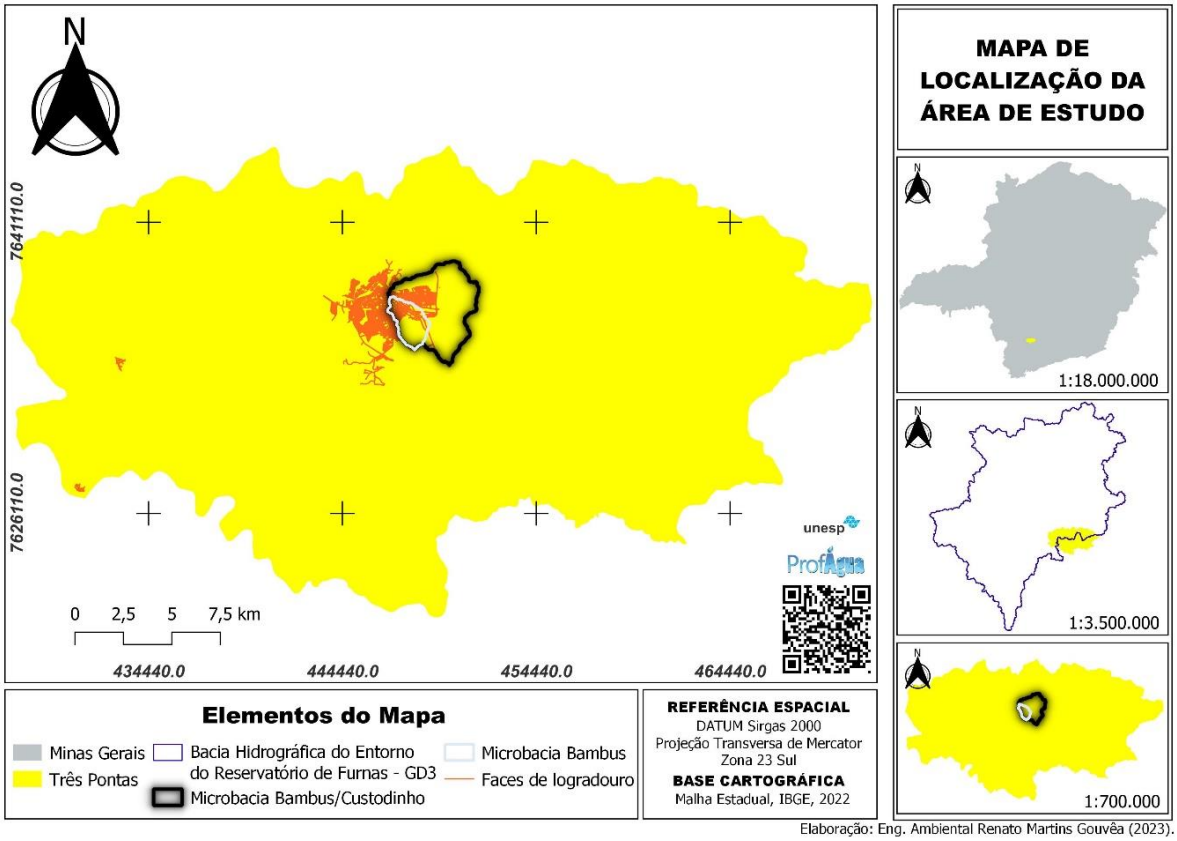
Fonte: Autoria própria.

Figura 12 – Vista anterior do ponto exutório da microbacia do Bambus



Fonte: Autoria própria.

Figura 13 – Mapa de localização da microbacia hidrográfica do Córrego Bambus/Custodinho



Fonte: Autoria própria.

Nas microbacias hidrográficas dos Córregos Bambus/Custodinho e do Córrego dos Bambus, observa-se a presença do Domínio dos Complexos Granito-Gnaisse-Migmatítico e Granulitos. Este domínio é caracterizado por um relevo de Morros e Serras Baixas, com declividades que variam de 15º a 35º, e uma textura do solo predominantemente argilo-síltico-arenosa. Os migmatitos ortoderivados são a formação geológica predominante nesta área (IDE-SISEMA, 2023).

Adicionalmente, as microbacias possuem o Domínio das Sequências Vulcanossedimentares Proterozóicas, que são dobradas e metamorfizadas, variando de alto a baixo grau. Esta região apresenta um relevo de Colinas Dissecadas e Morros Baixos, com declividades que variam de 5º a 20º, e uma textura do solo que varia de arenoso a argilo-siltoso. Neste domínio, os metassedimentos síltico-argilosos, representados por xistos, são predominantes (IDE-SISEMA, 2023).

Além disso, a área inclui um relevo Montanhoso, com declividades variando de 25º a 45º, e uma textura do solo que oscila de arenoso a argilo-siltoso. Os

metassedimentos síltico-argilosos, também representados por xistos, são as formações geológicas mais comuns neste relevo (IDE-SISEMA, 2023).

Por fim, o relevo de Morros e Serras Baixas, com declividades de 15º a 35º e uma textura do solo variável de arenoso a argilo-siltoso, completa a caracterização geológica das microbacias. Em todos os relevos mencionados, observa-se a presença de intemperismo físico e químico, variando de baixo a alto, tanto na orientação horizontal quanto na vertical (IDE-SISEMA, 2023).

No que se refere aos compartimentos de relevo, identificam-se alguns domínios principais. Um deles é o Domínio dos Cinturões Móveis Neoproterozóicos na região do Planalto do Alto Rio Grande, especificamente na unidade Planalto de Andrelândia. Esta área é caracterizada por uma categoria de relevo homogênea convexa, com uma dissecação do terreno que pode ser homogênea ou diferencial, e apresenta uma forma de topo convexa. Outro domínio também pertence aos Cinturões Móveis Neoproterozóicos, situando-se na região do Planalto de Poços de Caldas, mais especificamente na unidade Patamares de Varginha. Esta região apresenta características semelhantes ao primeiro domínio, com uma categoria de relevo homogênea convexa, uma dissecação que varia entre homogênea e diferencial, e uma forma de topo igualmente convexa (IDE-SISEMA, 2023).

Nas microbacias, observa-se a presença de estruturas geológicas significativas, incluindo, principalmente, uma falha ou zona de cisalhamento transcorrente dextral, originária da Serra da Mantiqueira. Além disso, há também a presença de uma falha ou zona de cisalhamento compressional, que tem sua origem na mesma região da Mantiqueira (IDE-SISEMA, 2023).

Quanto à possibilidade de existência de cavidades, as duas microbacias apresentam uma potencialidade baixa a média para a formação de cavernas. Especificamente na microbacia do Córrego dos Bambus, observa-se uma predominância de média potencialidade para ocorrência dessas formações. Ademais, existe uma susceptibilidade significativa a processos de erosão e movimentos de massa, especialmente nas Colinas do Norte localizadas na vertente do Córrego Custodinho (IDE-SISEMA, 2023).

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 Delimitação da microbacia hidrográfica dos Córregos Bambus/Custodinho e representação de seus trechos de drenagem

Modelos Digitais de Elevação (DEMs) são entradas cruciais para uma gama de aplicações, tais quais: demografia (Zhang *et al*., 2018), ecologia (Moore, 1991; Amatulli *et al*., 2018), geomorfologia (Farahmand, 2013; Zhang *et al*., 2020), hidrologia (Sampson *et al*., 2015; YAO *et al*., 2018; HIRABAYASHI *et al*., 2021), dentre outras. No presente estudo, foram utilizados DEMs adquiridos do conjunto de dados chamado FABDEM (Forest And Buildings removed Copernicus DEM). Os dados estão disponíveis com um espaçamento de grade de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 m no equador) para o globo.

O conjunto de dados FABDEM está licenciado sob uma licença "CC BY-NC-SA 4.0" do *Creative Commons*. O FABDEM tem benefícios notáveis quando comparado com qualquer outro DEM global existente. Resultante do novo Copernicus GLO-30 DEM (COPDEM30) e dispondo de uma aprendizagem automática de correção de florestas e edifícios, faz com que ele seja preferível para muitos fins, tal como a representação de terra nua do terreno para estudos hidrológicos e modelagens de inundação (Hawker *et al*., 2022).

Após a aquisição da cena que engloba a região de Três Pontas/MG, S30W050-S20W040_FABDEM_V1-0, no Repositório de Dados de Pesquisa data.bris, referente aos dados de altitude, foram realizadas as etapas de processamento utilizando o software livre QGIS versão 3.22.6. A delimitação da microbacia foi feita por meio do pacote de software para álgebra de mapas e modelagem dinâmica ambiental denominado *PCRaster*, disponibilizado na Caixa de Ferramentas de Processamento QGIS, bem como do software híbrido, multiplataforma da GIS livre denominado SAGA, o qual forneceu métodos geocientíficos agrupados nas chamadas bibliotecas de módulos (QGIS, 2022).

Os processos para a delimitação foram os seguintes: 1 – Eliminar as depressões (*Fill sinks* – *Wang & Liu* – SAGA *Next Gen*); 2 – Direção de Fluxo (*Flow Direction*) pelo *lddcreate* do *PCRaster*; 3 – Trechos de Drenagem e Classificação segundo Strahler (1952, 1957) pelo *streamorder* do *PCRaster*; 4 – Definição do exutório pelo *Column file to PCRaster Map* do *PCRaster*, 5 – Delimitação da

microbacia pelo *catchment* do *PCRaster*. Após a realização dos procedimentos anteriores, procedeu-se à digitalização manual de um polígono a partir da identificação visual dos divisores topográficos identificados pela conformação das curvas de nível para corroborar com o polígono obtido pelo software, sendo feitas pequenas correções quando necessário. Em relação aos trechos de drenagem, foi realizada a comparação com a Hidrografia Ottocodificada da ANA/IGAM, disponível no IDE-SISEMA, seguida de correção manual dispondo do software Google Earth Pro, bem como a alocação de pontos de referência *in loco* dispondo-se do GPS, GLONASS, Garmin 64S com precisão de cerca de 3 m.

3.3 CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA E MORFOMÉTRICA DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DOS CÓRREGOS BAMBUS/CUSTODINHO

A caracterização fisiográfica foi realizada utilizando dados planimétricos e altimétricos correspondentes à bacia em estudo. Inicialmente, foram determinados a área (A) e o perímetro (P) da referida bacia, bem como o comprimento total dos canais fluviais (lc).

3.3.1 Parâmetros morfométricos

3.3.1.1 Fator de forma (K_f)

Consiste na relação da área da microbacia e do comprimento axial do curso d'água principal (TUCCI, 2001), a saber:

$$K_f = \frac{A}{L^2} \qquad (1)$$

Em que, A é a área da microbacia; L é o comprimento axial do curso d'água principal.

O fator de forma de uma bacia hidrográfica indica a tendência para a ocorrência de enchentes. Bacias com um fator de forma mais baixo apresentam menor propensão a enchentes, pois o escoamento superficial é mais distribuído ao longo do tempo. Em contrapartida, bacias de mesmo tamanho, mas com um fator de forma

elevado, tendem a concentrar o escoamento em um período mais curto, aumentando o risco de enchentes (Villela; Mattos, 1975).

O fator de forma (K_f) de uma bacia hidrográfica pode ser interpretada conforme seus valores. Bacias hidrográficas com fator de forma entre 1,00 e 0,75 possuem alta propensão a grandes enchentes, pois o escoamento converge rapidamente para o ponto de saída. Já as bacias com fator entre 0,75 e 0,50 apresentam uma tendência mediana a grandes enchentes, e aquelas com fator inferior a 0,50 são menos suscetíveis a grandes eventos de enchente, devido à maior dispersão do fluxo ao longo do tempo (Villela; Mattos, 1975).

3.3.1.2 Fator de compacidade (K_c)

Analogia da microbacia com uma área circular, sendo que quando K_c = 1 a microbacia é bastante similar ao formato circular (TUCCI, 2001).

$$K_c = 0{,}28 \frac{P}{\sqrt{A}} \qquad (2)$$

Em que, P é o perímetro; A é a área da microbacia.

O fator de forma (K_c) de uma bacia hidrográfica pode ser interpretada conforme seus valores. A bacia hidrográfica torna-se menos suscetível a enchentes conforme seu coeficiente de compacidade (Kc) aumenta, o que reflete sua forma mais irregular. Bacias com um coeficiente de compacidade entre 1,00 e 1,25 são consideradas arredondadas a ovaladas e, portanto, mais propensas a enchentes devido à concentração mais rápida do escoamento superficial. Já as bacias com Kc entre 1,25 e 1,50 são classificadas como ovaladas e apresentam menor propensão a enchentes. Bacias mais alongadas, com Kc entre 1,50 e 1,70, tendem a escoar a água de maneira mais distribuída ao longo do tempo, sendo as menos suscetíveis a grandes eventos de enchente (Villela; Mattos, 1975).

3.3.2 Índices de drenagem

3.3.2.1 Ordem dos cursos d'água

A classificação dos cursos d'água, conforme desenvolvida inicialmente por Horton (1945) e posteriormente modificada por Strahler (1957), foi adotada nesta

pesquisa. De acordo com a hierarquia de Strahler, cursos d'água sem afluentes são classificados como de primeira ordem. A partir da confluência de dois cursos de primeira ordem, formam-se os cursos de segunda ordem, que podem ser alimentados por afluentes de primeira ordem. Na junção de dois cursos de segunda ordem, surgem os cursos de terceira ordem, que podem ter afluentes de primeira e segunda ordens, e assim por diante (Silveira, 2001). Importante ressaltar que a ordem de um curso d'água não se altera quando este se une a outro de ordem superior.

3.3.2.2 Densidade de drenagem

Consiste na relação entre a somatória do comprimento total dos cursos d'água e a área de contribuição da bacia hidrográfica, sendo os valores mais usuais $0{,}5\,\frac{km}{km^2} < D_d < 3{,}5\,\frac{km}{km^2}$ (ROLIM, 2004), conforme a equação a seguir.

$$D_d = \frac{\sum L_c}{A} \qquad (3)$$

Em que, D_d é a densidade de drenagem; L_c é o comprimento de cada curso d'água da microbacia; e A é a área de contribuição.

A densidade de drenagem (D_d) de uma bacia hidrográfica pode ser interpretada conforme seus valores. Quando a densidade é inferior a 1,5 km/km^2, classifica-se como baixa, indicando baixo escoamento superficial e maior infiltração. Para valores entre 1,5 e 2,5 km/km^2, a densidade é considerada média, refletindo uma tendência intermediária de escoamento superficial. Já entre 2,5 e 3,0 km/km^2, a densidade é alta, sugerindo uma maior propensão ao escoamento superficial e enxurradas. Valores superiores a 3,0 km/km^2 indicam densidade muito alta, com grande tendência ao escoamento superficial, ocorrência de enxurradas e erosão (França, 1968; Vale; Costa; Pimentel, 2019). Em síntese, quanto maior a densidade de drenagem, menor é o tempo para que a água alcance o curso d'água, e como consequência, tem-se uma ampliação dos efeitos de enchentes em áreas a jusante da bacia.

3.3.2.3 Sinuosidade do curso d'água principal (S_c)

Consiste na relação entre o comprimento do curso d'água principal e a distância retilínea da cabeceira à foz do curso d'água.

$$S_c = \frac{L}{d_c} \quad (4)$$

Em que, S_c é a sinuosidade do curso d'água principal; L é o comprimento do curso d'água principal; e d_c é a distância entre a cabeceira e a foz em linha reta.

Essa relação reflete a sinuosidade de um rio, ou seja, o grau de curvatura do canal fluvial (Villela; Matos, 1975). Embora o índice de sinuosidade não meça diretamente a velocidade do escoamento, ele afeta indiretamente essa variável, já que rios mais sinuosos tendem a apresentar velocidades de escoamento menores devido ao percurso mais longo e à maior resistência nas curvas (CHRISTOFOLETTI, 1981). Valores da relação superiores a 1,5 são comumente utilizados para classificar canais como meandrantes (Villela; Matos, 1975; Christofoletti, 1981).

3.3.2.4 Extensão do Percurso Superficial (E_{ps})

A extensão do percurso superficial (E_{ps}) representa a distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente (HORTON, 1945). Ela é calculada usando a seguinte fórmula:

$$E_{ps} = 1 / 2 \; x \; D_d \quad (5)$$

Em que, E_{ps} é a extensão do percurso superficial e D_d é a densidade de drenagem.

3.3.3 Relevo e Declividade Equivalente da Bacia

3.3.3.1 Razão de relevo (R_r)

O parâmetro R_r relaciona a variação altimétrica máxima de uma bacia hidrográfica com o comprimento do seu canal principal, indicando que quanto maior o valor de R_r, mais significativo será o desnível entre a cabeceira e a foz da bacia. De acordo com Carvalho (1981), valores elevados desse índice refletem um relevo mais

acidentado. O aumento da razão de relevo implica em uma maior declividade média da bacia, o que resulta em uma maior velocidade de escoamento da água ao longo do eixo principal. Bacias com relevo mais elevado e inclinações acentuadas, portanto, tendem a apresentar escoamentos mais rápidos e concentrados.

Conforme Schumm (1956), esse parâmetro quantifica a relação entre a diferença altimétrica máxima e mínima da bacia e o comprimento total do canal principal. Assim, o valor de R_r serve como um indicativo da variação altimétrica em função do comprimento do canal, como se observa a seguir.

$$R_r = \frac{\Delta H}{L} \qquad (6)$$

Em que, ΔH é a amplitude altimétrica máxima e L é o comprimento do canal principal.

3.3.3.2 Declividade Equivalente (I_{eq})

Representa a declividade do curso d'água principal de determinada bacia hidrográfica, conforme pode ser observado a seguir (TUCCI, 2001).

$$I_{eq} = \left[\frac{L}{\sum L_j \, x \, I_j^{\frac{1}{2}}}\right]^2 \qquad (7)$$

Em que, L é o comprimento do talvegue principal; L_j é o comprimento do subtrecho; e I_j é a declividade do subtrecho.

Em suma, a análise dos parâmetros morfométricos da microbacia hidrográfica dos córregos Bambus/Custodinho tem como objetivo fornecer uma caracterização detalhada da fisiografia da bacia, utilizando dados planimétricos e altimétricos. Esta caracterização inclui a determinação da área, do perímetro e do comprimento total dos canais fluviais, bem como a avaliação de diversos coeficientes e índices. O fator de forma e o fator de compacidade são calculados para avaliar a forma e a compactação da bacia, respectivamente. Os índices de drenagem, como a ordem dos cursos d'água, densidade de drenagem, sinuosidade do curso d'água principal e extensão do percurso superficial, fornecem informações sobre a rede de drenagem e sua eficiência. Além disso, parâmetros como a razão de relevo e a declividade equivalente são utilizados para avaliar as características de relevo e a inclinação dos

cursos d'água. Esses dados são essenciais para entender a dinâmica hidrológica da bacia, prever possíveis inundações e planejar medidas de manejo e conservação.

3.4 MAPA DE SOLOS

O mapa de solos que foi desenvolvido utilizou como base o Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais, elaborado na escala 1:500000. Este mapa estadual é fruto de uma colaboração entre várias instituições, incluindo a Universidade Federal de Viçosa (UFV), a Universidade Federal de Lavras (UFLA), a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC) e a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) e pode ser encontrado na Infraestrutura de Dados Espaciais IDE- SISEMA (https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis). Além disso, utilizou-se o mapa de solos na escala 1:50.000, elaborado por Mathilde Aparecida Bertoldo em 2008, como parte de sua tese intitulada "Caracterização Edafoambiental da Cafeicultura na Região de Três Pontas, Minas Gerais". Este mapa proporcionou um detalhamento mais preciso da área estudada.

A determinação do tipo de solo local, essencial para este estudo, está intrinsecamente ligada à aplicação do Método SCS (Soil Conservation Service), também conhecido como Número da Curva ou Curve Number (CN). Este método representa uma abordagem empírica que integra três fatores críticos: as características intrínsecas do solo, o uso e a cobertura do solo, e as condições antecedentes de umidade.

Os perfis pedológicos identificados são caracterizados da seguinte maneira:

Solo A: Apresenta uma elevada capacidade de infiltração e gera um volume reduzido de escoamento superficial. Este perfil é composto predominantemente por areia, exibindo profundidade significativa e baixa proporção de silte e argila.

Solo B: Apresenta menor permeabilidade quando comparado ao Solo A. Este perfil é composto por areia em menor profundidade que o Solo A e detém uma permeabilidade superior à média.

Solo C: Caracteriza-se por produzir um volume de escoamento superficial acima da média e apresentar uma capacidade de infiltração inferior à média, com uma composição que inclui uma porcentagem considerável de argila e uma profundidade reduzida.

Solo D: Constituído por argilas expansivas, este perfil é superficial e possui uma capacidade de infiltração extremamente baixa (SCHWAB et al.,1993).

Os Coeficientes de Escoamento (CN) mencionados, nos Quadros 1 e 2 a seguir, correspondem a condições de umidade antecedente média (AMC II). Para ajustar o CN em situações que divergem do estado de umidade médio, deve-se recorrer aos quadros complementares. O Quadro 3 é utilizado para classificar os solos de acordo com a classe de umidade antecedente à precipitação em análise, com base nas precipitações ocorridas nos cinco dias anteriores ao evento crítico. Já o Quadro 4 fornece subsídios para a correção do CN em face de condições iniciais de umidade que não se alinham com o estado médio.

Quadro 1 – Valores do CN para bacias com ocupação agrícola

Uso do Solo	Superfície	Tipo de Solo A	Tipo de Solo B	Tipo de Solo C	Tipo de Solo D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	76	83	87
	Terraceado em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terraceado em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	Em curvas de nível	60	70	79	84
	Terraceado em nível	57	69	79	84
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	89
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curvas de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Densas, de alta transpiração	36	60	73	79
Chácaras	-	56	75	86	91
Estradas de terra	Normais	72	82	87	89
	Más	74	84	90	91

Fonte: TUCCI (1993).

Quadro 2 – Valores de CN para bacias com ocupação urbana

Utilização ou Cobertura do Solo	Tipo de Solo A	Tipo de Solo B	Tipo de Solo C	Tipo de Solo D
Zonas cultivadas: sem conservação do solo	72	81	88	91
Zonas cultivadas: com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições	68	79	86	89
Baldios – boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais - cobertura ruim	45	66	77	83
Bosques ou zonas florestais - cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios - com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios - com relva de 50 a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios	89	92	94	95
Zonas industriais	81	88	91	93
Zonas residenciais (lotes de <500 a 4000 m²)	Varia de 65 a 20	Varia de 77 a 51	Varia de 85 a 68	Varia de 92 a 79
Parques de estacionamento, telhados, viadutos etc.	98	98	98	98
Arruamentos e estradas asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
Arruamentos e estradas - paralelepípedos	76	85	89	91
Arruamentos e estradas - terra	72	82	87	89

Fonte: TUCCI (1993).

Quadro 3 – Classes de umidade antecedente

Classes	Chuva ocorrida nos 5 dias anteriores à de projeto (mm)
AMC I	0 - 35
AMC II	35 - 52.5
AMC III	> 52.5

Fonte: Adaptado de Schwab *et al* (1993).

Quadro 4 – Correção de CN para umidades diferentes da média (AMC II)

Valores médios (AMC II)	Valores corrigidos AMC I	Valores corrigidos AMC III
100	100	100
95	87	98
90	78	96
85	70	94
80	63	91
75	57	88
70	51	85
65	45	82
60	40	78
55	35	74
50	31	70
45	26	65
40	22	60
35	18	55
30	15	50
25	12	43
20	9	37
15	6	30
10	4	22
5	2	13

Fonte: Adaptado de Schwab *et al* (1993).

3.5 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

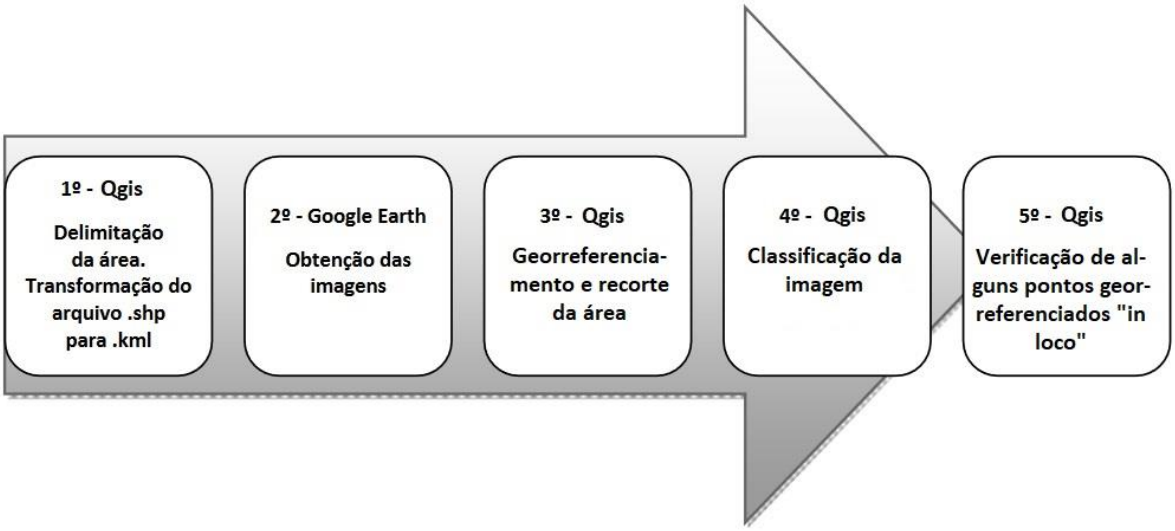
A análise inicial contemplou uma série de comparações descritivas abrangendo o intervalo de 2003 a 2023. Para tal, foram utilizadas imagens de satélite obtidas via Google Earth Pro, correspondentes aos anos de 2003, 2010, 2014/2015, 2017, 2020 e 2023. Esses anos foram selecionados devido à nitidez das imagens, que facilitou a identificação e avaliação das alterações no uso e ocupação do solo.

3.5.1 Mapa de uso e ocupação do solo

Para o desenvolvimento desta parte do estudo, foram utilizadas ferramentas computacionais, incluindo o Qgis 3.22.6, um software de Código Aberto licenciado sob a Licença Pública Geral GNU, empregado no processamento de dados geoespaciais

(QGIS, 2022). Além disso, o Google Earth Pro, da Google, foi utilizado para a aquisição de imagens de alta resolução espacial, provenientes do satélite Plêiades da Airbus, com resolução de 0,5 m, referentes ao ano de 2023. A pesquisa também contou com a base de dados da Prefeitura Municipal de Três Pontas/MG e a Base Territorial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), relativa a Três Pontas/MG, atualizada em 2019. A demarcação da área de estudo foi realizada conforme a metodologia descrita no item **4.2**, e esta metodologia para a etapa em questão está esquematizada na Figura 14.

Figura 14 – Dinâmica das atividades



Fonte: Autoria própria.

De posse das imagens de alta resolução georreferenciadas, foi realizada a classificação de uso e cobertura do solo de forma manual, levando-se em consideração as seguintes classes: eixos de logradouro, faces de logradouro, árvores isoladas, áreas brejosas, barramentos, aceiros, solo exposto, pastagens/vegetação rasteira, hortas urbanas, floresta/bosque, áreas de regeneração, árvores em calçadas, carreadores de café, terreiros de café, lavouras de café, pista de pouso, piscinas, placas solares, áreas permeáveis residenciais e áreas permeáveis não residenciais na zona urbana. Após, houve verificação de alguns pontos georreferenciados em campo com o GPS, GLONASS, Garmin 64S, sendo esses pontos denominados “pontos de controle”.

3.6 ANÁLISE DA ÁREA DE ESTUDO E PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS

A Prefeitura Municipal de Três Pontas, por meio da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, realizou um estudo da área em questão, focando especialmente na rede de drenagem associada ao Córrego dos Bambus e na atual capacidade de manejo das águas pluviais, enfatizando os aspectos de macrodrenagem.

Esta análise incluiu visitas técnicas in loco para aferição da tubulação de entrada de água pluvial e análise de documentos e estudos, disponíveis no banco de dados da Prefeitura Municipal de Três Pontas/MG, da parte canalizada do Córrego dos Bambus. Além disso, para o dimensionamento das estruturas necessárias, foi empregado o software CANAL. Este programa computacional foi desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), pertencente ao grupo de pesquisa especializado em recursos hídricos.

No presente trabalho, de forma complementar, foram propostas medidas estruturais específicas, inclusive envolvendo práticas LID para melhorar a gestão de águas pluviais. Isso incluiu a revitalização de áreas de preservação permanente e zonas de proteção ambiental, a criação de espaços verdes urbanos, e a implementação de soluções permeáveis e áreas de infiltração em propriedades residenciais. Essas últimas devem garantir que, no mínimo, 20% da área interna seja coberta por vegetação e materiais permeáveis; que 60% das águas pluviais sejam infiltradas dentro dos limites do imóvel; e que árvores sejam plantadas nas calçadas adjacentes às residências. Paralelamente às medidas estruturais, medidas não estruturais foram propostas para complementar os esforços de gestão de águas pluviais. Isso incluiu a proposta de Minuta de Lei de IPTU Verde, um dos subprodutos deste projeto.

3.7 MODELAGEM HIDROLÓGICA PRÉ E PÓS IMPLEMENTAÇÃO DAS MEDIDAS PROPOSTAS

Diversos pesquisadores, incluindo Oliveira *et al*., (2010); Ribeiro e Lima, (2011); Oliveira e Guasselli, (2011); Gichamo *et al*., (2012); Martin *et al*., (2012); Haghizadeh *et al*., (2012); Abushandi & Merkel, (2013); Cabral *et al*., (2015) fizeram uso de modelos hidrológicos e hidráulicos, juntamente com Sistemas de Informação Geográfica (SIG), na definição de áreas inundáveis em corpos hídricos urbanos. A

finalidade desses estudos era fornecer embasamento para as autoridades competentes no sentido de minimizar os danos sofridos pelas comunidades localizadas em zonas ribeirinhas. Rennó e Soares (2007) entendem um modelo hidrológico como uma interpretação matemática do movimento da água e de seus elementos na superfície terrestre e/ou abaixo dela. Entretanto, Salvadore, Bronders e Batelaan (2015) enfatizam que, até o presente, não há uma metodologia universalmente aceita para simular um sistema de águas e suas interações, particularmente em contextos urbanos, dada a sua complexidade (KREBS *et al*., 2014). Sendo assim, é essencial conceber a modelagem desejada com base nas peculiaridades inerentes a cada ambiente.

O propósito fundamental da modelagem hidrológica foi avaliar e quantificar a redução potencial no hidrograma de cheia decorrente da aplicação de Soluções Baseadas na Natureza (SbN), como, por exemplo, as práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (Low Impact Development – LID) e a revitalização de áreas de preservação permanente, reservas legais e zonas de proteção. Através de simulações preditivas, analisou-se o comportamento do hidrograma de cheia sob condições existentes, comparando-o posteriormente com os cenários projetados após a implementação destas técnicas. O objetivo foi fornecer evidências quantitativas do impacto dessas intervenções na modulação dos picos de cheias, visando sensibilizar autoridades municipais e profissionais do setor sobre a eficácia destas práticas na gestão integrada de recursos hídricos e na mitigação de riscos de enchentes e inundações. Esta abordagem procurou, portanto, subsidiar decisões políticas e técnicas que favorecessem a adoção dessas soluções sustentáveis nos planejamentos urbanos e regionais.

Importante ressaltar que a simulação hidrológica para a microbacia do Córrego dos Bambus levou em consideração a implementação de LIDs, além disso, englobou outras situações como a revitalização de áreas de preservação permanente e zonas de proteção. Em contrapartida, para a microbacia hidrográfica dos Córregos Bambus/Custodinho, a simulação foi realizada levando-se em consideração apenas a revitalização de áreas de preservação permanente, reservas legais e zonas de proteção.

O estudo dos processos hidrológicos não é uma atividade simples, seja pelo grande número de variáveis envolvidas, seja pela ocorrência dos eventos em proporções globais. Uma técnica simplificada que comumente tem sido realizada em

alguns trabalhos científicos consiste na coleta de dados de entrada (chuva) e saída (vazão) em estações hidrometeorológicas convenientemente assentadas dentro das bacias hidrográficas. Uma vez que não foram encontrados dados de monitoramento fluviométrico da microbacia de interesse, o cálculo das vazões de projeto foi realizado dispondo-se de métodos indiretos, a partir da transformação da chuva em vazão. Visto que a área de contribuição da microbacia hidrográfica dos Córregos Bambus/Custodinho é de aproximadamente $16\,km^2$ (dezesseis quilômetros quadrados) e que a microbacia hidrográfica do Córrego dos Bambus possui área de contribuição de cerca de $3{,}4\,km^2$ (três quilômetros quadrados e quatrocentos mil metros quadrados), foi utilizado o Método SCS (SOIL CONSERVATION SERVICE), considerado o Método mais aplicável às condições brasileiras, nas quais se conhecem dados de precipitação, bem como características físicas das bacias hidrográficas, mas não se dispõem de dados de monitoramento de vazões para as pequenas bacias (Nascimento *et al*., 2011).

3.7.1 Dados de chuva

Inicialmente, os dados pluviométricos seriam provenientes da estação Três Pontas – 2145043, escolhida por sua localização estratégica, a aproximadamente 1,5 km do ponto exutório e 3,5 km do ponto mais distante da microbacia dos Córregos Bambus/Custodinho. A estação também possuía uma série histórica de 40 anos, fornecida pela Agência Nacional de Águas (ANA), com apenas 4,9% de falhas nos registros diários.

Entretanto, uma avaliação detalhada baseada em *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate* (WMO, 2007) indicou que, se os dias ausentes forem distribuídos aleatoriamente ao longo de um mês, a incerteza resultante é relativamente baixa, com um intervalo de confiança de 95% correspondendo a 11% do desvio padrão para até 5 dias ausentes, e 17% para até 10 dias.

Adicionalmente, uma incerteza maior ocorre se os dias ausentes forem consecutivos, devido à autocorrelação dos dados meteorológicos, em que dias com valores acima ou abaixo do normal tendem a influenciar os valores subsequentes.

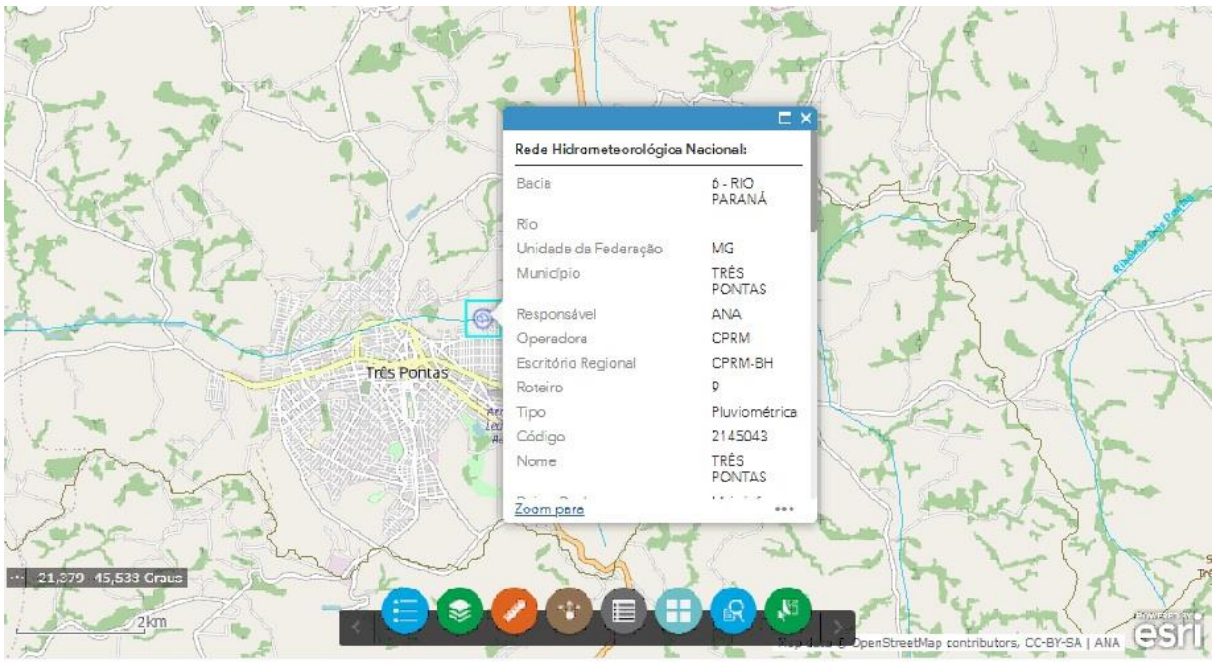
O *Guia para Práticas Climatológicas* (WMO, 2011) recomenda que uma normal climatológica seja calculada apenas quando os dados estejam disponíveis para pelo

menos 80% dos anos do período de referência, ou seja, em 24 dos 30 anos. O guia também adverte que o cálculo de normais não deve ser realizado caso haja ausência de dados em três ou mais anos consecutivos.

No caso da estação Três Pontas, lacunas foram identificadas em períodos críticos, como o mês de junho de 2021, os meses de janeiro a julho de 2007, de outubro a dezembro de 2006, e janeiro de 1983. Embora a série atendesse ao requisito de 80% de anos com dados disponíveis, essas lacunas inviabilizaram seu uso direto. O *WMO* (2017) também recomenda que estimativas sejam usadas apenas para preencher lacunas pequenas e dispersas, como até 10 dias de ausência em um mês.

Portanto, optou-se por não utilizar os dados da Estação Pluviométrica Três Pontas. Em vez disso, as estimativas de precipitação foram realizadas com auxílio do software Plúvio 2.1, conforme descrito no item **3.7.2**. A Figura 15 apresentada a seguir mostra a localização da Estação Pluviométrica Três Pontas – 2145043.

Figura 15 – Localização e informações da estação pluviométrica Três Pontas – 2145043



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (2023).

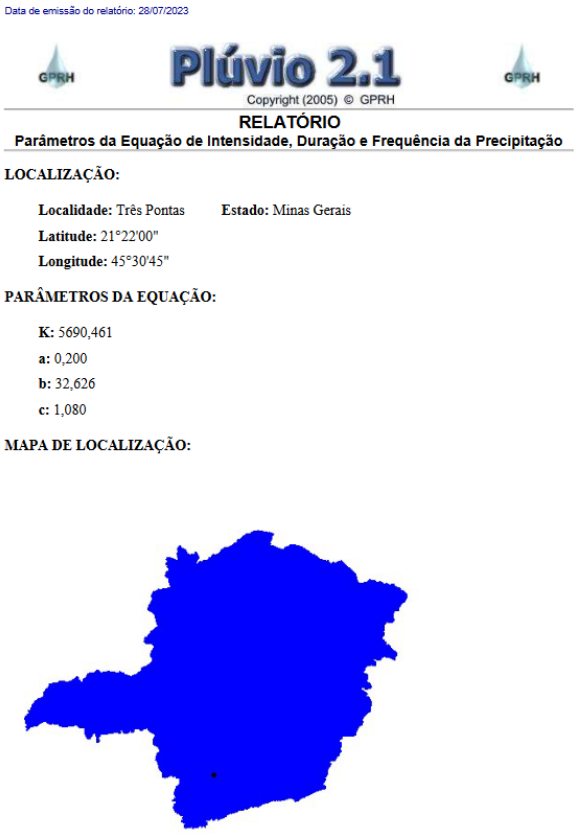
Uma vez que não se dispõe de registros de chuvas intensas de distribuição infradiária, optou-se por distribuir as chuvas pelo método de distribuição temporal da chuva denominado Método de Huff, conforme descrito por (HUFF, 1967). Esse método, criado em 1967 na região centro-leste do Estado de Illinois, foi desenvolvido

a partir da observação de registros de chuva ao longo de 11 anos, envolvendo 49 postos com áreas de contribuição de cerca de 1000 km². Ele propõe quatro distribuições para chuvas intensas, e cada uma delas foi denominada como “quartil”. É válido salientar que o método foi utilizado no Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê (PDMAT). Conforme o Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de São Paulo (2012), a definição da distribuição temporal e duração das chuvas de projeto obedece a diferentes diretrizes metodológicas, gerando variações significativas em descargas máximas e volumes de enchentes. Ressalta-se que, em projetos de drenagem urbana, comumente se opta por chuvas de 2 ou 3 horas de duração, utilizando a distribuição pelo método dos blocos alternados ou o método de Huff 1º quartil (São Paulo, 2012).

3.7.2 Estimativa de chuva com Tempo de Retorno (TR) de 50 anos

A projeção de chuva com Tempo de Retorno (TR) de 50 anos foi realizada com suporte do software Plúvio 2.1. Este programa usa o método inverso da quinta potência da distância para espacializar os dados de chuvas intensas, pois esta metodologia foi uma das 28 combinações que proporcionaram melhores estimativas da intensidade média máxima de precipitação, de acordo com Cecílio e Pruski (2003). Os mesmos autores apontam que o erro médio percentual observado nos testes foi de 19,37%, uma taxa aceitável para o estudo de chuvas intensas. A seguir, dispõe-se da Figura 16 referente aos valores dos parâmetros para a cidade de Três Pontas/MG.

Figura 16 – Dados do software Plúvio 2.1 para a região de Três Pontas/MG



Data de emissão do relatório: 28/07/2023

Plúvio 2.1

Copyright (2005) © GPRH

RELATÓRIO

Parâmetros da Equação de Intensidade, Duração e Frequência da Precipitação

LOCALIZAÇÃO:

Localidade: Três Pontas **Estado:** Minas Gerais

Latitude: 21°22'00"

Longitude: 45°30'45"

PARÂMETROS DA EQUAÇÃO:

K: 5690,461

a: 0,200

b: 32,626

c: 1,080

MAPA DE LOCALIZAÇÃO:

Fonte: Adaptado de UFV (2023).

As expressões do software Plúvio 2.1 seguem o modelo apresentado na equação a seguir:

$$i_m = \frac{K * TR^a}{(t+b)^c} \qquad (8)$$

Em que, i_m é a intensidade máxima média de precipitação em mm/h, TR é o período de retorno em anos, t é a duração da precipitação em minutos e K, a, b, c são parâmetros relativos à localidade.

3.7.3 Modelagem hidrológica com o HEC-HMS

Para calcular as vazões produzidas pela chuva com TR = 50 anos, foi utilizado o software HEC - HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System), amplamente reconhecido por suas capacidades em Engenharia Hidrológica. O cálculo das áreas de contribuição foi realizado conforme descrito no item **4.2**. O método de Huff foi aplicado na construção do hietograma. Na definição da precipitação efetiva,

utilizou-se o método do Curve Number (CN), desenvolvido pelo Natural Resources Conservation Service (NRCS). O CN é um valor que reflete principalmente as características das bacias hidrográficas que geram escoamento, como o tipo de solo, uso da terra, condição hidrológica e condição antecedente de umidade (Mishra; Singh, 2004).

Para estimar a precipitação efetiva, foi aplicada a seguinte equação:

$$P_e = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S} \qquad (9)$$

Em que, P_e é a precipitação efetiva em mm, P é a precipitação total em anos, I_a é a abstração inicial em mm, e S é o máximo potencial de retenção do solo em mm.

Para I_a adotou-se o valor de $0{,}2S$, conforme recomendado pelo Natural Resources Conservation Service (NRCS). Assim, a equação (19) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$P_e = \frac{(P-0{,}2S)^2}{P+0{,}8S} \qquad (10)$$

Sendo S obtido conforme a equação a seguir:

$$S = 25{,}4 * (\frac{1000}{CN} - 10) \qquad (11)$$

O parâmetro CN está relacionado ao tipo de solo, à cobertura vegetal e às condições de umidade antecedentes. Neste estudo, foi utilizada a condição antecedente de umidade média para um solo do tipo B, considerada a mais apropriada pelas características locais (SMMA, 2021), que se caracteriza por uma taxa de infiltração moderada quando saturado, predominando solos de profundidade moderada a profunda, com drenagem de moderada a boa e textura variando de moderadamente fina a moderadamente grossa. A taxa mínima de infiltração observada para esses solos é de $3{,}81\ a\ 7{,}62\ mm/h$ (USDA; NRCS, 1986). Para a estimativa do CN, utilizou-se o mapa de uso e ocupação do solo (Figura 42). O valor do número CN foi determinado com base nos valores tabelados pelo NRCS, levando em consideração o tipo de solo da área de estudo, conforme descrito no item **4.4**. Para obter o hidrograma de projeto ou hidrograma da cheia a partir do hietograma da chuva,

foi aplicado o método do Hidrograma Unitário do NRCS, seguindo a proposta de Ebrahimian *et al*. (2012). O método tem como parâmetro o tempo de resposta (T_l). O valor de T_l foi obtido conforme a equação a seguir.

$$T_l = 0{,}6 * T_c \qquad (12)$$

Em que, T_c é o tempo de concentração em min.

O tempo de concentração foi calculado segundo a equação de Desbordes, conforme pode ser observado na Figura 17 abaixo. A escolha foi justificada por atender a todos os critérios: área inferior a 51 km², declividade abaixo de 7%, comprimento do curso d'água inferior a 18 km e classificação como urbana, além de ser uma equação recomendada por Silveira *et al*. (2005) devido ao baixo erro médio (11%) e desvio padrão (49%), boa representatividade e abrangência. Portanto, a aplicação da equação neste estudo de caso é validada.

Figura 17 – Características das áreas de estudo e equações relacionadas aos tempos de concentração onde foram desenvolvidas

Nome	Equação (1)
Izzard (2)	$T_c = 85{,}5(i/36286+C_r)i^{-0{,}667}L^{0{,}33}S^{-0{,}333}$
Kerby-Hathaway (3)	$T_c = 0{,}619N^{0{,}47}L^{0{,}47}S^{-0{,}235}$
Onda Cinem. (2)	$T_c = 7{,}35n^{0{,}6}i^{-0{,}4}L^{0{,}6}S^{-0{,}3}$
FAA (2)	$T_c = 0{,}37(1{,}1\text{-}C)L^{0{,}5}S^{-0{,}333}$
Kirpich (2)	$T_c = 0{,}0663L^{0{,}77}S^{-0{,}385}$
SCS Lag (2)	$T_c = 0{,}057(1000/CN\text{-}9)^{0{,}7}L^{0{,}8}S^{-0{,}5}$
Simas-Hawkins (4)	$T_c = 0{,}322A^{0{,}594}L^{-0{,}594}S^{-0{,}156}S_{scs}^{\ 0{,}313}$
Ven te Chow (5)	$T_c = 0{,}160L^{0{,}64}S^{-0{,}32}$
Dooge (6)	$T_c = 0{,}365A^{0{,}41}S^{-0{,}17}$
Johnstone (7)	$T_c = 0{,}462L^{0{,}5}S^{-0{,}25}$
Corps Engineers (8)	$T_c = 0{,}191L^{0{,}76}S^{-0{,}19}$
Giandotti (9)	$T_c = 0{,}0559(4{,}0A^{0{,}5}+1{,}5L)L^{-0{,}5}S^{-0{,}5}$
Pasini (10)	$T_c = 0{,}107A^{0{,}333}L^{0{,}333}S^{-0{,}5}$
Ventura (10)	$T_c = 0{,}127A^{0{,}5}S^{-0{,}5}$
Picking (11)	$T_c = 0{,}0883L^{0{,}667}S^{-0{,}333}$
DNOS (12)	$T_c = 0{,}419k^{-1}A^{0{,}3}L^{0{,}2}S^{-0{,}4}$
George Ribeiro (13)	$T_c = 0{,}222(1{,}05\text{-}0{,}2p)^{-1}LS^{-0{,}04}$
Schaake et al (14)	$T_c = 0{,}0828L^{0{,}24}S^{-0{,}16}A_{imp}^{\ -0{,}26}$
McCuen et al (15)	$T_c = 2{,}25i^{-0{,}7164}L^{0{,}5552}S^{-0{,}2070}$
Carter (15)	$T_c = 0{,}0977L^{0{,}6}S^{-0{,}3}$
Eagleson (15)	$T_c = 0{,}274nR^{-0{,}67}LS^{-0{,}5}$
Desbordes (16)	$T_c = 0{,}0869A^{0{,}3039}S^{-0{,}3832}A_{imp}^{\ -0{,}4523}$
Espey-Winslow (15)	$T_c = 0{,}343\ \phi L^{0{,}29}S^{-0{,}145}A_{imp}^{\ -0{,}6}$

Nome	Local	Nº bacias	Área km²	S %	L km	Tipo
Izzard	EUA	-	- ·	<4	<0,02 2	Parcela
Kerby	EUA	-	< 0,05	<1	<0,37	Parcela
O. Cin.	EUA	-	-	-	<0,03	Parcela
FAA	EUA	-	-	-	-	Parcela
Kirpich	EUA	6/7	<0,45	3/10	<1,2	Rural
SCS Lag	EUA	-	< 8,1	-	-	Rural
Simas	EUA	168	<15	-	-	Rural
Chow	EUA	20	1,1/19	-	-	Rural
Dooge	Irlanda	10	140/9 30	-	-	Rural
Johnst.	EUA	19	65/42 00	-	-	Rural
C. Eng.	EUA	25	<12000	<14	<257	Rural
Giandotti	Itália	-	-	-	-	Rural
Pasini	Itália	-	-	-	-	Rural
Ventura	Itália	-	-	-	-	Rural
Picking	-	-	-	-	-	Rural
DNOS	EUA	6	<0,45	3/10	<1,2	Rural
G. Ribeiro	EUA/Índia	8	<19000	1/10	<250	Rural
Schaake	EUA	19	<0,7	<7	<1,8	Urbana
McCuen	EUA	48	0,4-16	<4	<10	Urbana
Carter	EUA	-	<21	<0,5	<12	Urbana
Eagleson	EUA	-	<21	-	-	Urbana
Desbordes	França	21	<51	<7	<18	Urbana
Espey	EUA	17	<91	-	-	Urbana

Fonte: Silveira (2005).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 FISIOGRAFIA DAS MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS, INCLUINDO SEUS PADRÕES DE DRENAGEM E CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS

A área da bacia hidrográfica, também conhecida como bacia de contribuição, constitui um parâmetro crítico em investigações hidrológicas que servem como fundamento para o desenvolvimento de projetos de dimensionamento hidráulico.

Diversos estudos têm se dedicado à caracterização fisiográfica de bacias hidrográficas, utilizando Modelos Digitais de Elevação (MDE). Mendes *et al*. (2017) utilizaram um modelo digital do terreno, SRTM de 30 m, disponibilizado pela NASA no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Almeida *et al*. (2010) também utilizaram imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission da NASA), embora não tenham especificado a resolução espacial. Adicionalmente, Mendes *et al*. (2017) usaram imagens do SRTM de 30 m e MDE de 10 m para suas análises.

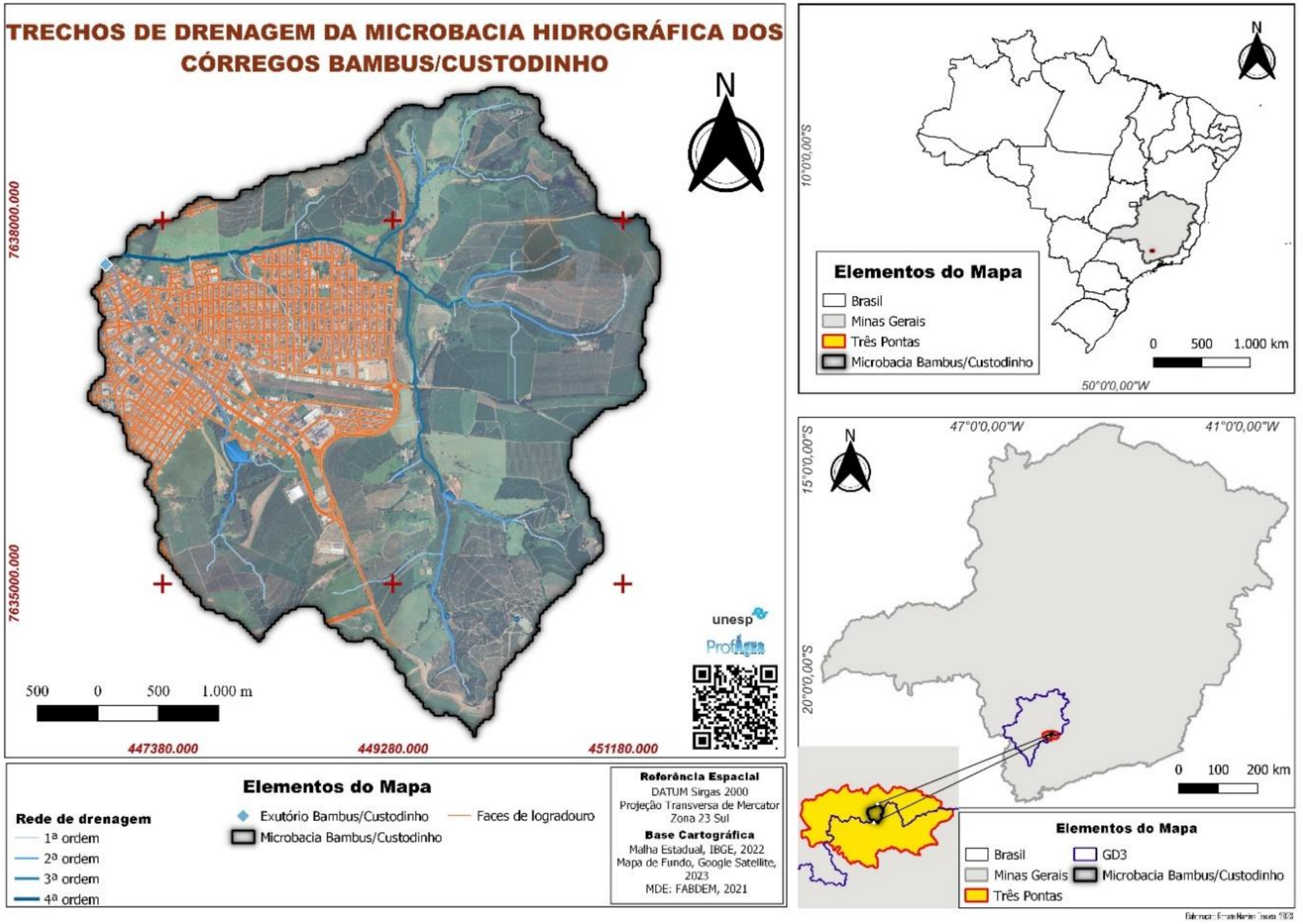
Segundo Hawker *et al*. (2022), muitas aplicações onde a representação do terreno é importante se beneficiarão da resolução e precisão aprimoradas do FABDEM em comparação com os DEMs globais existentes. Isso é especialmente verdadeiro na modelagem de inundações, onde o terreno é um determinante-chave dos fluxos de água e, portanto, dos locais de inundação. O FABDEM demonstra um desempenho superior em termos de precisão quando comparado com os modelos COPDEM30 e MERIT DEM. Especificamente, o FABDEM exibe erros menores em áreas urbanas, áreas florestais e em relação a edifícios, mostrando o benefício tanto do conjunto de dados mais recente COPDEM30 em comparação com as elevações baseadas em SRTM, quanto da eficácia das correções de florestas e edifícios aplicadas para FABDEM (Hawker *et al*., 2022). Segundo Breckenfel *et al*. (2022), evidencia-se a melhoria da informação topográfica em MDEs globais disponibilizados recentemente, com destaque para o COPDEM e o FABDEM, relativamente ao dado mais famoso e utilizado, que é o SRTM.

Diversos autores utilizaram recentemente o FABDEM para delimitação de bacias hidrográficas, tais quais: Ranjan, Keshari (2023) nos estudos de Modelagem Hidrológica Baseada em Processos para Analisar a Resposta de Sub-bacias Sob Eventos de Chuvas Extremas na Bacia do Rio Koyna; Maharashtra e Xu, Fu, Yang e

Wang (2022) utilizaram o FABDEM como principal entrada para a extração de parâmetros topográficos tanto na modelagem hidrológica quanto hidráulica para o pré-processamento de dados relacionados a, por exemplo, sub-bacias, redes de drenagem, inclinação, direções do fluxo de água e perfis transversais. Seeger, Minderhoud, Peffeköver, Vogel, Brückner, Kraas e Brill, em seu estudo de 2023, realizaram uma comparação entre dez Modelos Digitais de Elevação (DEMs) globais e um novo modelo local específico para o Delta de Ayeyarwady, em Mianmar, conhecido como AD-DEM, que foi gerado com base em dados de elevação de mapas topográficos, chegando à conclusão de que o FABDEM, CoastalDEM v2.1, GLL-DTM v1 e AD-DEM provavelmente refletem a configuração topográfica de forma mais realista do que os outros, com o FABDEM apresentando desempenho mais semelhante ao AD-DEM.

Para a avaliação das características fisiográficas da microbacia hidrográfica associada aos Córregos Bambus/Custodinho, foi empregado o Modelo Digital de Elevação FABDEM. Conforme especificado na Seção **3.2**, procedeu-se à extração da configuração da microbacia e de seus segmentos de drenagem. A Figura 18 apresenta a delimitação espacial da microbacia em conjunto com as respectivas áreas responsáveis pelo escoamento de água.

Figura 18 – Microbacia dos Córregos Bambus/Custodinho e seus trechos de drenagem



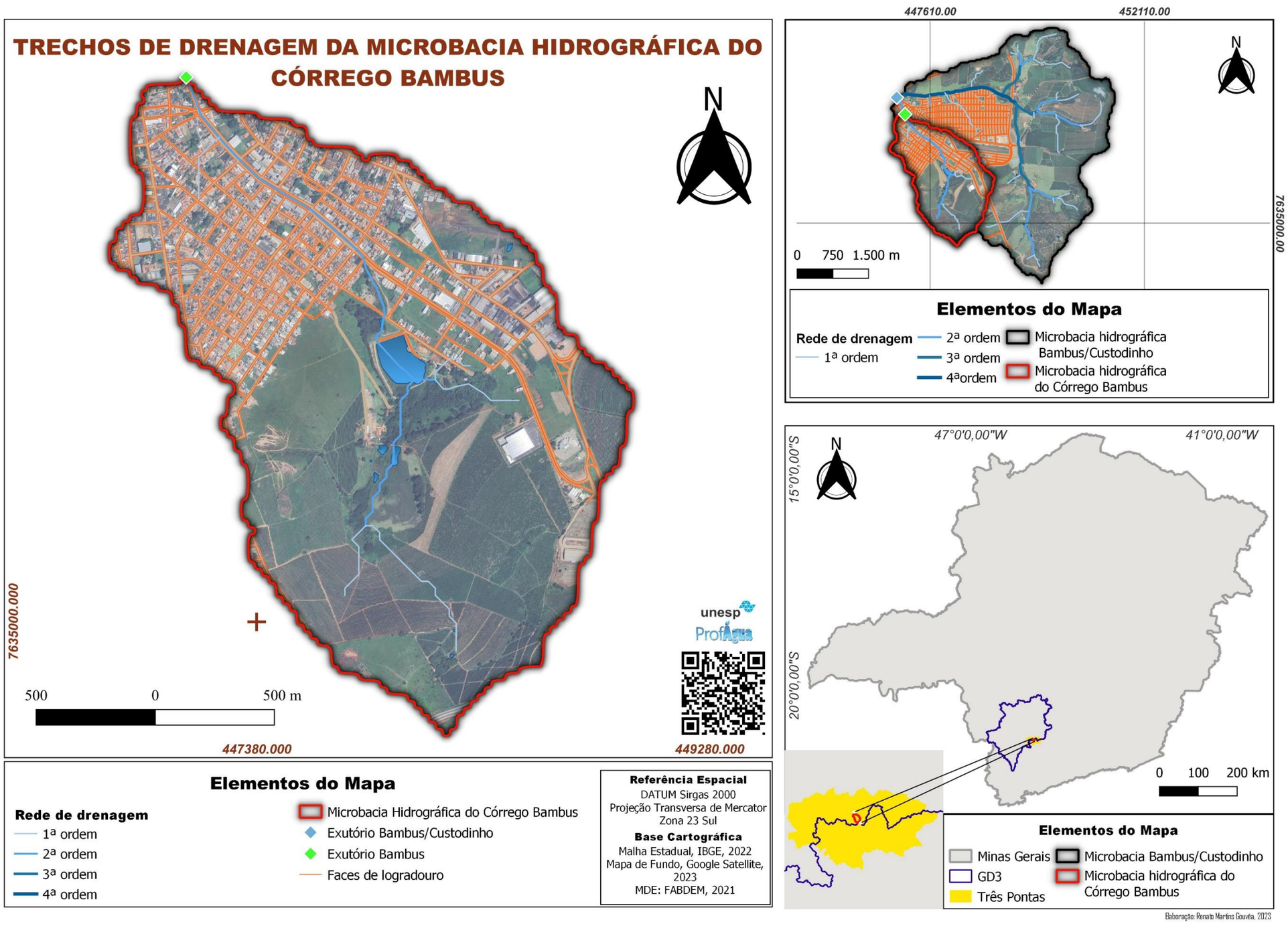
Fonte: Autoria própria.

A magnitude dos eventos de inundação é determinada por uma combinação de fatores, incluindo a intensidade e distribuição espacial das precipitações, a capacidade de infiltração do solo, o nível de saturação hídrica e as condições geomorfológicas da respectiva bacia de drenagem (Tominaga *et al*., 2009). Estes fatores foram também destacados por Seraphim (2018), o qual afirmam que a variação da capacidade de infiltração e a saturação do solo são cruciais para a compreensão da dinâmica das inundações em bacias urbanas. O'driscoll, Clinton, Jefferson, Manda e McMillan (2010) e Banjara, Bhusal, Ghimire e Kalra (2024) adicionam que a urbanização exacerba a impermeabilização do solo, aumentando significativamente a frequência e intensidade de inundações.

Geralmente, a magnitude do fator de forma, propriamente dito, (K_f), está diretamente relacionada à susceptibilidade de uma bacia hidrográfica a inundações. Uma elevada área de contribuição associada a um curto comprimento axial de drenagem tende a amplificar essa susceptibilidade. A reduzida extensão do talvegue conduz a uma resposta hidrológica mais rápida da bacia, uma vez que o trecho para a água percolar é pequeno. Como resultado, o tempo de concentração é alcançado mais rapidamente. Um tempo de concentração reduzido pode indicar uma rápida resposta do sistema hidrológico a uma chuva intensa (Tucci, 2001). Comparando com o estudo de Faria e Trindade (2021), verifica-se que bacias com K_f elevados em áreas urbanas também apresentam maior susceptibilidade a inundações devido à rápida concentração de escoamento superficial.

No presente caso, a microbacia hidrográfica dos Córregos Bambus/Custodinho possui como talvegue principal o Córrego do Custodinho. Ela é mais radial/ramificada e apresenta valor de fator de forma de $0{,}47$, o que indica não ser susceptível a inundações, uma vez que se torna menos provável que uma chuva intensa cubra toda a sua extensão. No entanto, ao estabelecer o exutório no ponto crítico de ocorrência de enchentes no Córrego dos Bambus, no trecho de entroncamento da Avenida Oswaldo Cruz com a Rua 12 de outubro e a Travessa D'Aparecida, identifica-se a área de contribuição primordial para as inundações mais severas registradas historicamente na cidade de Três Pontas/MG. Neste caso, o talvegue principal é o Córrego dos Bambus. A Figura 19 apresenta a delimitação espacial da microbacia do Córrego dos Bambus em conjunto com as suas respectivas linhas de drenagem.

Figura 19 – Microbacia do Córrego dos Bambus e seus trechos de drenagem



Fonte: Autoria própria.

Esta microbacia hidrográfica tem área de aproximadamente $3{,}4\ km^2$ e é mais elíptica, apresentando valor de fator de forma de $0{,}59$, o que indica ter tendência mediana quanto à susceptibilidade a inundações, uma vez que se torna mais provável que uma chuva intensa cubra toda a sua extensão.

A microbacia dos Córregos Bambus/Custodinho apresenta fator de compacidade ($\mathrm{K_c}$) equivalente a 1,34, enquanto a microbacia do Bambus apresenta $\mathrm{K_c}$ de 1,32. Portanto, ambas são elípticas e apresentam tendência mediana a grandes enchentes. Este ponto é compensado pela existência de Lei que determina espaços de Zonas de Proteção (ZPs), consideradas como áreas "*non aedificandi*". Apesar de não garantir a presença de uma densa cobertura florestal preservada, estas zonas, que proíbem edificações, minimizam a ocorrência de fluxos superficiais, o que aumenta o tempo necessário para a concentração da água escoada. Este ponto também foi analisado por Qin (2020), que demonstra como zonas de proteção, ao permitir maior infiltração e retardar o escoamento superficial, contribuem significativamente para a redução de inundações urbanas. Em seu estudo, Qin (2020), discute diversas técnicas de mitigação de inundações, incluindo infraestruturas verdes e sistemas de drenagem urbana sustentáveis, que são projetados para aumentar a infiltração, reter a água da chuva e diminuir o fluxo de pico de escoamento em áreas urbanas.

Estudos como o de Borsato e Martoni (2004) encontraram para a bacia do Morangueira, situada no município de Maringá, no Estado do Paraná, $\mathrm{K_c}$ também de 1,34, porém, K_f de 0,25. Considerando apenas o coeficiente de compacidade, pode-se afirmar que a bacia não é muito sujeita a enchentes, assim como as microbacias do Córrego Bambus e Bambus/Custodinho, uma vez que é improvável que toda a bacia contribua simultaneamente para o escoamento superficial. Já nos estudos de Cea e Costabile (2022), que revisam a modelagem e gestão do risco de inundações em áreas urbanas, discute-se como a alta densidade populacional e a infraestrutura inadequada podem exacerbar as inundações, mesmo em bacias com características morfométricas semelhantes. Esses estudos mostram que, embora a morfometria possa indicar uma menor susceptibilidade, fatores antropogênicos e urbanísticos, como a densidade populacional elevada e sistemas de drenagem insuficientes, desempenham um papel crucial na intensificação dos riscos de inundações.

De acordo com Christofoletti (1980), a densidade de drenagem é uma variável crucial na análise morfométrica de bacias hidrográficas. Ela indica o grau de dissecação topográfica resultante da atuação fluvial e reflete a quantidade de canais de escoamento disponíveis na paisagem. De acordo com Beltrame (1994), ao avaliarmos a densidade de drenagem, podemos determinar o potencial da bacia e de seus setores para permitir maior ou menor escoamento superficial da água. Isso, por sua vez, influenciará diretamente a intensidade dos processos erosivos na formação de canais.

Considerando a variação deste índice de 0,5 km/km² para bacias com drenagem pobre a 3,5 km/km² para bacias excepcionalmente bem drenadas, a densidade de drenagem na microbacia do Bambus/Custodinho e na microbacia do Bambus é, respectivamente, de 1,5 km/km² e 1,3 km/km². Isso indica que a primeira apresenta uma densidade de drenagem boa, ou seja, o sistema de drenagem é bem desenvolvido, enquanto a segunda apresenta uma rede de drenagem regular. (Vilella; Mattos, 1975). De acordo com Linsley *et al*. (1975), densidades de drenagem baixas são observadas em solos mais resistentes à erosão ou muito permeáveis e em áreas com relevo suave. Isso é confirmado na microbacia hidrográfica dos Bambus e Bambus/Custodinho onde os solos são menos resistentes à erosão e possuem, respectivamente, densidade de drenagem regular e boa. No entanto, Farias e Machado (2023) ressaltam que a densidade de drenagem deve ser avaliada juntamente com outros parâmetros hidrológicos e socioambientais para uma análise mais completa da susceptibilidade a inundações.

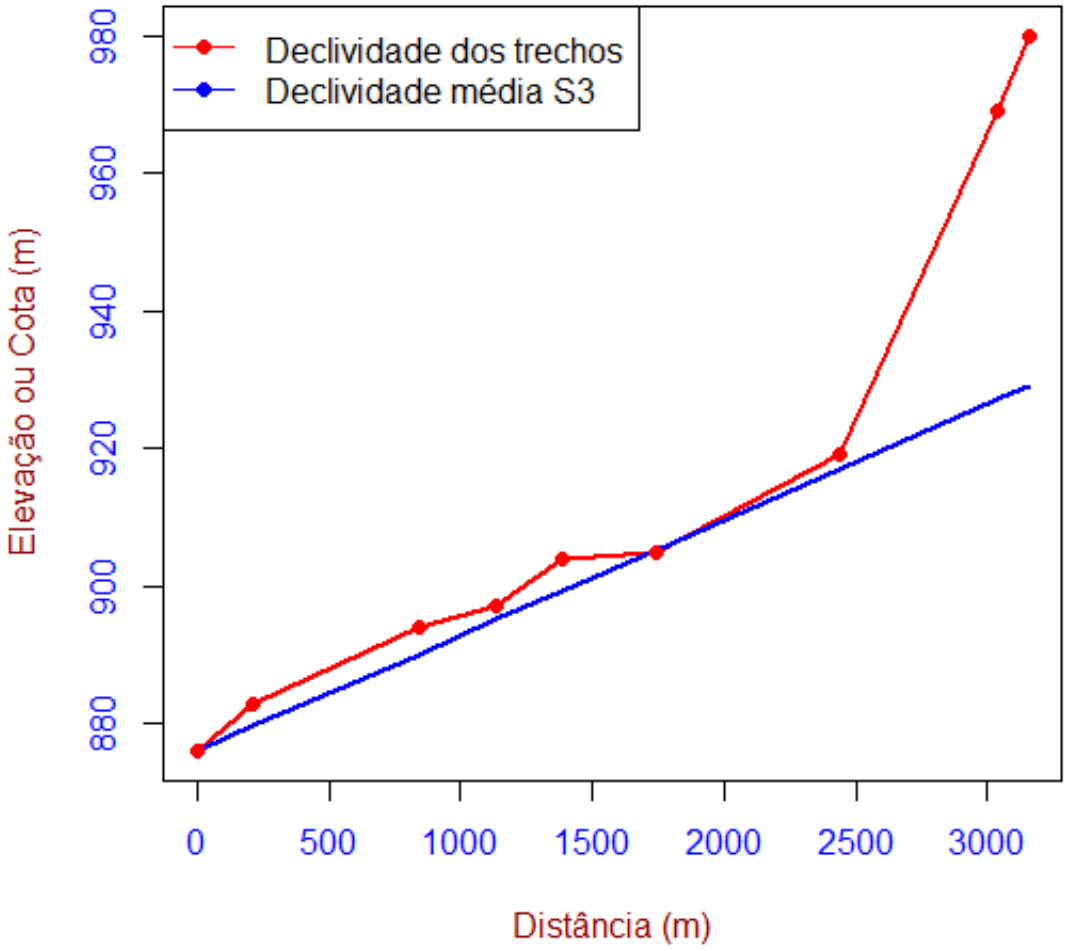
A Extensão do Percurso Superficial (E_{ps}) é um parâmetro morfométrico essencial que indica o nível de desenvolvimento do sistema de drenagem em uma bacia hidrográfica específica (Horton, 1945). Ela quantifica a distância média que o escoamento percorre desde os interflúvios até alcançar um canal fluvial, delineando o caminho das águas de escoamento desde o topo da vertente até o leito do curso d'água. Este parâmetro é profundamente afetado pela capacidade de infiltração do solo da área. Na microbacia do Bambus/Custodinho, o valor de E_{ps} é de $0{,}33$, o que implica um percurso médio de 330 m para a enxurrada até atingir um canal. Já na microbacia do Bambus, com um E_{ps} de $0{,}38$, a distância média é de 380 m até um canal.

Para a classificação dos canais quanto à sinuosidade (S_c), utilizou-se a proposta de Dury (1969), citado por Christofoletti (1980), em que os canais com S_c igual ou superior a $1{,}5$ (adimensional) são considerados meandrantes, enquanto os canais com S_c menor que $1{,}5$ são classificados como retos. Para a microbacia hidrográfica dos Córregos Bambus/Custodinho, o valor encontrado para este parâmetro é de 1,34. Já para a microbacia do Córrego dos Bambus o valor é de 1,18. Portanto, tanto o Córrego dos Bambus, quanto o Córrego do Custodinho são considerados retos, com destaque para o primeiro que sofreu canalização e retificação praticamente em toda a sua extensão na parte urbana.

Na prática, quando se retifica o curso d'água principal (L), há redução do seu comprimento, o que diminui a sinuosidade. Isso impacta no tempo de concentração (t_c), que fica também menor. Com o t_c menor, a resposta da bacia é mais rápida, aumentando a vazão do escoamento superficial. Estes resultados são coerentes com os encontrados por Walsh, Roy, Feminella, Cottingham, Groffman e Morgan (2005), que também observaram que a retificação de canais fluviais em áreas urbanas resulta em uma diminuição do tempo de concentração e um aumento na vazão de pico.

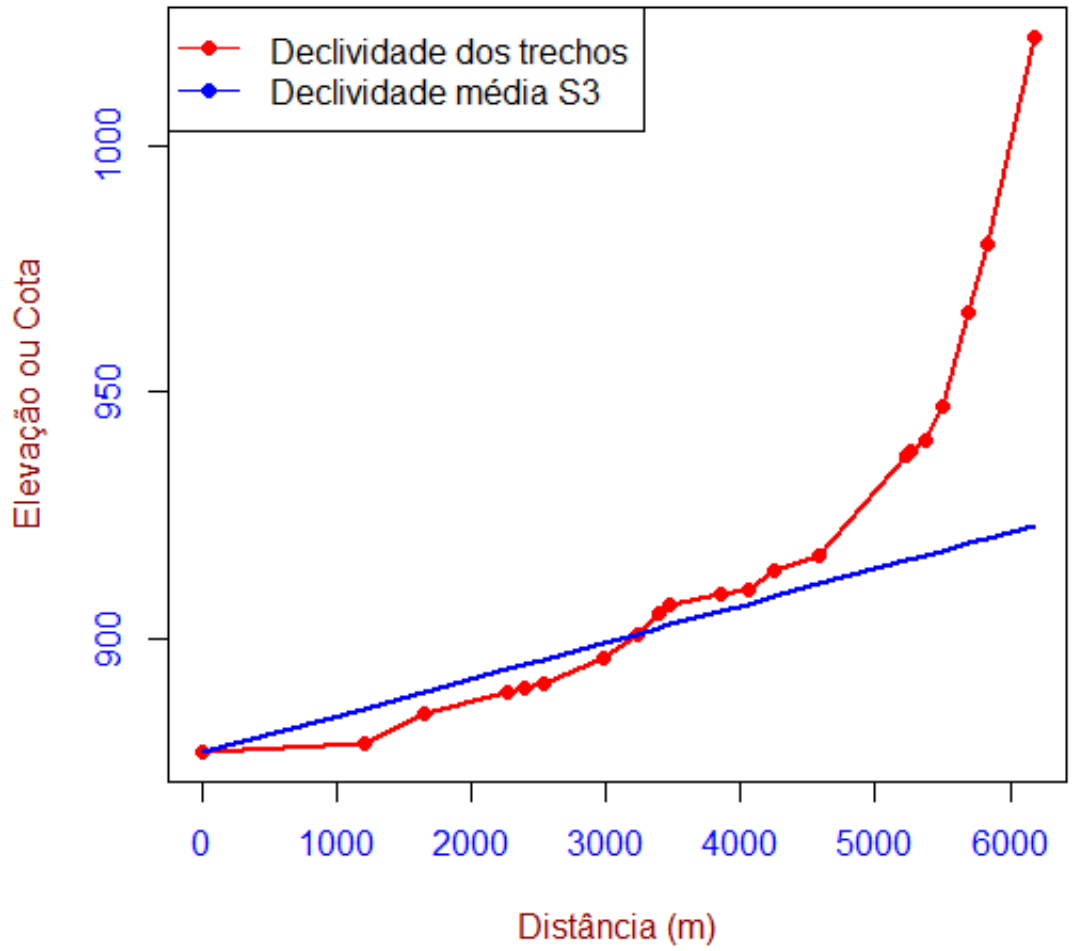
A declividade da bacia é um parâmetro de grande interesse hidrológico, especialmente para bacias pequenas, onde o escoamento superficial será determinante na forma do hidrograma (Linsley *et al*., 1975). Quanto maior a declividade, mais veloz é o escoamento, menor é o tempo de concentração da microbacia e maior é a tensão de arraste, o que pode intensificar os processos erosivos. Por outro lado, microbacias com menores declividades apresentam uma velocidade de escoamento reduzida e um tempo de concentração prolongado. Nesses casos, a tensão de arraste é menor, tornando a microbacia menos suscetível à erosão (Tucci, 2001). De acordo com Mendonça (2020), o método da declividade média equivalente (I_{eq}) é adotado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE-SP) e possui determinada importância na modelagem e estimativa de vazões de escoamento em bacias hidrográficas. A microbacia hidrográfica do Bambus/Custodinho apresenta I_{eq} de $0{,}007423\ m/m$, já a microbacia do Bambus apresenta I_{eq} de $0{,}01684\ m/m$, conforme pode ser observado nas Figuras 20 e 21 a seguir.

Figura 20 – Declividade dos trechos e declividade média (S3) do Córrego dos Bambus



Fonte: Autoria própria.

Figura 21 – Declividade dos trechos e declividade média (S3) dos Córregos Bambus/Custodinho



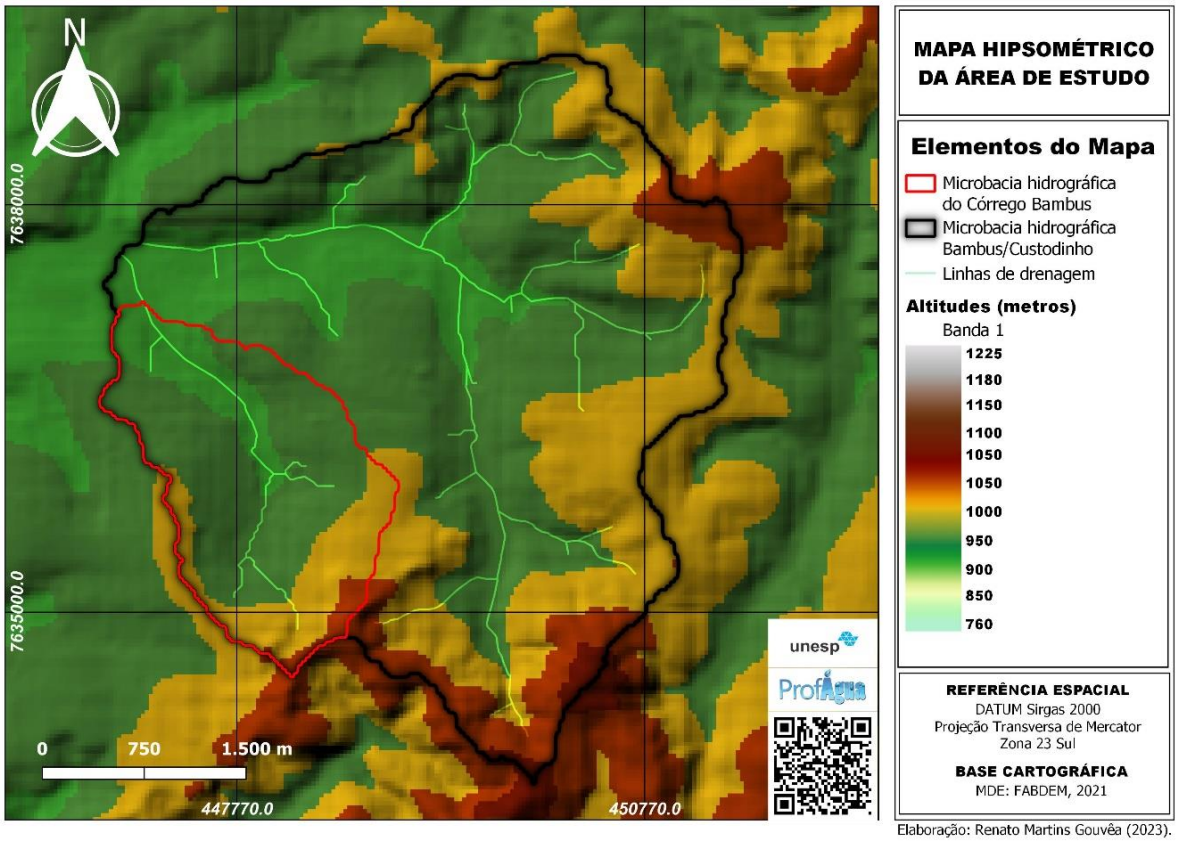
Fonte: Autoria própria.

A razão de relevo quantifica a relação entre a diferença máxima e mínima de altitudes na bacia e o comprimento total do canal principal, servindo como um indicativo da variação altimétrica em relação ao comprimento do canal principal (SCHUMM, 1956). O valor encontrado para a microbacia do Bambus/Custodinho é de $0{,}02485$, e para a microbacia do Bambus é de $0{,}04333$, ou seja, corresponde a um declive total de $2{,}485\%$ para a primeira microbacia e $4{,}333\%$ para a segunda. O baixo índice de razão de relevo é resultado da baixa amplitude altimétrica e consequentemente uma baixa declividade média caracterizando o relevo como plano (Bambus/Custodinho) a suave ondulado (Bambus). O mapa hipsométrico mostra que tanto a microbacia do Córrego dos Bambus, quanto a do Bambus/Custodinho

apresentam baixa variabilidade nas características topográficas. A amplitude altimétrica é de 145 metros, sendo a menor altitude encontrada no exutório do Córrego dos Bambus, e a maior nas cabeceiras do Córrego Custodinho.

Abaixo, apresenta-se a Figura 22 referente à hipsometria das microbacias hidrográficas de interesse.

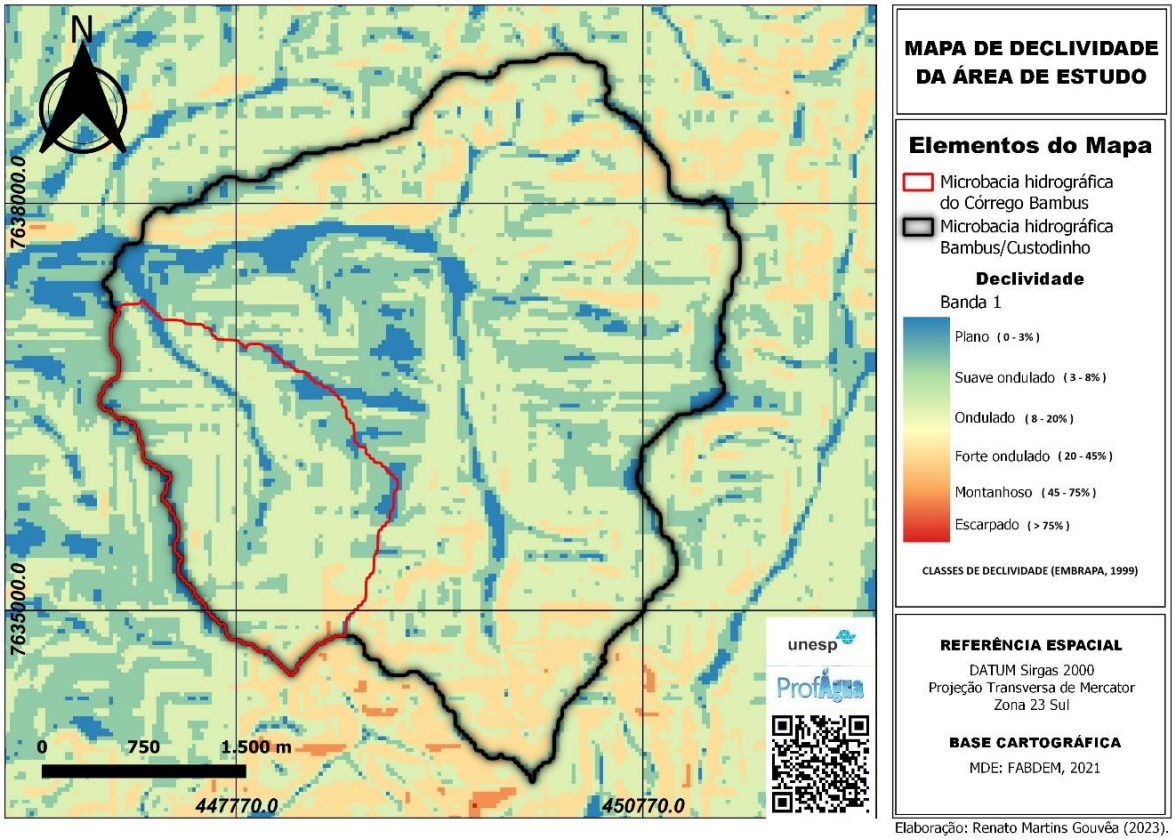
Figura 22 – Mapa hipsométrico das microbacias Bambus e Bambus/Custodinho



Fonte: SMMA (2023).

As categorias de declividade empregadas nesta pesquisa foram baseadas nas diretrizes estabelecidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) em 1999, que definiu um espectro de seis classes de declividade. Esta classificação varia desde relevo plano, com inclinações de 0 a 3%, até relevo escarpado, caracterizado por inclinações superiores a 75%. A seguir, apresenta-se a Figura 23 referente à declividade das microbacias hidrográficas de interesse.

Figura 23 – Mapa de declividade das microbacias Bambus e Bambus/Custodinho



Fonte: SMMA (2023).

A seguir, dispõe-se da Tabela 4 referente à síntese dos principais parâmetros calculados.

Tabela 4 – Parâmetros morfológicos e morfométricos das redes de drenagem das microbacias hidrográficas

Parâmetros	Microbacia Bambus	Microbacia Bambus/Custodinho
Fator de forma (K_f)	0,59	0,47
Fator de compacidade (K_c)	1,32	1,34
Densidade de drenagem	1,3 km/km^2	1,5 km/km^2
Extensão do Percurso Superficial (E_{ps})	0,38	0,33
Sinuosidade (S_c)	1,18	1,34

Declividade média equivalente (I_{eq})	$0{,}01684\ m/m$	$0{,}007423\ \mathrm{m/m}$
Razão de relevo (R_r)	$0{,}04333$	$0{,}02485$

Fonte: Autoria própria.

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a microbacia hidrográfica do Córrego dos Bambus apresenta uma maior vulnerabilidade a eventos de inundação em comparação à microbacia hidrográfica dos Córregos Bambus/Custodinho. As medidas de gestão e planejamento urbano devem, assim, considerar essas características intrínsecas para mitigar os riscos associados a inundações, priorizando a conservação e restauração das áreas de preservação permanente, a implementação de Soluções Baseadas na Natureza (SbN), como as práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) e a manutenção de uma rede de drenagem eficiente.

As medidas de gestão e planejamento urbano devem considerar características intrínsecas das áreas para mitigar os riscos associados a inundações. Segundo Ramísio *et al*. (2022), é crucial priorizar a conservação e restauração das áreas verdes, bem como a implementação de Soluções Baseadas na Natureza (SbN), como as práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) e a manutenção de uma rede de drenagem eficiente. Estas abordagens visam não apenas reduzir os riscos de inundações, mas também trazer benefícios sociais, econômicos e ambientais, melhorando a resiliência urbana frente às mudanças climáticas.

Além disso, Delden *et al*. (2023) destacam que a integração de SbN com sistemas tradicionais de drenagem urbana pode mitigar os impactos de eventos extremos, como inundações e poluição, proporcionando co-benefícios importantes para o desenvolvimento socioeconômico e a sustentabilidade urbana. Eles ressaltam a necessidade de um planejamento urbano abrangente que incorpore soluções inovadoras para o manejo de águas pluviais e a criação de espaços verdes urbanos.

Essa integração de soluções baseadas na natureza (SbN) com sistemas tradicionais de drenagem é particularmente relevante para a microbacia do Córrego dos Bambus, dada sua maior vulnerabilidade a eventos de inundação. A abordagem de Delden *et al*. (2023), que enfatiza um planejamento urbano abrangente e inovador, pode ser essencial para mitigar os riscos de inundação nesta microbacia. Portanto, ao adotar práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) e priorizar a restauração

de áreas verdes, como as de preservação permanente, conforme sugerido por Ramísio *et al*. (2022), a gestão urbana pode não só reduzir os riscos de inundações, mas também melhorar a resiliência e sustentabilidade urbana, alinhando-se às recomendações técnicas mais recentes e às necessidades específicas da região.

Ademais, a análise dos parâmetros morfométricos indica que, intrinsecamente, as microbacias em estudo não apresentam predisposição natural para eventos de inundação. Sugere-se que a incidência de enchentes nas microbacias está mais relacionada a fatores antropogênicos, incluindo a inadequada gestão do uso e ocupação do solo, condições climáticas extremas e a ausência de um planejamento e projeto eficientes para a canalização do córrego. Essas variáveis antropogênicas parecem ter contribuído significativamente para a atual vulnerabilidade das microbacias a eventos hidrológicos extremos.

De forma similar, Borsato e Martoni (2004) verificaram que as bacias da área urbana de Maringá são naturalmente pouco sujeitas a enchentes. Devido ao seu formato mais retangular, à drenagem deficiente e à baixa declividade, elas tendem a apresentar uma resposta hidrológica lenta, com redução dos picos de enchente. No entanto, a alta taxa de impermeabilização de seus terrenos aumenta a taxa de escoamento superficial, elevando os picos de enchente. Isso é especialmente crítico nas bacias do córrego Moscado e do ribeirão Borba Gato, que estão localizadas totalmente em áreas urbanas e são as bacias menores e mais circulares.

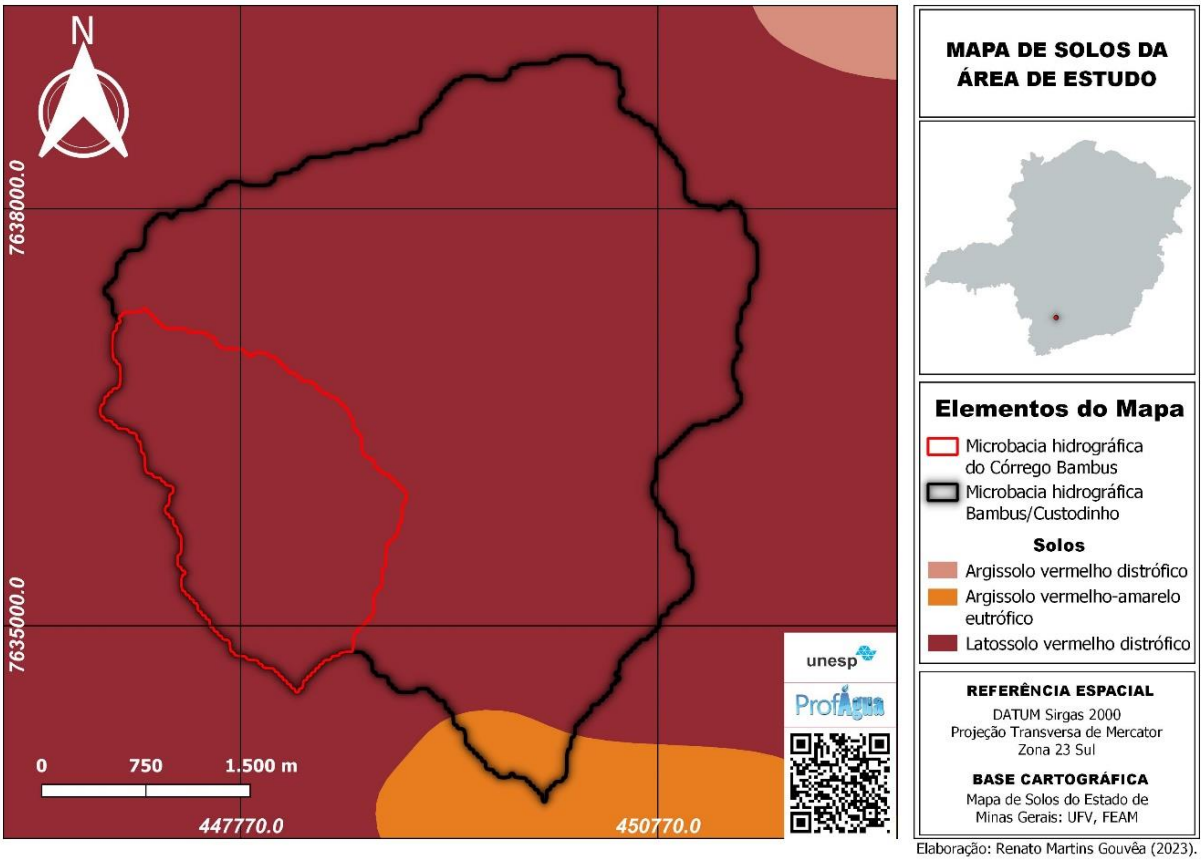
Essas observações destacam a importância dos fatores antropogênicos na intensificação dos eventos de inundação, independentemente da predisposição natural das bacias. Em ambos os contextos, a inadequada gestão do uso do solo e a alta impermeabilização contribuem significativamente para a vulnerabilidade das áreas urbanas a eventos hidrológicos extremos. Portanto, estratégias integradas de gestão e planejamento urbano, incluindo a implementação de soluções baseadas na natureza, como as práticas de desenvolvimento de baixo impacto, são essenciais para mitigar esses riscos e melhorar a resiliência das áreas urbanas.

4.2 SOLOS

Conforme a análise do levantamento pedológico da microbacia hidrográfica do Córrego dos Bambus, identifica-se uma predominância do Latossolo Vermelho Distrófico em sua extensão territorial. Analogamente, na microbacia hidrográfica dos

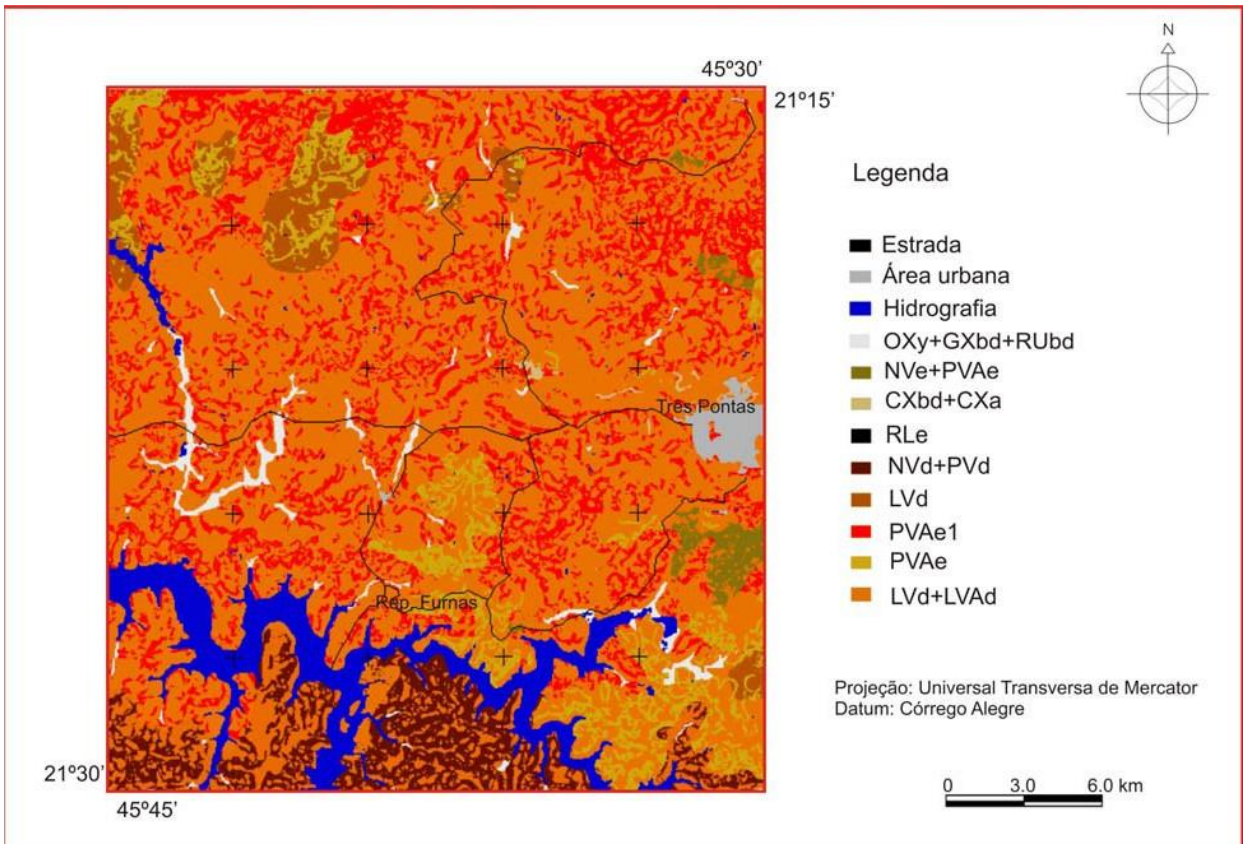
Córregos Bambus/Custodinho, há uma preeminência do Latossolo Vermelho Distrófico. No entanto, uma área minoritária, localizada na porção sudeste desta microbacia, manifesta a presença de Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico (Figuras 24 e 25).

Figura 24 – Mapa de solos das microbacias Bambus/Custodinho



Fonte: Autoria própria.

Figura 25 – Mapa de solos, escala 1:50.000, na área de estudo. Folha de Três Pontas (MG).



Fonte: Bertoldo (2008).

Esta distribuição pedológica possui implicações diretas nas características hidrológicas e geomorfológicas das respectivas bacias. A predominância do Latossolo Vermelho Distrófico nas microbacias hidrográficas do Córrego dos Bambus e dos Córregos Bambus/Custodinho sugere uma alta capacidade de infiltração e armazenamento de água devido à sua textura porosa e profunda. Isso pode levar a um menor escoamento superficial durante eventos de precipitação, influenciando diretamente o regime hidrológico ao promover uma liberação mais lenta e sustentada de água para os cursos d'água.

De acordo com Sousa e Lobato (2021), normalmente, os latossolos estão localizados em áreas de relevo plano a suave-ondulado, com declividades que raramente excedem 7%, facilitando a mecanização agrícola. Esses solos são profundos, porosos, bem drenados e altamente permeáveis, mesmo em condições com elevado teor de argila. Apresentam textura friável e são de fácil preparo para uso agrícola. Essas características são condizentes com as encontradas no presente trabalho.

Além disso, a presença de Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico em uma área minoritária na porção sudeste da microbacia dos Córregos Bambus/Custodinho pode resultar em uma heterogeneidade no comportamento hidrológico e geomorfológico dessa área. Os Argissolos, com sua maior densidade e menor porosidade em comparação aos Latossolos, podem contribuir para um aumento do escoamento superficial e uma potencial erosão do solo, especialmente em áreas com declive acentuado. Estudos como o de Vieira *et al*. (2023) relatam que Argissolos e Latossolos apresentam diferenças significativas em características estatísticas como condutividade hidráulica saturada, densidade do solo, porosidade total, carbono orgânico, matéria orgânica e elevação. Neto, Oliveira e Pereira (2017) complementam que essas diferenças podem influenciar a capacidade do solo de reter água, a taxa de evaporação, a disponibilidade de nutrientes e a capacidade de sustentar a vida vegetal.

Esta variação pedológica entre as bacias pode, portanto, afetar a dinâmica de água, a erosão do solo, e a formação de sedimentos, impactando tanto a qualidade quanto a quantidade de água disponível nos cursos d'água.

Os solos predominantes em questão são de natureza mineral, caracterizados por concentrações médias a elevadas de óxido férrico (Fe_2O_3). Estes solos eram anteriormente classificados como Latossolos vermelho-escuro. Apresentam uma composição textural que varia de argilosa a muito argilosa, inclusive alcançando texturas médias. As propriedades físicas destes solos, em conjunção com o relevo predominantemente plano ou suavemente ondulado, os tornam favoráveis ao uso agrícola. Contudo, os solos com textura média são relativamente menos férteis e estão mais suscetíveis à degradação, particularmente através de processos de compactação e erosão (Laborsolo, 2014).

4.3 CARACTERÍSTICAS URBANÍSTICAS DAS MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS DOS CÓRREGOS DOS BAMBUS E BAMBUS/CUSTODINHO

Conforme supracitado no item **2.9**, a gestão de riscos de inundações em áreas urbanas é um desafio crítico enfrentado por muitos municípios brasileiros. Apesar da existência de legislações e planos diretores destinados a regulamentar o uso do solo e a proteção ambiental, observa-se na prática uma série de lacunas e dificuldades na

sua implementação. As políticas públicas frequentemente carecem de mecanismos efetivos de fiscalização e de incentivo à adoção de medidas sustentáveis, o que resulta em uma gestão inadequada dos recursos hídricos e da ocupação do solo.

Embora Três Pontas/MG ainda não disponha de um Plano Diretor específico de Drenagem Urbana, sua implementação é crucial para a gestão eficiente das águas pluviais e para se alinhar com a legislação municipal, particularmente em termos de uso e ocupação do solo. A criação de um plano diretor específico para drenagem urbana garantiria uma abordagem integrada e harmonizada com as normativas locais, mitigando riscos de enchentes e fomentando um desenvolvimento urbano sustentável. Portanto, a ausência de um plano de drenagem urbana em Três Pontas destaca a necessidade de estabelecer diretrizes que assegurem um crescimento ordenado e ecologicamente equilibrado da cidade (SMMA, 2023).

Na realidade da cidade de Três Pontas/MG, observa-se a introdução de legislações intricadas que prescrevem a desafetação de Zonas de Proteção (ZPs), bem como projetos que promovem a impermeabilização de áreas de preservação permanente, principalmente por meio da implementação de pavimentação asfáltica.

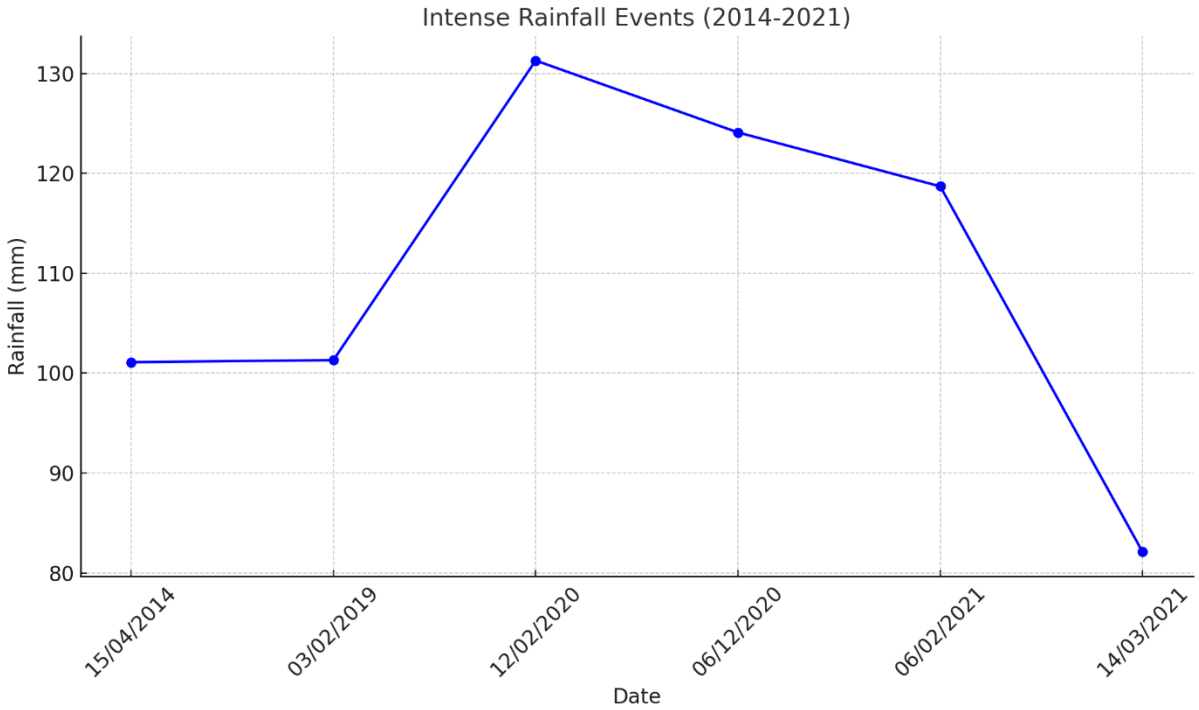
O mais recente Plano Diretor de Três Pontas/MG data de 2006 e deveria ter sido atualizado em 2016. No entanto, somente em 2023 está sendo realizada sua revisão, lamentavelmente baseada em dados secundários e, segundo Marinho, Silva e Fermino (2023), com mínima participação tanto da comunidade quanto da equipe técnica do município. A situação no Brasil geralmente é de que, mesmo com a existência de um Plano Diretor sólido, na prática, a aderência às normas urbanas e às regulamentações de loteamentos é escassa. Esta tendência obstaculiza a organização das ações não estruturais para o controle ambiental urbano. Uma das questões sérias neste processo de desenvolvimento urbano é a expansão, frequentemente irregular, sobre áreas de recursos hídricos para abastecimento humano, prejudicando a sustentabilidade hídrica das cidades.

Um estudo que corrobora isso é o de Honda, Vieira, Albano e Maria (2015), o qual cita que Presidente Prudente, um município de médio porte no oeste de São Paulo, teve sua formação política marcada pelo coronelismo, que foi substituído pelo populismo na década de 1930 (ABREU, 1996). Essa transição contribuiu para a falta de um planejamento urbano eficaz. Além disso, a ausência de uma política habitacional municipal efetiva, a falta de definição clara de áreas para habitação social

e a negligência com os ambientes natural e construído reforçaram um modelo de expansão urbana periférica e segregada nas últimas décadas (HONDA, 2011).

Conforme supramencionado no item **3.1.4**, o município de Três Pontas/MG possui uma exposição moderada às mudanças climáticas, refletindo uma probabilidade intermediária de ocorrência de eventos climáticos extremos ou de longo prazo que podem afetar a região. Analisando-se os dados da Estação Pluviométrica Três Pontas, no Hidroweb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, percebe-se o aumento de chuvas intensas nos últimos anos, por exemplo, no dia 06/12/2020 choveu 124,1 mm; no dia 06/02/2021, 118,7 mm; no dia 14/03/2021, 82,1 mm; no dia 12/02/2020, 131,3 mm; no dia 03/02/2019, 101,3 mm; no dia 15/04/2014, 101,1 mm, o que pode corroborar as informações do parágrafo anterior. A Figura 26 a seguir ilustra as chuvas intensas, conforme supracitado.

Figura 26 – Chuvas intensas nos últimos anos



Fonte: Autoria própria.

4.4 ANÁLISE DO USO E COBERTURA DO SOLO

Inicialmente, analisou-se uma imagem representativa do ano de 2003, identificando trechos de referência nas microbacias hidrográficas dos Córregos

Bambus e Bambus/Custodinho. A análise concentrou-se em áreas chave que podem influenciar o escoamento superficial das águas pluviais.

Trecho 1-3 – Zona do Paraíso (2003): Esta área situa-se no quadrante sudoeste da microbacia do Córrego dos Bambus, predominantemente circundada por plantações de café e representa a zona de cabeceira da referida microbacia. No segmento entre os trechos 1 e 3, existem cultivos de café; imediatamente a jusante destas plantações, encontra-se um fragmento florestal, ladeado por zonas em processo de regeneração vegetal. A nascente do Córrego dos Bambus está localizada nesses setores regenerativos. Este local desempenha um papel crucial na atenuação de inundações, visto que está situado no extremo mais distal do talvegue e apresenta potencial para a gestão ambiental de territórios que mantiveram suas características originais ao longo dos anos.

Trecho 6 – Região adjacente à bacia de retenção no Parque Municipal Vale do Sol (2003): Esta área está localizada próxima à bacia de retenção situada no Parque Municipal Vale do Sol e à bacia de detenção imediatamente a jusante do mesmo Parque, representando o último segmento do Córrego dos Bambus que não foi submetido à canalização. Esta região possui significativa relevância para a atenuação de inundações, visto que é o último trecho (situado mais a jusante) onde ainda existem oportunidades para implementação de práticas de revegetação, recuperação de áreas degradadas e promoção de infiltração hídrica no solo.

Trecho 5 – Setor associado às Colinas do Norte, situado à margem direita do Córrego do Custodinho (2003). Esta área é de elevada relevância para estratégias de controle e mitigação de inundações na microbacia dos Córregos Bambus/Custodinho, tendo sido designada como Zona de Proteção Ambiental pela Lei de Uso e Ocupação do Solo de 1988. Atualmente, mantém sua classificação como Zona de Proteção Ambiental devido à sua crucial importância hidroambiental. A seguir, dispõe-se da Figura 27 referente aos trechos de referência situados nas microbacias hidrográficas do Bambus e Bambus/Custodinho no ano de 2003.

Figura 27 – Imagem representativa do ano de 2003, identificando trechos de referência nas microbacias hidrográficas dos Córregos Bambus e Bambus/Custodinho



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2003).

Prosseguindo, realizou-se uma análise do período compreendido entre 2003 e 2023, focando nas mesmas áreas chave da microbacia hidrográfica dos Córregos Bambus e Bambus/Custodinho descritas anteriormente, levando em conta aspectos que possam influenciar o escoamento superficial das águas pluviais.

Trecho 1-3 – Zona do Paraíso (2003-2023): a área ainda continua predominantemente circundada por plantações de café. No segmento entre os trechos 1 e 3, existem cultivos de café; imediatamente a jusante destas plantações, ainda se encontra um fragmento florestal, ladeado por zonas em processo de regeneração vegetal. No entanto, ao longo dos anos, observou-se uma diminuição progressiva do fragmento florestal. Na cabeceira, ocorreu remoção significativa de espécies arbóreas nos intervalos entre 2003 e 2010, e posteriormente entre 2010 e 2014, impactando as características hidrológicas e ambientais da região, conforme pode ser observado nas Figuras 28, 29, 30 e 31 abaixo. Após a retirada destes fragmentos florestais, foram executadas bacias de acumulação de águas pluviais. Após o ano de 2014 não houve alterações significativas na localidade, excetuando o fato da supressão de um

eucaliptal nas proximidades do trecho 3, conforme se pode observar nas Figuras 30 e 31, datadas de 2014 e janeiro de 2023.

Figura 28 – Fragmentos florestais na cabeceira do Córrego dos Bambus no ano de 2003



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2003).

Figura 29 – Fragmentos florestais na cabeceira do Córrego dos Bambus no ano de 2010



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2010).

Figura 30 – Ausência de fragmentos florestais na cabeceira do Córrego dos Bambus no ano de 2014



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2014).

Figura 31 – Supressão de um eucaliptal nas proximidades do Trecho 3



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2023).

Trecho 6 – Região adjacente à bacia de retenção no Parque Municipal Vale do Sol (2003-2023): O último segmento do Córrego dos Bambus que não foi submetido à canalização representa um trecho valioso para a implementação de práticas de revegetação, recuperação de áreas degradadas e promoção de infiltração hídrica no solo. Em 2022, esta área passou por um processo de recuperação ambiental com o plantio de 430 mudas de espécies nativas (SMMA, 2023). De acordo com o Mapa de Uso e Ocupação do Solo de 1988 de Três Pontas/MG (Figura 8), a região do trecho 6 foi categorizada como “Zona Residencial de Baixa Densidade – ZR-2”. No entanto, em 2006, com o Plano Estratégico de Desenvolvimento Integrado do Município de Três Pontas, houve uma reclassificação para “Macrozona Residencial – MZRe”,

designação que se mantém até o presente momento (ver ANEXO A). Nas Figuras 32 a 36 a seguir, dispõe-se da evolução da expansão urbana nos anos de 2003, 2010, 2014, 2017 e 2023.

Figura 32 – Expansão urbana no trecho 6 da microbacia no ano de 2003



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2003).

Figura 33 – Expansão urbana no trecho 6 da microbacia no ano de 2010



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2010).

Figura 34 – Expansão urbana no trecho 6 da microbacia no ano de 2014



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2014).

Figura 35 – Expansão urbana no trecho 6 da microbacia no ano de 2017



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2017).

Figura 36 – Expansão urbana no trecho 6 da microbacia no ano de 2023



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2023).

As representações imagéticas evidenciam um incremento considerável na impermeabilização do solo, advindo da instalação de novas edificações, particularmente estruturas residenciais e construções de uso comercial e industrial. Estas alterações contribuem para a ampliação do escoamento superficial de águas pluviais, potencializando os riscos associados à gestão hídrica urbana.

Trecho 5 – Setor associado às Colinas do Norte, situado à margem direita do Córrego do Custodinho (2003-2023). Esta área continua a ser de Zona de Proteção Ambiental, conforme estipulado pela Lei de Uso e Ocupação do Solo de 1988. Contudo, durante o período de 2014 a 2015 houve desafetação de uma fração da ZP, para o desenvolvimento de um empreendimento imobiliário. Este processo resultou na supressão da vegetação típica do bioma Cerrado - stricto sensu - em uma extensão aproximada de 1,5 hectare. Adicionalmente, houve impermeabilização de um espaço estimado em 3,0 hectares, potencializando o risco de eventos de inundação nas áreas a jusante. As transformações na dinâmica do uso e ocupação do solo podem ser

observadas nas Figuras 37 a 41, correspondentes aos anos de 2010, 2014, 2015 e 2020 e 2023 respectivamente, apresentadas subsequentemente.

Figura 37 – Uso e ocupação do solo no trecho 5 da microbacia no ano de 2010



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2010).

Figura 38 – Uso e ocupação do solo no trecho 5 da microbacia no ano de 2014



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2014).

Figura 39 – Uso e ocupação do solo no trecho 5 da microbacia no ano de 2015



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2015).

Figura 40 – Uso e ocupação do solo no trecho 5 da microbacia no ano de 2020



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2020).

Figura 41 – Uso e ocupação do solo no trecho 5 da microbacia no ano de 2023



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2023).

A extração de dados quantitativos das áreas de interesse, mencionadas anteriormente, foi realizada através de uma análise manual empregando o software Google Earth Pro, especificamente a funcionalidade "Régua>Polígono". Esta metodologia permitiu a quantificação das áreas, analisando-as segmento por segmento. Estudos como o de Sobrinha (2016), versam que a classificação manual realizada em imagem de alta resolução é capaz de representar adequadamente os usos da terra presentes em uma bacia. Já a classificação semiautomática pode conter erros e a análise desses erros é fundamental para se obter uma classificação confiável.

De acordo com os dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no Censo Demográfico de 2022, a população residente em Três Pontas foi registrada em 55.255 indivíduos. Comparativamente, o censo anterior, conduzido em 2010, havia registrado um total de 53.860 habitantes, indicando um incremento populacional de 2,59% ao longo do período intercensitário. Paralelamente, uma análise do banco de dados mantido pela Prefeitura Municipal de Três Pontas

revelou o surgimento de 32 novos loteamentos na cidade dentro do mesmo intervalo de dez anos. Este dado evidencia uma notável expansão no número de loteamentos, desproporcional ao modesto crescimento populacional observado no mesmo período.

A discrepância entre o modesto aumento populacional de 2,59% e o surgimento de 32 novos loteamentos em Três Pontas ao longo de uma década revela tendências importantes no desenvolvimento urbano e na dinâmica habitacional da cidade. Esse incremento significativo no número de loteamentos em comparação com o crescimento populacional relativamente estável sugere uma intensificação do processo de urbanização e possivelmente uma mudança nos padrões de moradia e uso do solo. O aumento no número de loteamentos sem um correspondente crescimento populacional expressivo pode levar a desafios como a expansão urbana descontrolada, a ocupação de áreas de preservação ou de risco, além de potencializar problemas de infraestrutura e serviços públicos. Isso exige uma gestão cuidadosa do crescimento urbano, equilibrando o desenvolvimento econômico e habitacional com a sustentabilidade ambiental e a qualidade de vida dos residentes.

Essa situação em Três Pontas não é isolada. Estudos como os de Pena e Rodrigues (2020) apontam que, em cidades como a de Serrania/MG, houve o surgimento de novos loteamentos por toda cidade nessa última década, o que evidenciou uma evolução urbana desenfreada, simplesmente suprimindo áreas com cobertura da vegetação com características de APPs.

A cidade de Três Pontas está experimentando mudanças significativas em sua estrutura urbana e padrões de ocupação do solo. Isso destaca a necessidade de políticas de planejamento urbano e habitação que considerem o desenvolvimento sustentável e integrado da cidade, garantindo que a expansão dos loteamentos contribua positivamente para o bem-estar da comunidade e para a resiliência urbana a longo prazo (SMMA, 2022). Assim, tanto o caso de Três Pontas quanto o de Serrania reforçam a importância de um planejamento urbano que equilibre desenvolvimento e preservação ambiental, assegurando a sustentabilidade e a qualidade de vida dos habitantes. De acordo com estudos de Mareco e Terenzi (2024), isso é igualmente verdadeiro para a gestão de recursos hídricos nos centros urbanizados das grandes cidades brasileiras, onde as enchentes são frequentemente provocadas pela urbanização desordenada.

A análise geoespacial das microbacias dos Córregos Bambus/Custodinho e do Córrego dos Bambus, fundamentada em dados obtidos via imagens de satélite de alta

resolução espacial do Plêiades da Airbus (resolução de 0,5 m, ano de 2023) e validada por visitas técnicas in loco com suporte de tecnologias GPS e GLONASS, Garmin 64S, revelou características distintas de uso do solo e cobertura vegetal para cada área.

Para a microbacia dos Córregos Bambus/Custodinho, identificou-se que 2,94% da área é composta por solos expostos, enquanto a cobertura vegetal é distribuída da seguinte forma: 10,21% por pastagens ou vegetação rasteira, 9,74% por florestas ou bosques, 9,44% por áreas em regeneração vegetal e 39,75% pela cultura de café. Adicionalmente, foi registrado um total de 566 árvores em áreas urbanas, especificamente em calçadas.

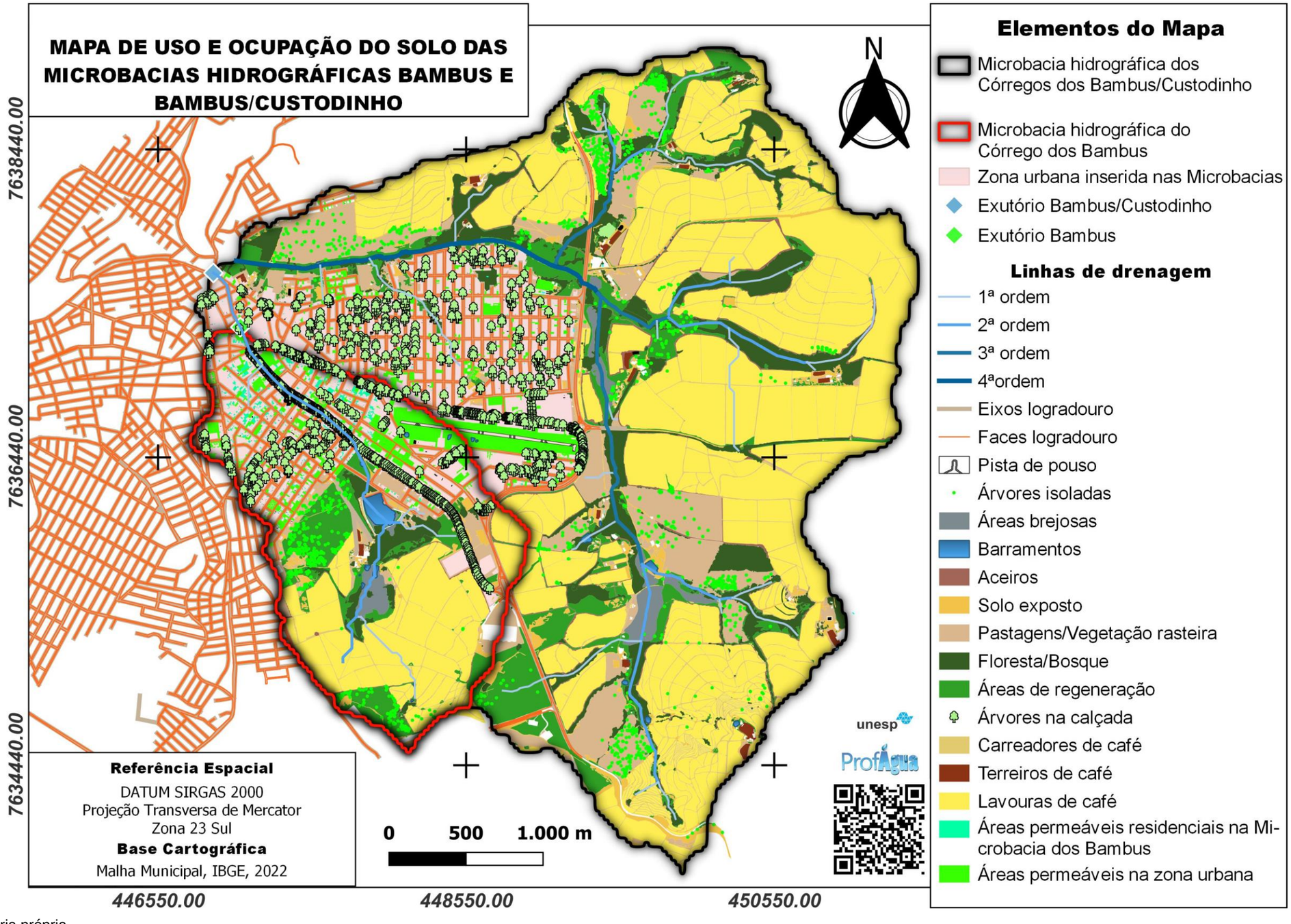
Por outro lado, a microbacia do Córrego Bambus apresentou 6,65% de sua extensão com pastagens ou vegetação rasteira, 4,33% com florestas ou bosques, 17,61% em regeneração vegetal e 29,79% dedicados à lavoura de café. Nas áreas urbanas, foram contabilizadas 171 árvores em calçadas, aferiu-se 6,93% de áreas permeáveis na zona urbana e 1,55% de áreas permeáveis residenciais. Complementarmente, a Secretaria Municipal de Meio Ambiente realizou um censo arbóreo nos anos de 2022 e 2023, identificando 168 árvores em calçadas residenciais na microbacia do Bambus. Faz-se importante ressaltar que as áreas permeáveis na zona urbana englobam lotes vagos, áreas verdes municipais como praças e canteiros, dentre outras áreas permeáveis que não sejam residenciais.

Considerando os elementos hidrológicos, geoespaciais, morfológicos e pedológicos das microbacias dos Córregos Bambus e Bambus/Custodinho, é possível estabelecer uma análise comparativa detalhada entre as duas, associando a sua ocupação humana, uso do solo e características intrínsecas. Em relação ao uso e ocupação do solo, ambas as microbacias apresentam expressiva parcela destinada à cultura do café e áreas com pastagens ou vegetação rasteira. Contudo, a microbacia Bambus/Custodinho evidencia uma maior diversidade no uso, incluindo uma porcentagem significativa de áreas florestais e maior número de árvores em zonas urbanas, quando comparada à microbacia do Córrego dos Bambus. No aspecto morfométrico, ambas as bacias apresentam baixa variabilidade topográfica com uma amplitude altimétrica de 145 metros. Essa característica sugere que as bacias possuem um relevo relativamente homogêneo, o que pode levar a padrões de escoamento e infiltração semelhantes, salvo as diferenças de uso e ocupação do solo.

A predominância do Latossolo Vermelho Distrófico em ambas as bacias sugere uma capacidade de drenagem adequada. Entretanto, o Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, presente em uma parte da microbacia Bambus/Custodinho, tem uma textura mais arenosa, o que pode tornar essa região específica mais susceptível à erosão, especialmente se não devidamente manejada (Embrapa Solos, 2023). A compactação do solo emerge como uma preocupação preeminente, sobretudo em áreas destinadas a pastagens. O tráfego contínuo e intenso de animais amplifica esse fenômeno. O sobrepastoreio, uma prática de manejo inapropriada, pode precipitar essa compactação, comprometendo a capacidade de infiltração do solo e elevando o escoamento superficial. Esse cenário agrava os riscos de erosão e assoreamento dos corpos hídricos. Paralelamente, em lavouras de café, técnicas agronômicas não otimizadas podem induzir à compactação do solo, exacerbando ainda mais o escoamento superficial (Anderson, 1976).

A seguir, dispõe-se da Figura 42 e das Tabelas 5 e 6 referentes ao Mapa de Uso e Ocupação do Solo, feito conforme o item **3.5.1**, bem como ao quadro de informações das microbacias hidrográficas dos Córregos Bambus/Custodinho e da microbacia hidrográfica do Córrego dos Bambus no ano de 2023, respectivamente.

Figura 42 – Mapa do uso e cobertura do solo das microbacias Bambus e Bambus/Custodinho - 2023



Fonte: Autoria própria.

Tabela 5 – Quadro de informações das microbacias hidrográficas dos Córregos Bambus/Custodinho no ano de 2023

QUADRO RESUMO DE QUANTITATIVOS	
Áreas brejosas	$185118\ m^2$
Barramentos	$46888\ m^2$
Aceiros + Carreadores de café	$613883\ m^2$
Solo exposto	$471645\ m^2$
Pastagens/Vegetação rasteira	$1637204\ m^2$
Floresta/Bosque	$1562268\ m^2$
Áreas de regeneração	$1515072\ m^2$
Árvores nas calçadas	566
Terreiros de café	$51280\ m^2$
Lavouras de café	$6377064\ m^2$
Pista de pouso	$24056\ m^2$
Áreas permeáveis na zona urbana	$492573\ m^2$
Áreas de baixa permeabilidade	$3082622\ m^2$

Fonte: Autoria própria.

Tabela 6 – Quadro de informações da microbacia hidrográfica do Córrego dos Bambus no ano de 2023

QUADRO RESUMO DE QUANTITATIVOS	
Áreas brejosas	$52845{,}13\ m^2$
Barramentos	$35072{,}76\ m^2$
Aceiros + Carreadores de café	$84925{,}93\ m^2$
Solo exposto	$103644{,}32\ m^2$
Pastagens/Vegetação rasteira	$226397{,}55\ m^2$
Floresta/Bosque	$147454{,}60\ m^2$
Áreas de regeneração	$599904{,}95\ m^2$
Árvores nas calçadas	171
Terreiros de café	$4964{,}63\ m^2$
Lavouras de café	$1014813{,}84\ m^2$
Pista de pouso	$24056{,}09\ m^2$
Áreas permeáveis na zona urbana	$236096{,}65\ m^2$
Áreas permeáveis residenciais	$52772{,}49\ m^2$
Áreas de baixa permeabilidade	$881144{,}54\ m^2$

Fonte: Autoria própria.

Agora, são apresentadas as Figuras 43 a 48, que mostram alguns pontos de controle na microbacia e permitem a validação das informações obtidas pelas técnicas de mapeamento utilizadas. Assim, foi possível confirmar que as classificações feitas manualmente correspondem à realidade do terreno.

Figura 43 – Área permeável na zona urbana – 25 de janeiro de 2023



Fonte: Autoria própria.

Figura 44 – Solo exposto – 25 de janeiro de 2023



Fonte: Autoria própria.

Figura 45 – Área permeável residencial – 25 de janeiro de 2023



Fonte: Autoria própria.

Figura 46 – Área de regeneração florestal – 25 de janeiro de 2023



Fonte: SMMA (2023).

Figura 47 – Área brejosa – 25 de janeiro de 2023



Fonte: SMMA (2023).

Figura 48 – Carreador de café – 25 de janeiro de 2023



Fonte: SMMA (2023).

4.5 ANÁLISE DO OBJETO DE ESTUDO

4.5.1 O trecho canalizado do Córrego dos Bambus

Segundo a Prefeitura Municipal de Três Pontas/MG, a canalização do Córrego dos Bambus foi executada no ano de 1937, tornando-se um sistema de drenagem ineficiente com o decorrer dos anos, principalmente devido ao mal ordenamento do uso e ocupação do solo, como a ocupação das áreas de várzeas, não levando em consideração o rápido crescimento urbano (Três Pontas, 2014).

A parte canalizada do Córrego dos Bambus possui cerca de 1,4 quilômetro, sendo aproximadamente 650 metros com seção retangular fechada, e 750 metros com seção retangular aberta (Três Pontas, 2023).

Em 2022, foram realizados levantamentos de campo pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Três Pontas (SMMA), juntamente com o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), para aferição de toda tubulação de entrada de água pluvial, da parte canalizada, no Córrego dos Bambus (Figura 49), sendo encontradas 513 tubulações ativas de diâmetros variados. O somatório dos diâmetros dessas tubulações resultou em 7711 mm.

Figura 49 – Aferição da tubulação de entrada de água pluvial no Córrego dos Bambus



Fonte: SMMA (2023).

No último trecho do Córrego dos Bambus, que possui uma seção canalizada aberta, situado entre o entroncamento da Avenida Ipiranga com a Avenida Oswaldo Cruz e o ponto onde esta última encontra a Rua Boa Esperança, ocorre o principal gargalo das enchentes no município (Figura 50). Este trecho, onde também se localiza o exutório da microbacia do Córrego dos Bambus, tem aproximadamente 568 metros de extensão e apresenta áreas assoreadas, além de outras com processos erosivos avançados que promovem ressaltos hidráulicos pontuais (Figura 51) (Três Pontas, 2023).

Figura 50 – Ponto do principal gargalo de enchentes em Três Pontas



Fonte: SMMA (2023).

Figura 51 – Ponto de ocorrência do fenômeno do ressalto hidráulico no Córrego dos Bambus



Fonte: SMMA (2023).

Pode-se dizer que o ressalto hidráulico nesse ponto específico explica o porquê do Córrego dos Bambus transbordar no entroncamento da Avenida Oswaldo Cruz com a Rua 12 de outubro e a Travessa D'Aparecida antes do que qualquer outro ponto (Três Pontas, 2023). O ressalto hidráulico ocorre quando um fluxo de alta velocidade e lâmina d'água baixa (supercrítico) transita para um fluxo de baixa velocidade e

lâmina d'água alta (subcrítico) (Mendes, 2024). Essa transição pode ser provocada pela formação de um reservatório devido ao desprendimento do leito do curso regular, como ocorre neste trecho no Córrego dos Bambus.

Quando a água flui para o reservatório, sua velocidade é alta com uma lâmina d'água relativamente baixa. Ao entrar no reservatório, a área de seção transversal do fluxo aumenta, o que pode levar a uma redução na velocidade do fluxo e um aumento na altura da lâmina d'água. Ao sair do reservatório e retornar ao leito do córrego ou canal regular, a água encontra um perfil mais restrito novamente, mas agora com uma velocidade reduzida e uma lâmina d'água maior, caracterizando um fluxo subcrítico (Três Pontas, 2023).

Durante as investigações de campo realizadas no período chuvoso, observou-se que o transbordamento do Córrego dos Bambus ocorre com maior frequência a partir do ponto anteriormente mencionado, estendendo-se por aproximadamente 90 metros a jusante. Posterior a essa extensão, o transbordamento manifesta-se exclusivamente em resposta a eventos pluviométricos de significativa magnitude (Três Pontas, 2023).

Segundo estudo da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Três Pontas, a seção média do Córrego dos Bambus, desconsiderando o talude gramado na parte canalizada aberta a montante, é de aproximadamente 4,40 m^2. Considerando um coeficiente de Manning médio de 0,015, devido às diferentes rugosidades ao longo do canal, e uma declividade média de 0,013, é possível calcular a vazão suportada pelo canal utilizando a fórmula de Manning. Com esses dados, a vazão suportada pelo canal é de aproximadamente 24,14 m^3/s.

4.6 Modelagem hidrológica

É válido lembrar, conforme exposto no item **3.7**, que a modelagem hidrológica da microbacia do Córrego dos Bambus incorporou práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) e revitalização de áreas de preservação e zonas de proteção. Já a simulação para a microbacia do Bambus/Custodinho focou exclusivamente na revitalização dessas áreas.

4.6.1 Cenário atual

Na modelagem hidrológica do cenário atual, o padrão de uso e ocupação do solo adotado para as microbacias hidrográficas dos Córregos Bambus/Custodinho e do Córrego dos Bambus foi o ilustrado na Figura 42 e detalhado nas Tabelas 5 e 6, correspondentes ao Mapa de Uso e Ocupação do Solo descrito no item **4.3**.

4.7 Microbacia hidrográfica dos Córregos Bambus/Custodinho

O tempo de concentração calculado, segundo a equação de Desbordes, foi equivalente a cerca de 108 minutos. Para o Tempo de Retorno (TR) de 50 anos, considerando o tempo de concentração supracitado, a estimativa de chuva, dispondo-se do software Plúvio 2.1, foi de 59,37 mm/h.

Em relação ao Curve Number (CN), a Tabela 7 apresenta a porcentagem de cada CN em relação a sua área ocupada. Os valores de CN acima de 80 totalizam cerca de 26% da área de contribuição e incluem pista de pouso, terreiros de café, áreas residenciais, comerciais, solo exposto, aceiros e carreadores de café, e áreas consideradas muito impermeabilizadas. As áreas com CN entre 60 e 80 representam 54% da área de contribuição da rede de drenagem e estão associadas às áreas brejosas, às áreas de regeneração, às lavouras de café, às áreas permeáveis na zona urbana e às áreas permeáveis residenciais. Já as áreas com maior capacidade de infiltração, com CN menor que 60, como florestas, bosques e pastagens em boas condições apresentam cerca de 20% da área.

Tabela 7 – CN estabelecido para cada tipo de uso do solo presente na microbacia

CN	% Área da Bacia
<60	20%
60 – 80	54%
>80	26%

Fonte: Autoria própria.

4.7.1 Análise dos dados de chuva de acordo com o Método de Huff

Com base nos dados apresentados a seguir, pode-se calcular a vazão de projeto do Córrego dos Bambus/Custodinho. O talvegue possui uma extensão de 5,84 km, com cota de crista de 1022 m e cota de base de 888 m, resultando em um desnível de 134 m. O tempo de retorno (TR) considerado é de 50 anos, com duração da chuva (td) de 1 hora. A área de contribuição (A) da bacia é de 16 km². Utilizando a intensidade máxima média de precipitação (i_m) e aplicando a metodologia do Método de HUFF, é possível determinar a precipitação total (P) e as distribuições dos quartis para as precipitações, conforme ilustrado na Tabela 8 e nas Figuras 52 e 53.

DADOS DE ENTRADA

Talvegue:	5835,00	m	5,84	km
Cota de crista:	1022,00	m		
Cota de base:	888,00	m		
Δh:	134	m	Desnível talvegue	
TR:	50,00	Anos	Tempo de retorno	
td:	1,00	H	Duração da chuva	
A:	16,00	km²	Área de contribuição	

Precipitação Total

$$P = i_m \, . \, Td$$

Em que, i_m é a intensidade máxima média de precipitação em mm/h e Td é o tempo de duração da chuva em h. O tempo de duração da chuva será adotado, sendo equivalente a 1 h ou 60 min.

Portanto, $P = 59{,}37\ mm$.

A seguir, apresenta-se a Tabela 8 referentes às curvas acumuladas adimensionais de HUFF para os quartis I, II, III e IV, conforme Westphal (2001), e as precipitações de HUFF, bem como a Figura 52 associada à Distribuição de HUFF.

Tabela 8 – Distribuição dos quartis pelo Método de HUFF

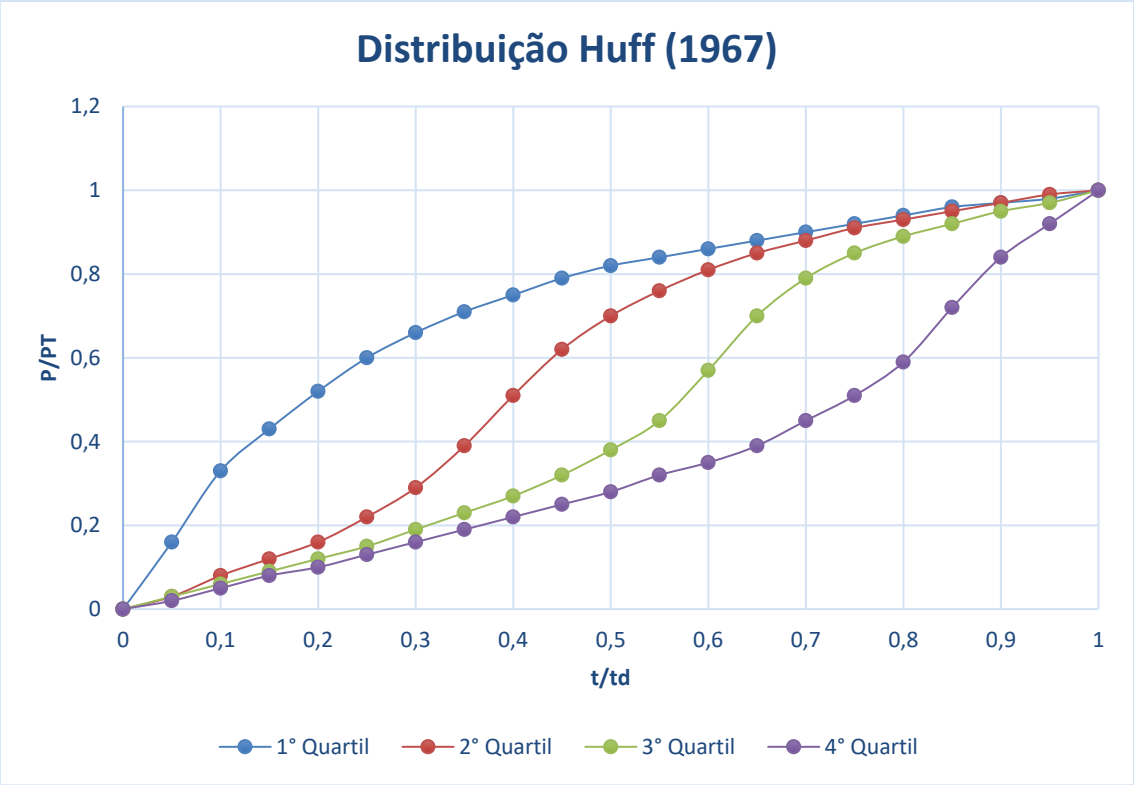
%Tempo	1° Quartil	2° Quartil	3° Quartil	4° Quartil	t	P	ΔP
0	0	0	0	0	0	0	0,00
0,05	0,16	0,03	0,03	0,02	0,05	9,496	9,50
0,1	0,33	0,08	0,06	0,05	0,1	19,5855	10,09
0,15	0,43	0,12	0,09	0,08	0,15	25,5205	5,94
0,2	0,52	0,16	0,12	0,1	0,2	30,862	5,34
0,25	0,6	0,22	0,15	0,13	0,25	35,61	4,75
0,3	0,66	0,29	0,19	0,16	0,3	39,171	3,56
0,35	0,71	0,39	0,23	0,19	0,35	42,1385	2,97
0,4	0,75	0,51	0,27	0,22	0,4	44,5125	2,37
0,45	0,79	0,62	0,32	0,25	0,45	46,8865	2,37
0,5	0,82	0,7	0,38	0,28	0,5	48,667	1,78
0,55	0,84	0,76	0,45	0,32	0,55	49,854	1,19
0,6	0,86	0,81	0,57	0,35	0,6	51,041	1,19
0,65	0,88	0,85	0,7	0,39	0,65	52,228	1,19
0,7	0,9	0,88	0,79	0,45	0,7	53,415	1,19
0,75	0,92	0,91	0,85	0,51	0,75	54,602	1,19
0,8	0,94	0,93	0,89	0,59	0,8	55,789	1,19
0,85	0,96	0,95	0,92	0,72	0,85	56,976	1,19
0,9	0,97	0,97	0,95	0,84	0,9	57,5695	0,59
0,95	0,98	0,99	0,97	0,92	0,95	58,163	0,59
1	1	1	1	1	1	59,37	1,19

Fonte: Autoria própria.

As chuvas excedentes foram obtidas a partir do hietograma de precipitação, que foi obtido aplicando o método de Huff (1967, 1970, 1990), por apresentar a mesma configuração do hidrograma unitário curvilíneo. O primeiro passo foi a escolha da distribuição de HUFF, sendo recomendado (Tomaz, 2012):

- Primeiro quartil para chuvas menores ou iguais a 6 horas;
- Segundo quartil para chuvas de 6,1 a 12 horas;
- Terceiro quartil para chuvas entre 12,1 e 24 horas;
- Quarto quartil para chuvas maiores que 24 horas.

Figura 52 – Distribuição de HUFF



Fonte: Huff (1967).

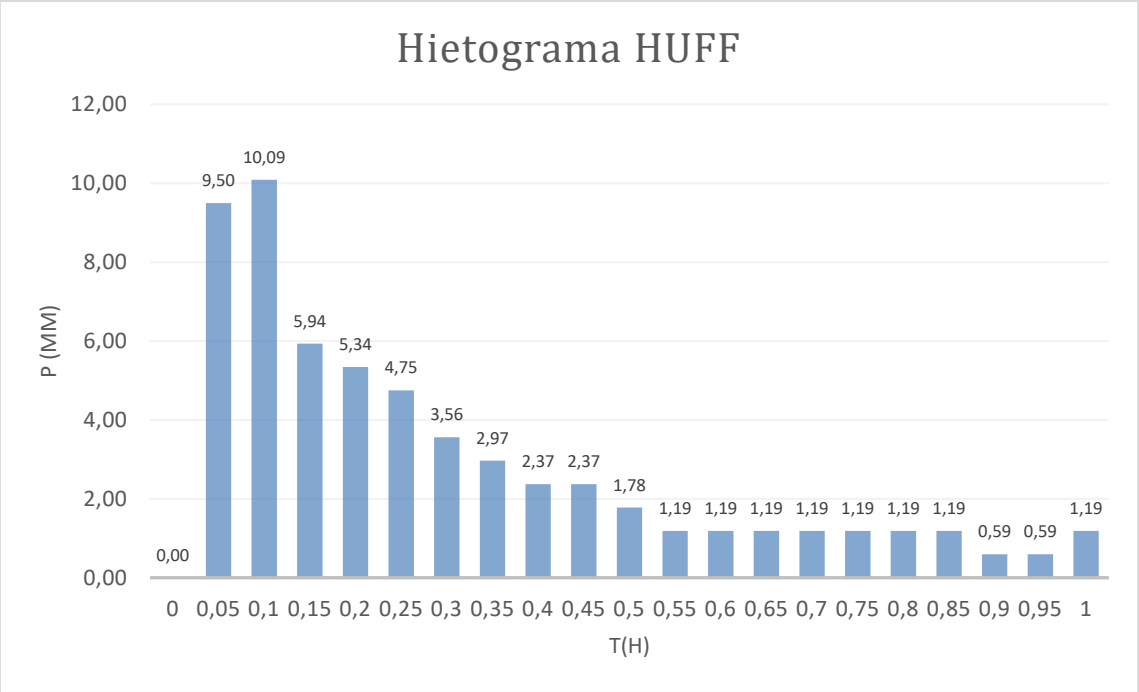
Huff (1967) concluiu que a maioria dos eventos de curta duração, ou seja, mais aplicáveis aos eventos de drenagem urbana (Canholi, 2015), encontravam-se no primeiro e no segundo quartil. Além disso, o Manual de Drenagem da Cidade de São Paulo destaca que, em projetos de drenagem urbana, são usualmente adotadas chuvas de 2 ou 3 horas, utilizando, entre outros métodos, o método de Huff para chuvas de 1º quartil (São Paulo, 2012).

Júnior (2021) utilizou discretizações temporais de 10 em 10 minutos para o hietograma de Huff no 1º quartil, na cidade de São Carlos/SP. Da mesma forma, Costa (2022) adotou o 1º quartil de Huff para sua discretização na cidade de Itajubá/MG. A seguir, apresenta-se a Figura 53, que ilustra o hietograma de Huff para o primeiro quartil.

Neste estudo, também foi empregado o 1º quartil de Huff para a discretização. Foram testados os dois primeiros quartis e selecionado o mais crítico para a região, considerando as microbacias hidrográficas de interesse. Adicionalmente, a dinâmica das chuvas locais foi analisada com base nos monitoramentos realizados pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente, a fim de identificar o formato mais adequado. Verificou-se que o 1º quartil, caracterizado pela maior concentração de chuva no início

do evento, mostrou-se o mais compatível com as características observadas na região.

Figura 53 – Hietograma de HUFF para o primeiro quartil



Fonte: Autoria própria.

4.7.2 Vazão de Projeto

4.7.2.1 Determinação das Vazões

4.7.2.1.1 Hidrograma unitário

Calculou-se o hidrograma unitário sintético a partir dos parâmetros extraídos. Ressalta-se que o hidrograma unitário sintético curvilíneo foi gerado pela aplicação dos valores específicos de tempo de pico (t_p) e vazão de pico (q_p) ao hidrograma unitário curvilíneo adimensional desenvolvido pelo SCS, de acordo com a metodologia proposta por Mockus (1964), a saber:

Tempo de duração da chuva (**td**): $\mathbf{1\ h}$ ou $\mathbf{60\ min}$

Tempo de discretização da chuva (**tr'**): 0,31 h

Tempo de resposta (**tL**): $\mathbf{0{,}6 * tc}$ = 0,6 * ($\frac{108{,}49}{60}$) = 1,08 h

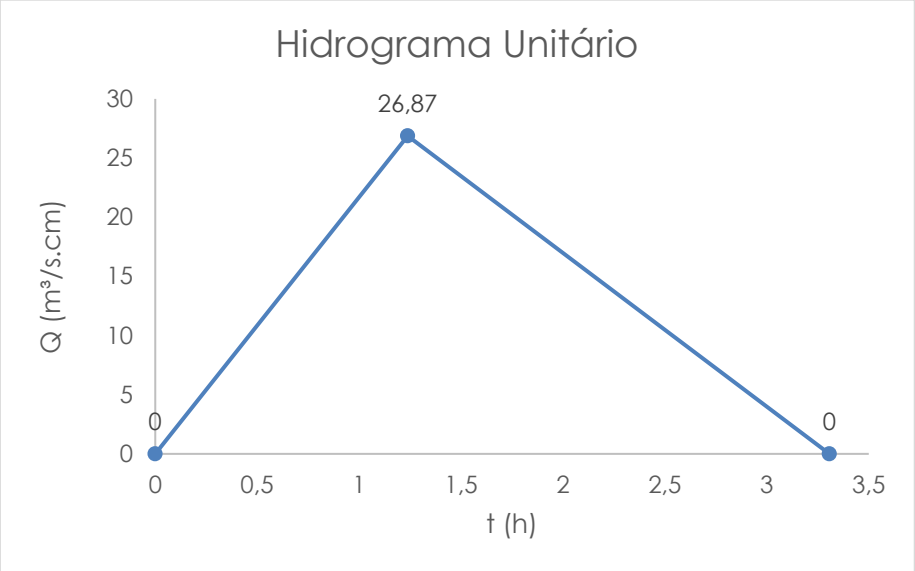
Tempo de pico ($\boldsymbol{tp}$): (0,5 * $\boldsymbol{tr'}$) + tL = (0,5 * 0,31) + 1,08 = 1,24 h

Tempo de base (**tb**): 2,67 * tp = 2,67 * 1,24 = 3,31 h

Vazão de pico (**Qu**,**p**): (2,08 $*$ Ad) tp = ($\frac{2,08 * 16,043}{1,24}$) = 26,87 m³/s.cm

O hidrograma unitário sintético resultante apresenta início em 0 hora, pico de 26,87 m³/s.cm à 1,24 h, e retorno a zero à 3,31 h, conforme pode ser observado na Figura 54 a seguir.

Figura 54 – Hidrograma unitário



Fonte: Autoria própria.

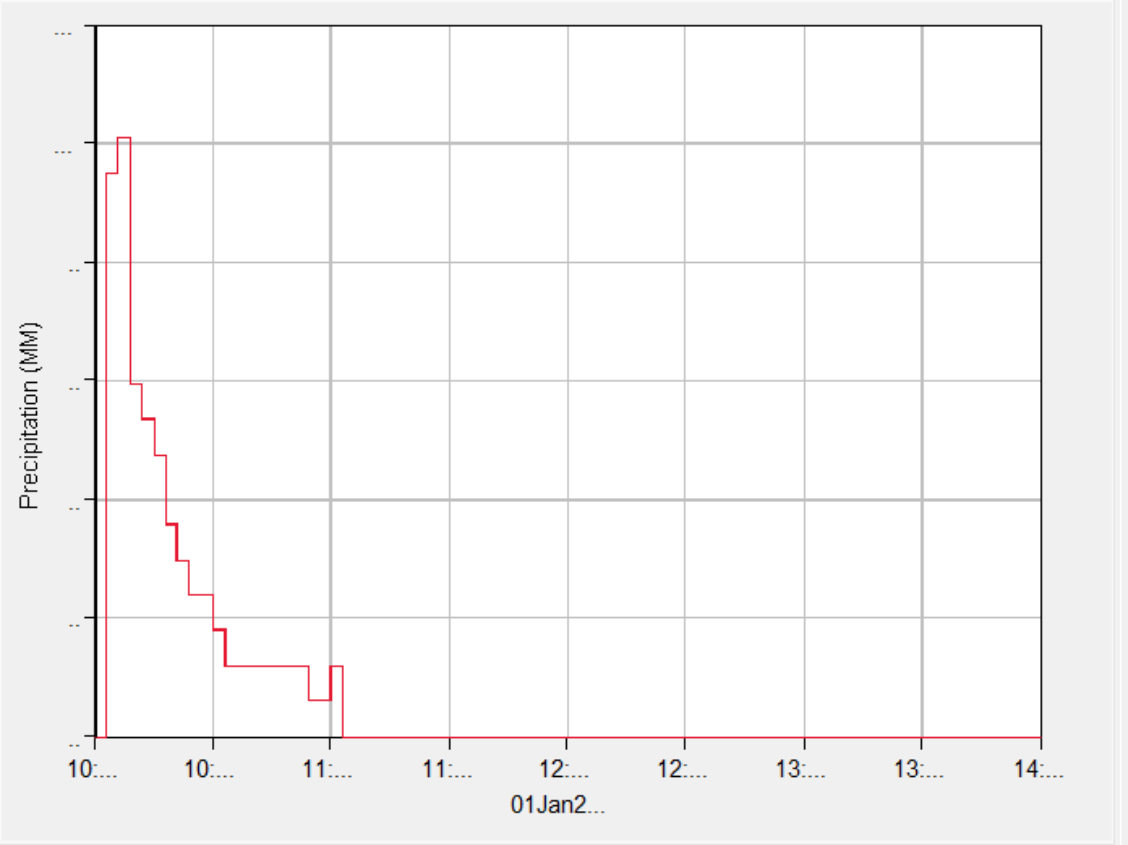
4.7.2.2 Hietograma de projeto SCS

O CN médio calculado foi de cerca de 74. Abaixo, segue os cálculos para encontrar a infiltração potencial máxima, bem como a infiltração inicial, além das Figuras 55 e 56 referentes ao hietograma de HUFF e ao hidrograma de projeto (SCS).

Infiltração Potencial Máxima (**S**): $\mathbf{S\ mm}$ = $25400/CN - 10$ = 90,2201 mm

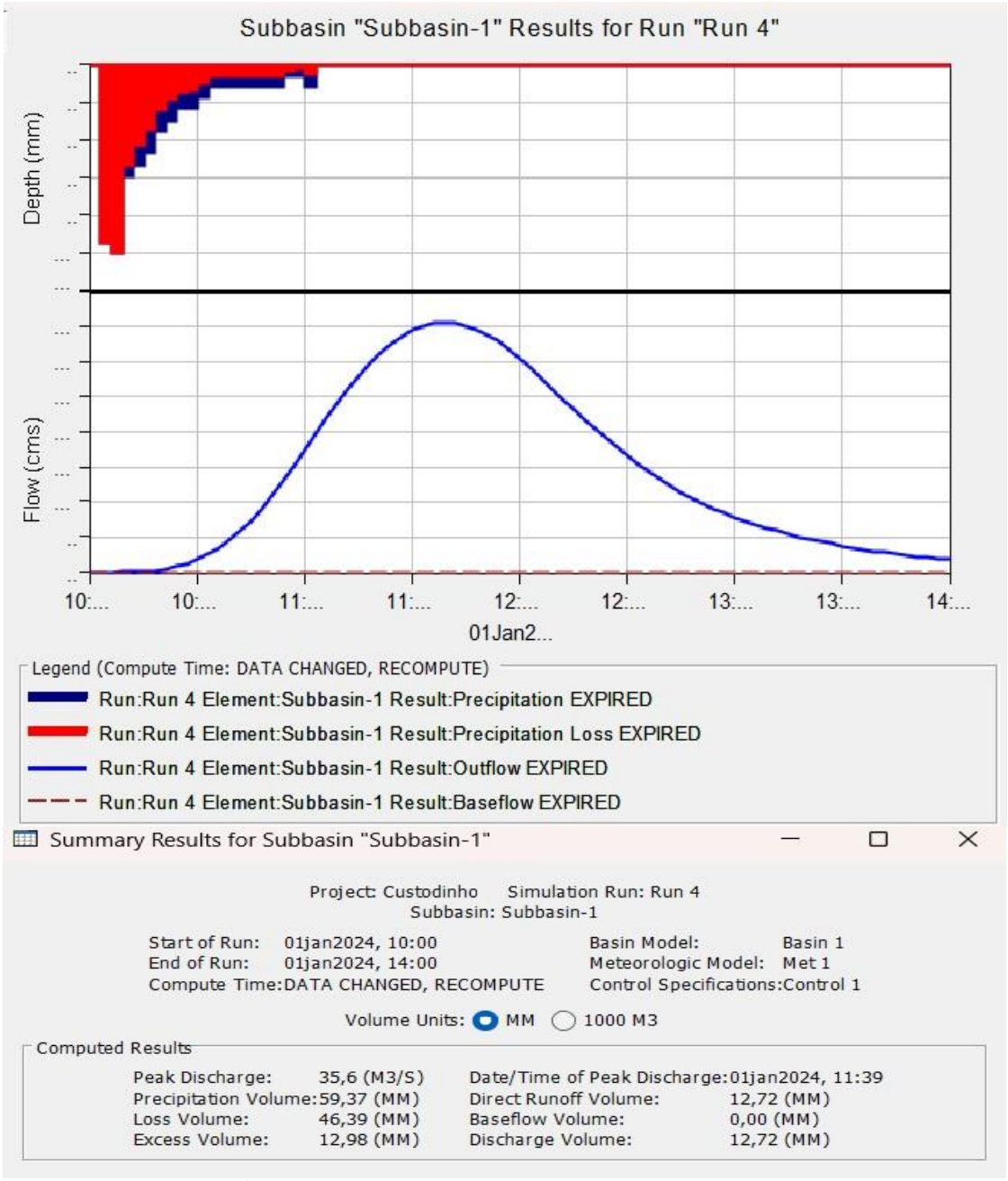
Infiltração Inicial (**Ia**): $\mathbf{Ia\ mm}$ = $\mathbf{0,2} * \mathbf{S}$ = 18,044 mm

Figura 55 – Hietograma de HUFF



Fonte: Autoria própria.

Figura 56 – Hidrograma de projeto SCS



Fonte: Autoria própria.

4.8 Microbacia hidrográfica do Córrego dos Bambus

O tempo de concentração calculado, segundo a equação de Desbordes, foi equivalente a cerca de 46 minutos. Para o Tempo de Retorno (TR) de 50 anos, considerando o tempo de concentração supracitado, a estimativa de chuva, dispondo-se do software Plúvio 2.1, foi de 110,90 mm/h.

Em relação ao Curve Number (CN), a Tabela 9 apresenta a porcentagem de cada CN em relação a sua área ocupada. Os valores de CN acima de 80 totalizam cerca de 33% da área de contribuição e incluem pista de pouso, terreiros de café, áreas residenciais, comerciais, solo exposto, aceiros e carreadores de café, e áreas consideradas muito impermeabilizadas. As áreas com CN entre 60 e 80 representam 57% da área de contribuição da rede de drenagem e estão associadas às áreas brejosas, às áreas de regeneração, às lavouras de café, às áreas permeáveis na zona urbana e às áreas permeáveis residenciais. Já as áreas com maior capacidade de infiltração, com CN menor que 60, como florestas, bosques e pastagens em boas condições apresentam cerca de 10% da área.

Tabela 9 – CN estabelecido para cada tipo de uso do solo presente na microbacia

CN	% Área da Bacia
<60	10%
60 – 80	57%
>80	33%

Fonte: Autoria própria.

4.8.1 Análise dos dados de chuva de acordo com o Método de Huff

Com base nos dados apresentados a seguir, pode-se calcular a vazão de projeto do Córrego dos Bambus. O talvegue possui uma extensão de 2,40 km, com cota de crista de 980 m e cota de base de 877 m, resultando em um desnível de 103 m. O tempo de retorno (TR) considerado é de 50 anos, com duração da chuva (td) de 1 hora. A área de contribuição (A) da bacia é de 3,40 km². Utilizando a intensidade máxima média de precipitação (i_m) e aplicando a metodologia do Método de Huff, é possível determinar a precipitação total (P) e as distribuições dos quartis para as precipitações, conforme ilustrado na Tabela 10 e nas Figuras 57 e 58.

DADOS DE ENTRADA

Talvegue:	2400,00	m	2,40	km
Cota de crista:	980,00	m		
Cota de base:	877,00	m		
Δh:	103,00	m	Desnível talvegue	
TR:	50,00	Anos	Tempo de retorno	
td:	1,00	H	Duração da chuva	
A:	3,40	km²	Área de contribuição	

Precipitação Total

$$P = i_m \, . \, Td$$

Em que, i_m é a intensidade máxima média de precipitação em mm/h e Td é o tempo de duração da chuva em h. O tempo de duração da chuva será adotado, sendo equivalente a 1 h ou 60 min.

Portanto, $P = 110{,}90\ mm$.

A seguir, apresenta-se a Tabela 10 referente às curvas acumuladas adimensionais de HUFF para os quartis I, II, III e IV, conforme Westphal (2001) e as precipitações de HUFF, bem como a Figura 57 associada à Distribuição de HUFF.

Tabela 10 – Distribuição dos quartis pelo Método de HUFF

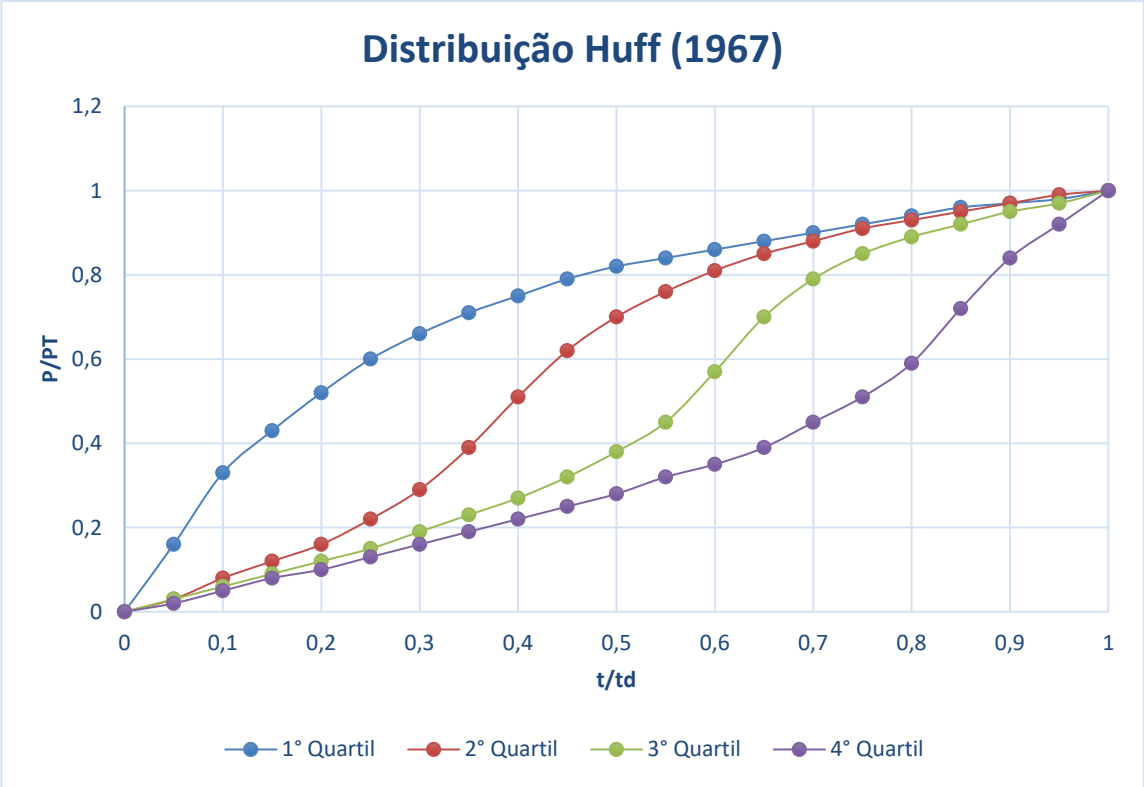
%Tempo	1° Quartil	2° Quartil	3° Quartil	4° Quartil	t	P	ΔP
0	0	0	0	0	0	0	0,00
0,05	0,16	0,03	0,03	0,02	0,05	17,744	17,74
0,1	0,33	0,08	0,06	0,05	0,1	36,597	18,85
0,15	0,43	0,12	0,09	0,08	0,15	47,687	11,09
0,2	0,52	0,16	0,12	0,1	0,2	57,668	9,98
0,25	0,6	0,22	0,15	0,13	0,25	66,54	8,87
0,3	0,66	0,29	0,19	0,16	0,3	73,194	6,65
0,35	0,71	0,39	0,23	0,19	0,35	78,739	5,55
0,4	0,75	0,51	0,27	0,22	0,4	83,175	4,44
0,45	0,79	0,62	0,32	0,25	0,45	87,611	4,44
0,5	0,82	0,7	0,38	0,28	0,5	90,938	3,33
0,55	0,84	0,76	0,45	0,32	0,55	93,156	2,22
0,6	0,86	0,81	0,57	0,35	0,6	95,374	2,22
0,65	0,88	0,85	0,7	0,39	0,65	97,592	2,22
0,7	0,9	0,88	0,79	0,45	0,7	99,81	2,22
0,75	0,92	0,91	0,85	0,51	0,75	102,028	2,22
0,8	0,94	0,93	0,89	0,59	0,8	104,246	2,22
0,85	0,96	0,95	0,92	0,72	0,85	106,464	2,22
0,9	0,97	0,97	0,95	0,84	0,9	107,573	1,11
0,95	0,98	0,99	0,97	0,92	0,95	108,682	1,11
1	1	1	1	1	1	110,9	2,22

Fonte: Autoria própria.

As chuvas excedentes foram obtidas a partir do hietograma de precipitação, que foi obtido aplicando o método de HUFF (1967, 1970, 1990), por apresentar a mesma configuração do hidrograma unitário curvilíneo. O primeiro passo foi a escolha da distribuição de HUFF, sendo recomendado (Tomaz, 2012):

- Primeiro quartil para chuvas menores ou iguais a 6 horas;
- Segundo quartil para chuvas de 6,1 a 12 horas;
- Terceiro quartil para chuvas entre 12,1 e 24 horas;
- Quarto quartil para chuvas maiores que 24 horas.

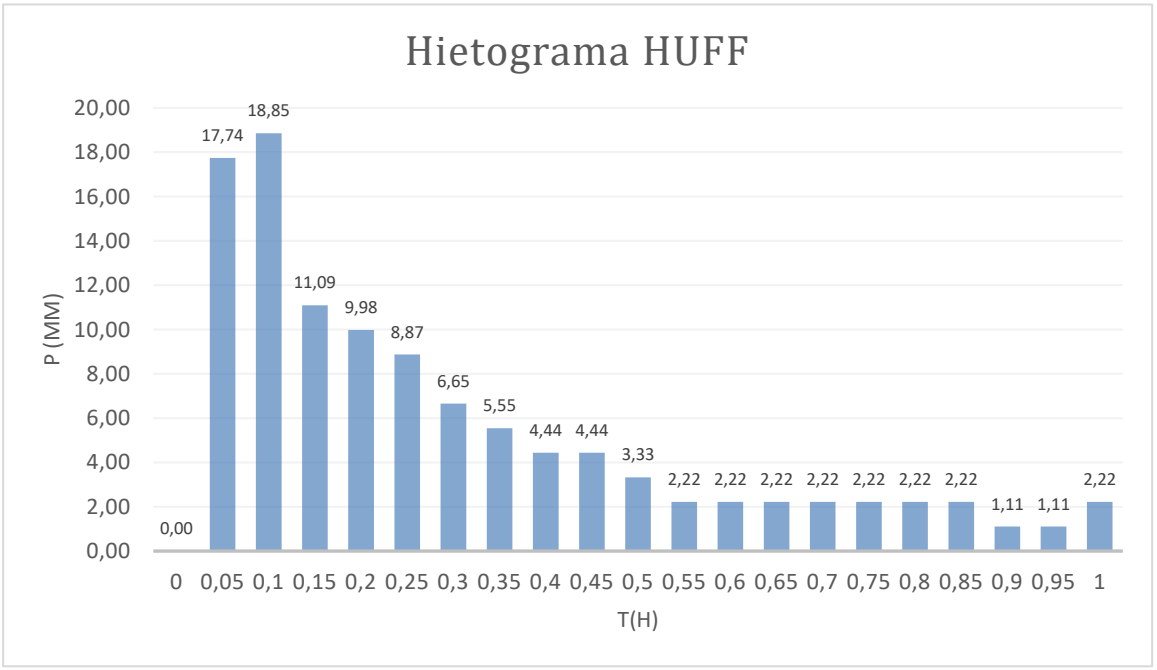
Figura 57 – Distribuição de HUFF



Fonte: HUFF (1967).

A seguir, é apresentada a Figura 58 representativa do hietograma de HUFF para o primeiro quartil.

Figura 58 – Hietograma de HUFF para o primeiro quartil



Fonte: Autoria própria.

4.8.2 Vazão de Projeto

4.8.2.1 Determinação das Vazões

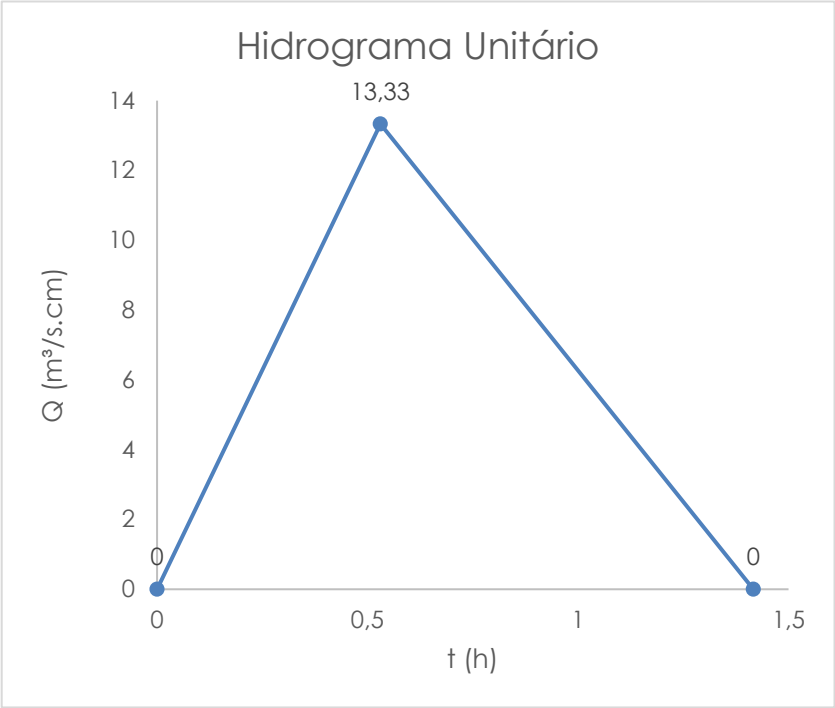
4.8.2.1.1 Hidrograma unitário

Calculou-se o hidrograma unitário sintético a partir dos parâmetros extraídos. Ressalta-se que o hidrograma unitário sintético curvilíneo foi gerado pela aplicação dos valores específicos de tempo de pico (t_p) e vazão de pico (q_p) ao hidrograma unitário curvilíneo adimensional desenvolvido pelo SCS, de acordo com a metodologia proposta por Mockus (1964), a saber:

Tempo de duração da chuva (**td**): $\mathbf{1\ h}$ ou $\mathbf{60\ min}$
Tempo de discretização da chuva (**tr'**): 0,13 h
Tempo de resposta (**tL**): $\mathbf{0{,}6} * \mathbf{tc}$ = 0,6 * ($\frac{46,47}{60}$) = 0,46 h
Tempo de pico ($\boldsymbol{tp}$): (0,5 * $\boldsymbol{tr'}$) + tL = (0,5 * 0,13) + 0,4647 = 0,53 h
Tempo de base (**tb**): 2,67 * tp = 2,67 * 0,53 = 1,42 h
Vazão de pico (**Qu**,**p**): (2,08 $*$ Ad) tp = ($\frac{2,08 * 3,4}{0,53}$) = 13,33 m³/s.cm

O hidrograma unitário sintético resultante apresenta início em 0 hora, pico de 13,33 m³/s.cm à 0,53 h, e retorno a zero à 1,42 h, conforme pode ser observado na Figura 59 a seguir.

Figura 59 – Hidrograma unitário



Fonte: Autoria própria.

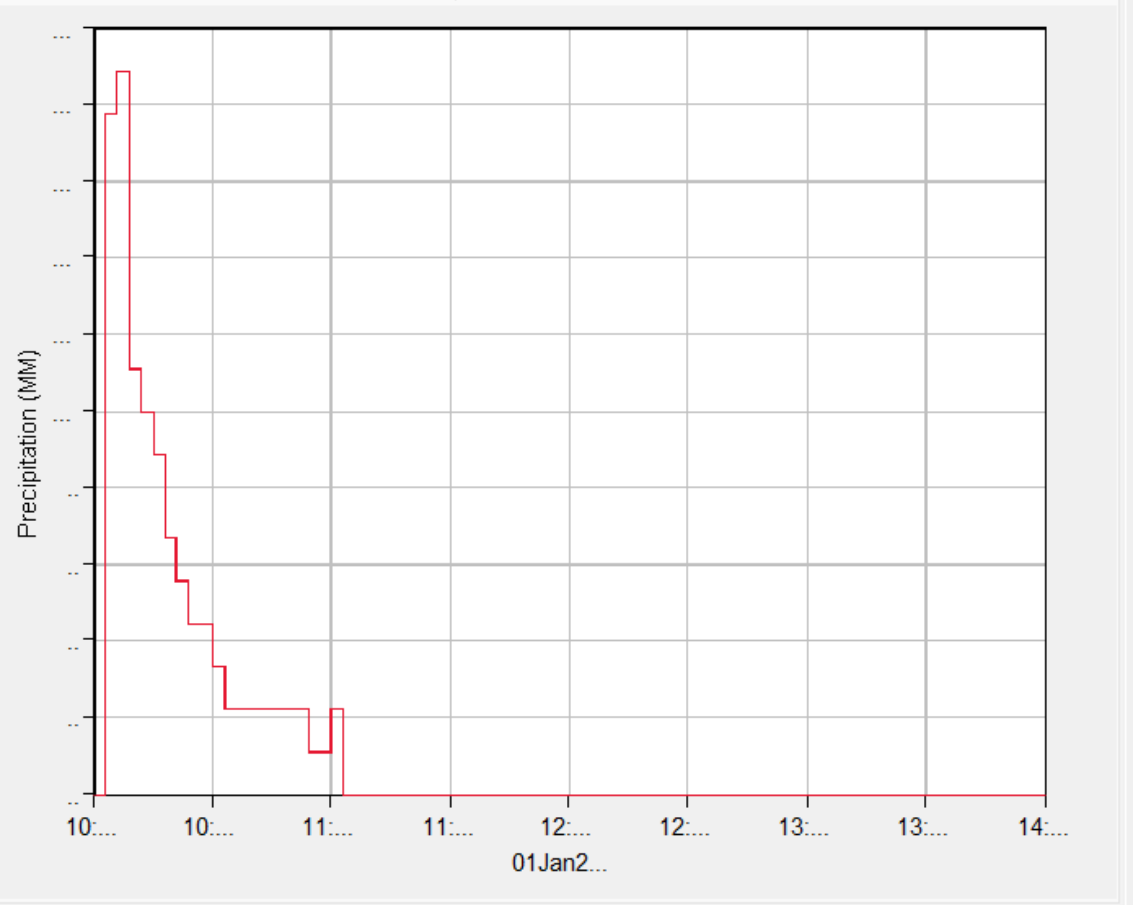
4.8.2.2 Hietograma de projeto SCS

O CN médio calculado foi de 76. Abaixo, segue os cálculos para encontrar a infiltração potencial máxima, bem como a infiltração inicial, além das Figuras 60 e 61 referentes ao Hietograma de HUFF e ao hidrograma de projeto (SCS).

Infiltração Potencial Máxima (**S**): $\mathbf{S\ mm} = 25400/CN - 10$ = 80,2105 mm

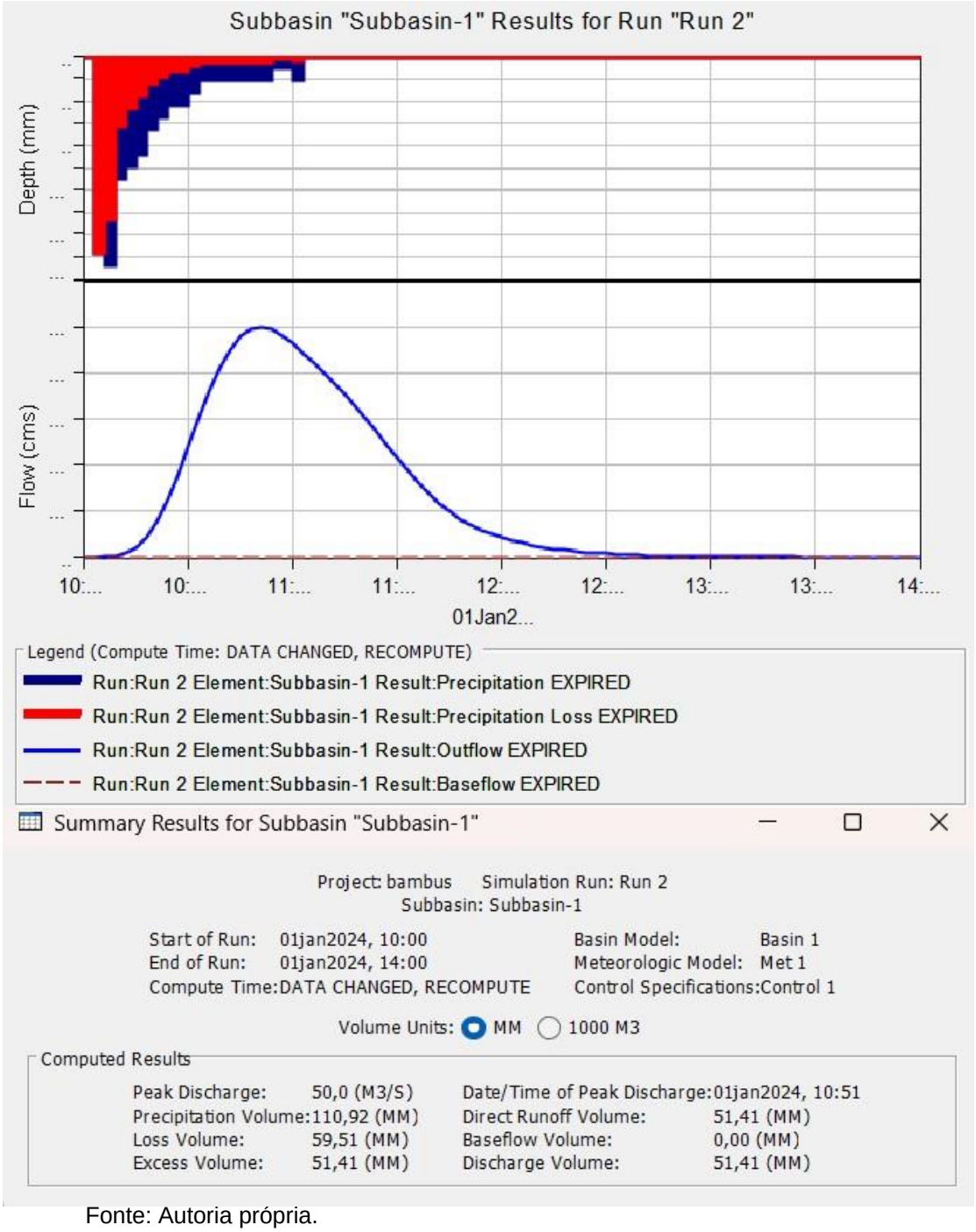
Infiltração Inicial (**Ia**): $\mathbf{Ia\ mm} = \mathbf{0,2} * \mathbf{S}$ = 16,0421 mm

Figura 60 – Hietograma de HUFF



Fonte: Autoria própria.

Figura 61 – Hidrograma de projeto SCS



Fonte: Autoria própria.

Em suma, a análise comparativa entre a microbacia do Bambus/Custodinho e a microbacia dos Bambus revela que a vazão de projeto não é determinada exclusivamente pela área da microbacia. Embora a microbacia do Bambus/Custodinho seja consideravelmente maior, a vazão de projeto é significativamente menor (35,6 m³/s) em comparação com a microbacia dos Bambus (50,0 m³/s), indicando que outros fatores influenciam a determinação da vazão de

projeto. Este fenômeno pode ser atribuído à intensidade de precipitação substancialmente mais elevada e ao menor tempo de concentração na microbacia dos Bambus, juntamente com as características de uso do solo que influenciam a impermeabilização e a infiltração, como indicado pelos valores do Curve Number. Esses fatores interagem de forma complexa, resultando em uma maior vazão de projeto para a microbacia dos Bambus, apesar de sua área menor. Conforme Maidment (2002) e Singh (2013), isso destaca a importância de uma avaliação integrada de todos os parâmetros hidrológicos para a compreensão e gestão eficaz dos recursos hídricos em microbacias.

Estudos como o de Camargo, Comini, Calijuri e Assis (2011) corroboram essa observação ao mostrar que as características físicas do terreno, uso do solo e grau de urbanização também são determinantes importantes. Por exemplo, uma das sub-bacias do ribeirão São Bartolomeu, a sub-bacia 4, situada na Zona da Mata de Minas Gerais, região Sudeste do Brasil, possui aproximadamente 69% de sua área ocupada pela zona urbana do município. Embora apresente a menor área de contribuição, registra uma das maiores vazões de pico entre as bacias estudadas. Portanto, a lâmina total escoada apresenta uma forte relação com a impermeabilização do solo, destacando a importância do planejamento urbano, especialmente em áreas densamente urbanizadas.

Essa comparação sublinha a complexidade da gestão de recursos hídricos, onde múltiplos fatores além da área da bacia, como a topografia, a cobertura do solo e o grau de urbanização, precisam ser considerados para a determinação precisa da vazão de projeto e o desenvolvimento de estratégias eficazes de mitigação e planejamento.

De forma similar, estudos como os de Wei *et al*. (2022) indicam que fatores como tipo de uso da terra, tipo de solo e inclinação alteram a suplementação da precipitação no fluxo base. Price (2011) também demonstrou que, quando terras florestais foram convertidas para outros tipos de uso, o fluxo base diminuiu, enquanto a reflorestação aumentou o fluxo base. Além disso, Price, Jackson, Parker, Reitan, Dowd e Cyterski (2011) indicaram que o fluxo base diminuiu em áreas urbanas devido ao aumento da cobertura de superfícies impermeáveis.

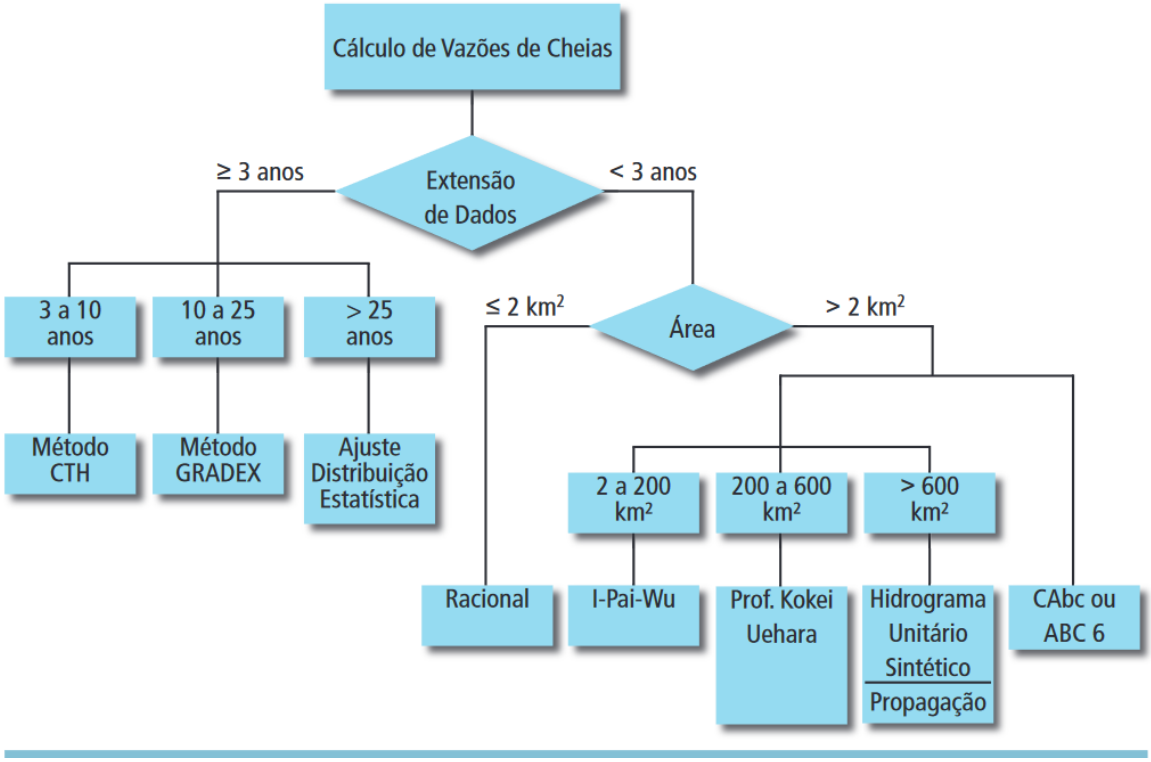
Um dos poucos estudos sobre a vazão de projeto do Córrego dos Bambus é o de Cougo (2016). No entanto, ao contrário da área de contribuição considerada nesse estudo, que é inferior a 3,0 km², o presente estudo encontrou uma área de 3,4 km².

Essa diferença se deve ao fato de que o primeiro estudo utilizou uma metodologia que envolveu a delimitação da área da bacia de drenagem com base nas curvas de nível geradas pelo software Global Mapper®, permitindo o traçado da bacia no Google Earth® considerando as cristas das curvas de nível, o exutório e seus divisores de água. Em contrapartida, este estudo utilizou uma metodologia mais precisa, detalhada no item **3.2**.

Outro ponto de divergência é a localização da nascente do Córrego dos Bambus. No estudo de Cougo (2016), a nascente foi alocada no reservatório do Vale do Sol. No entanto, conforme a Lei Federal 12.651/2012 (Art. 3º, XVII), a nascente é definida como o “afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d’água”. Complementarmente, Rocha (2023) define a nascente como o local onde se inicia a bacia hidrográfica, geralmente o ponto mais elevado do relevo, onde se encontra a principal nascente do rio, sendo este o rio de maior volume e extensão da bacia que normalmente recebe contribuições dos afluentes. No presente caso, a nascente do Córrego dos Bambus é, na verdade, mais a montante, em uma área brejosa difusa. Essa informação foi confirmada em campo pela Secretaria de Meio Ambiente no ano de 2022.

Outro ponto de discordância refere-se à validação do uso do Método Racional. Rubem Porto (2004) afirma que, para bacias pequenas de até 2 hectares, caracterizadas como microdrenagem, utiliza-se o Método Racional. Além disso, de acordo com o Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) (2005), o Método Racional também é aplicável a bacias hidrográficas de até 2 km². Para a aplicação adequada da metodologia, deve-se, primeiramente, verificar a extensão da série histórica de dados fluviométricos existentes e, se necessário, o tamanho da área de drenagem (AD) da bacia em estudo (DAEE, 1994) (Figura 62).

Figura 62 – Diagrama das metodologias adotadas para a estimativa de vazões de enchente



Fonte: DAEE (2005).

4.9 CENÁRIOS PROPOSTOS

4.9.1 Microbacia hidrográfica dos Córregos Bambus/Custodinho

Na modelagem hidrológica dos cenários propostos para a microbacia hidrográfica dos Córregos Bambus/Custodinho, foram consideradas medidas estruturais extensivas, que incluem a revitalização de áreas de preservação permanente e zonas de proteção, bem como a consideração das áreas de reserva legal em glebas rurais.

A revitalização das áreas de preservação permanente levou em consideração o conceito de uso consolidado (área rural consolidada): “área de imóvel rural com ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pousio” (Brasil, 2012; Minas Gerais, 2013). Levou em conta também o tamanho das propriedades e a obrigatoriedade de recomposição das respectivas faixas marginais das áreas de preservação permanente.

Em consulta ao Cadastro Ambiental Rural (CAR), no Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (Sicar), de todos os empreendimentos inseridos nas microbacias hidrográficas do Córrego dos Bambus e do Bambus/Custodinho, constatou-se que a maior parte das propriedades possui entre 1 módulo fiscal e 2 módulos fiscais. Segundo o art. 61-A, § 2º, da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (Novo Código Florestal), e o art. 16, § 1º, II, da Lei 20.922, de 16 de outubro de 2013 (Código Florestal Mineiro), nas Áreas de Preservação Permanente, é autorizada, exclusivamente, a continuidade das atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo e de turismo rural em áreas rurais consolidadas até 22 de julho de 2008.

Conforme a Lei nº 12.727/2012, imóveis rurais com áreas consolidadas em Áreas de Preservação Permanente (APPs) ao longo de cursos d'água naturais são obrigados a recompor faixas marginais. A extensão dessa recomposição varia de acordo com o tamanho da propriedade, sendo de 8 metros para propriedades maiores que 1 e até 2 módulos fiscais, medida a partir da borda da calha do leito regular. Para propriedades de até 1 módulo fiscal, a recomposição deve ser de 5 metros; para aquelas maiores que 2 e até 4 módulos fiscais, de 15 metros; e para propriedades maiores que 4 módulos fiscais, de 30 metros.

Consoante as disposições da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 e da Lei Estadual nº 20.922, de 16 de outubro de 2013, impõe-se aos imóveis rurais a obrigatoriedade de preservação ou recomposição de uma parcela do território com vegetação nativa, designada como Área de Reserva Legal (RL), a qual não exime o cumprimento das disposições concernentes às Áreas de Preservação Permanente. Especificamente para a zona geográfica abordada neste estudo, a área destinada à Reserva Legal deve corresponder a, no mínimo, 20% da totalidade da área do imóvel rural.

Adicionalmente, estabelece-se que para propriedades rurais que, em 22 de julho de 2008, possuíam até quatro módulos fiscais e menos de 20% de cobertura de vegetação nativa, há a obrigação de constituir sua Reserva Legal com base na área de vegetação nativa remanescente nessa data. Quaisquer novas conversões dessas áreas para usos alternativos do solo são proibidas.

É importante ressaltar que, de acordo com o Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651/2012) e suas alterações pela Lei 20.922/2013, pequenos proprietários (até quatro módulos fiscais) que desmataram antes de 22 de julho de 2008 e aderiram ao Programa de Regularização Ambiental (PRA) têm o direito de recompor a Reserva

Legal apenas com o percentual existente até aquela data. No entanto, se desmatarem novamente após 22 de julho de 2008, eles perdem esse direito e devem recompor a Reserva Legal conforme os percentuais exigidos pela legislação atual, sem os benefícios do PRA.

No âmbito legislativo do Município de Três Pontas, duas leis destacam-se na regulamentação do uso e ocupação do solo urbano, bem como na definição de estratégias para a preservação ambiental. A Lei nº 1288, datada de 13 de abril de 1988, introduz as Zonas de Proteção (ZP) como áreas non aedificandi, proibindo construções nessas regiões vitais. Essa normativa é ampliada pela Lei nº 2733, de 09 de outubro de 2006, que articula o Plano Estratégico de Desenvolvimento Integrado do município, incorporando a preservação ambiental como um eixo central do desenvolvimento urbano.

Especificamente, o artigo 16 da Lei nº 2733 sublinha a necessidade de valorizar e proteger as áreas de significativo valor paisagístico, como as colinas ao norte da cidade. Esta legislação propõe a criação de parques ecológicos e um plano abrangente de revitalização paisagística, incluindo a arborização de espaços públicos e a recuperação de matas ciliares, essenciais para as Áreas de Preservação Permanente (APPs). Essas medidas são estratégicas não apenas para a conservação da estética e da biodiversidade local, mas também para fortalecer o papel das Zonas de Proteção na mitigação de enchentes e no enfrentamento das mudanças climáticas. Neste sentido, a simulação de recuperação das Zonas de Proteção nas colinas do norte considerou o reflorestamento de todas as glebas onde não há edificações, exceto uma única gleba com edificação. Para as demais áreas, levou-se em consideração as regiões passíveis de regeneração, ainda não florestadas.

Em resumo, a simulação em questão abordou a recomposição das APPs de cursos d'água e nascentes em áreas rurais consolidadas, conforme orientado pela Lei nº 12.727/2012 e alinhado ao módulo fiscal das propriedades. Esta abordagem seguiu as diretrizes da Lei Federal nº 12.651/2012, bem como as especificações das leis estadual e municipal correspondentes, evidenciando um comprometimento com a sustentabilidade ambiental e o planejamento urbano responsável em Três Pontas. Ademais, é importante ressaltar que, durante a simulação, foram verificadas as áreas em que não havia possibilidade de recomposição, como edificações consideradas de uso consolidado, destacando a atenção dada às particularidades do território em análise.

4.9.2 HIDROGRAMA DE PROJETO SCS CONSIDERANDO AS MEDIDAS PROPOSTAS PARA A MICROBACIA BAMBUS/CUSTODINHO

A Tabela 11, apresentada a seguir, descreve as áreas passíveis de alteração com o objetivo de reflorestamento. Foram identificadas áreas de regeneração, solos expostos, pastagens/vegetação rasteira e lavouras de café que serão convertidas em florestas.

Tabela 11 – Áreas passíveis de alteração para reflorestamento

Categoria	**Descrição**	**Área (m²)**
Áreas de regeneração	Destinadas à transformação em florestas	385565,5
Solos expostos	Destinados à conversão em florestas	41646
Pastagens/vegetação rasteira	Destinadas ao reflorestamento	648480
Lavouras de café	Destinadas ao reflorestamento	867782
TOTAL		**1943473,5**

Fonte: Autoria própria.

Conforme pode ser observado, as áreas passíveis de alteração para reflorestamento totalizaram 1943473,5 m².

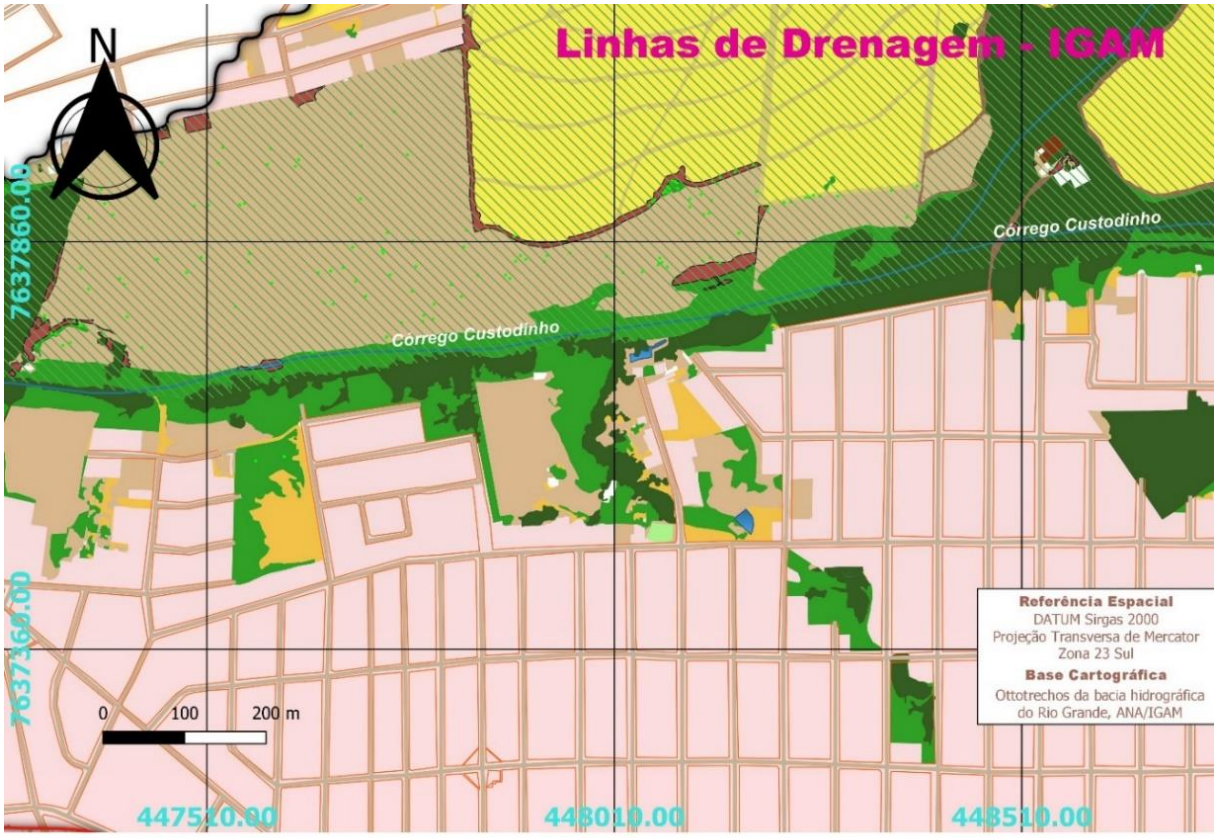
Destaca-se que o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) lançou em 2021 uma nova edição da Base Hidrográfica Ottocodificada, como parte de seus esforços contínuos para aprimorar a gestão dos recursos hídricos. Esta atualização representou um avanço significativo em relação à versão anterior de 2010, incorporando melhorias como a integração de informações, consultas a trechos de cursos d'água e a inclusão de dados físicos, socioeconômicos e hidrológicos mais abrangentes. Prevê-se que essa atualização facilite e agilize várias análises hidrográficas, contribuindo assim para uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos (IGAM, 2024).

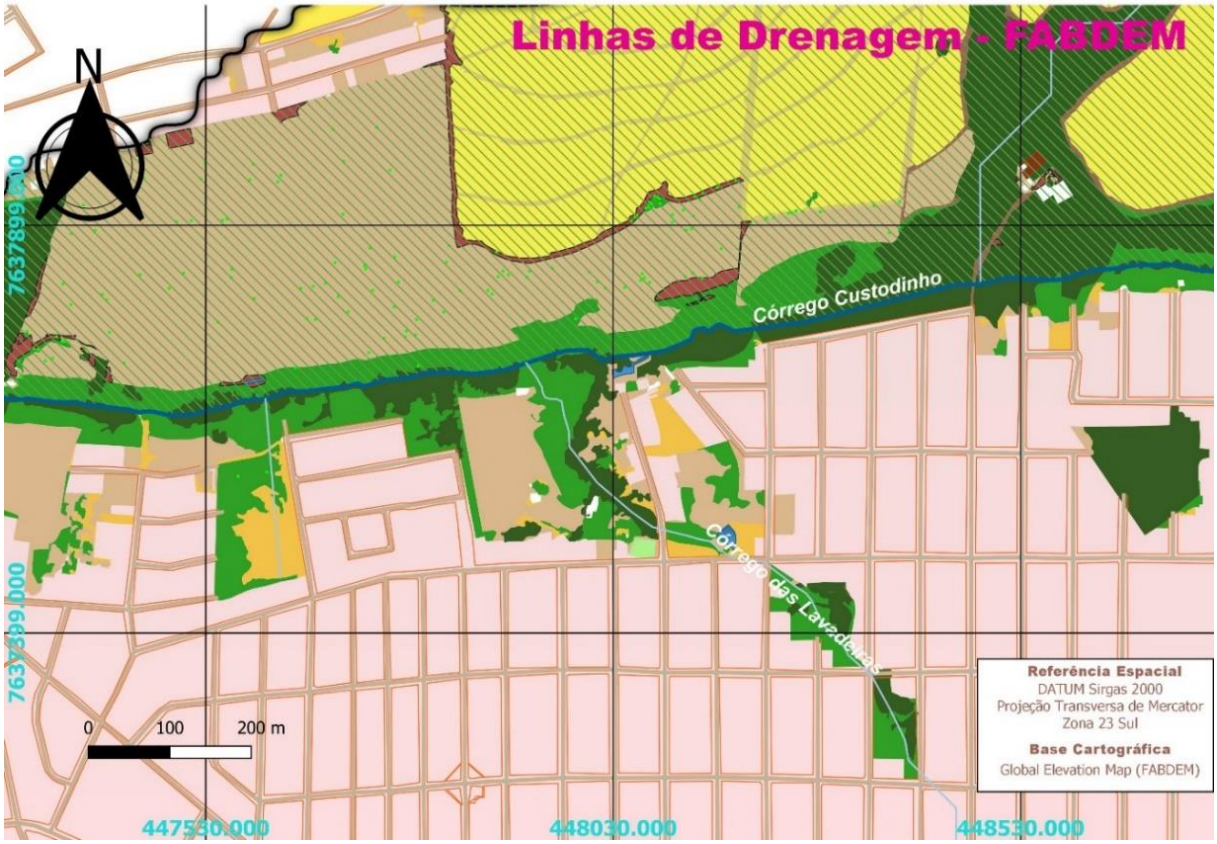
Entretanto, um dos achados da dissertação revelou que a nova versão da base hidrográfica apresenta limitações ao reconhecer algumas linhas de drenagem correspondentes a córregos intermitentes e/ou perenes, como é o caso do Córrego

das Lavadeiras, localizado na região sudeste da zona urbana de Três Pontas/MG. Por outro lado, a análise demonstrou que o FABDEM, conforme descrito nos itens **3.2** e **4.1**, apresenta uma precisão superior na identificação dessas características hidrográficas.

Assim como em outros estudos e baseado na literatura, de acordo com Maidment (2002) e Paranhos Filho *et al*. (2021), esses resultados destacam a importância de adotar abordagens que integrem múltiplas fontes de dados e tecnologias para uma análise mais precisa e abrangente da hidrografia local. Para mais detalhes, a Figura 63, apresentada a seguir, oferece uma visualização elucidativa dessas conclusões.

Figura 63 – Comparação da Identificação de Linhas de Drenagem entre a Base Hidrográfica Ottocodificada e o Modelo FABDEM





Fonte: Autoria própria.

Em relação ao Curve Number (CN), a Tabela 12 apresenta a comparação do CN antes e após a simulação, considerando a área ocupada. Os valores de CN acima de 80, agora, totalizam cerca de 26% da área de contribuição e incluem pista de pouso, terreiros de café, áreas residenciais, comerciais, solo exposto, aceiros e carreadores de café, e áreas consideradas muito impermeabilizadas. As áreas com CN entre 60 e 80 representam 46% da área de contribuição da rede de drenagem e estão associadas às áreas brejosas, às áreas de regeneração, às lavouras de café, às áreas permeáveis na zona urbana e às áreas permeáveis residenciais. Já as áreas com maior capacidade de infiltração, com CN menor que 60, como florestas, bosques e pastagens em boas condições apresentam cerca de 28% da área.

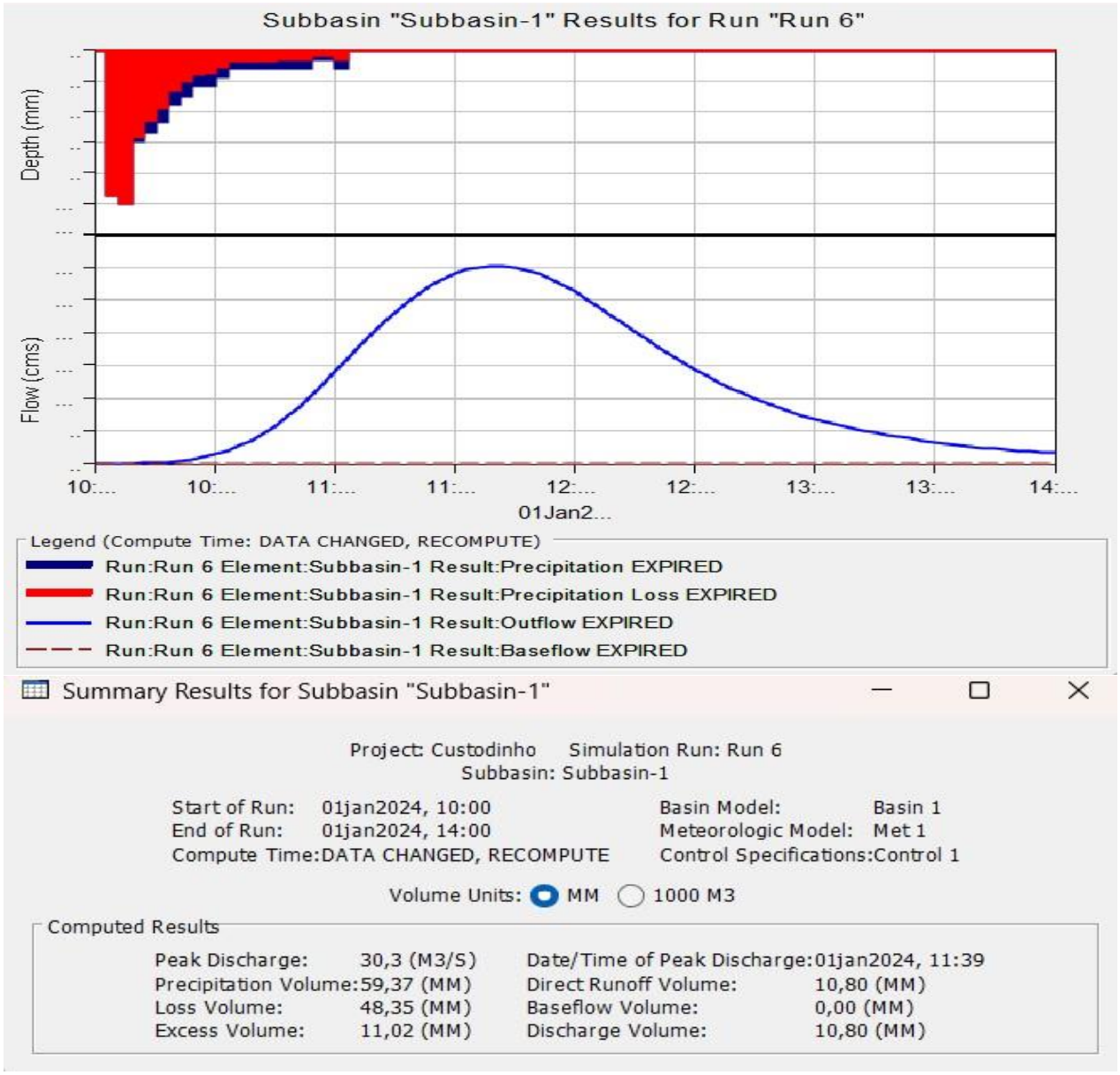
Tabela 12 – Comparação de Curve Number (CN) antes e depois das alterações de uso e ocupação do solo nas microbacias

CN	**% Área da Bacia (Antes)**	**% Área da Bacia (Depois)**
<60	20%	28%
60 – 80	54%	46%
>80	26%	26%

Fonte: Autoria própria (2024).

O novo CN médio calculado foi de aproximadamente 72. Abaixo, é apresentada a Figura 64 referente ao novo hidrograma de projeto (SCS).

Figura 64 – Hidrograma de projeto SCS



Fonte: Autoria própria.

Os dados hidrológicos do hidrograma de projeto inicial mostraram uma vazão de pico de 35,6 m³/s, com um volume de precipitação de 59,37 mm, um volume de perdas de 46,39 mm, um volume excedente de 12,98 mm e um volume de escoamento direto de 12,72 mm. Após o reflorestamento, os dados hidrológicos indicaram uma redução significativa na vazão de pico para 30,3 m³/s, o que significa uma redução percentual de cerca de 15%. O volume de precipitação permaneceu constante em 59,37 mm, como esperado, visto que o reflorestamento não altera a quantidade de chuva que cai na área. No entanto, o volume de perdas aumentou para 48,35 mm, indicando que uma maior quantidade de água foi absorvida pelo solo e pela

vegetação. Este aumento na capacidade de infiltração é um dos principais benefícios do reflorestamento, pois reduz a quantidade de escoamento superficial.

O volume excedente diminuiu de 12,98 mm para 11,02 mm, mostrando que menos água contribuiu para o escoamento superficial após o reflorestamento. De forma similar, o volume de escoamento direto reduziu de 12,72 mm para 10,80 mm, complementando a diminuição na vazão de pico e confirmando que o reflorestamento melhora a infiltração da água no solo e reduz o escoamento superficial.

Camargo *et al*. (2011) realizaram simulações para avaliar a manutenção e recuperação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e a construção de bacias de acumulação, com o objetivo de armazenar e reter a água durante eventos de precipitação, permitindo sua infiltração. As APPs foram delimitadas como faixas de 30 metros ao longo dos cursos d'água e em encostas com declividades superiores a 45 graus. De forma similar, este estudo também incluiu a simulação da recuperação de APPs. No estudo de Camargo *et al*., a simulação do cenário original estimou uma lâmina escoada de 40,88 mm, que foi reduzida para aproximadamente 14,81 mm após as intervenções. Esses resultados podem indicar a importância de implementar bacias de acumulação em locais estratégicos.

O impacto ambiental do reflorestamento das áreas descritas é significativo. A vegetação densa e as raízes das árvores aumentam a capacidade do solo de reter água, diminuindo o risco de erosão e melhorando a qualidade da água nos corpos d'água locais (Embrapa Solos, 2008; Rodrigues *et al*., 2023). Além disso, a prática de converter áreas degradadas ou utilizadas para agricultura em florestas contribui para a sustentabilidade a longo prazo. As florestas oferecem habitat para a fauna, sequestram carbono e podem até melhorar a produtividade agrícola nas áreas adjacentes devido ao aumento da umidade do solo (Souza, 2004, 2018, 2022ª, 2022b).

Embora o reflorestamento possa exigir um investimento inicial significativo, os benefícios a longo prazo, como a redução de custos associados a inundações e erosão, podem justificar o custo. Há também potencial para obter receitas adicionais através de créditos de carbono ou ecoturismo (Montgomery, 2007, 2012). No entanto, a transformação de lavouras de café e pastagens/vegetação rasteira em florestas pode enfrentar resistência de agricultores que dependem dessas áreas para sua subsistência. Portanto, programas de reflorestamento devem considerar a inclusão de soluções que integrem a comunidade local, como agroflorestas, que combinam

árvores com culturas agrícolas, e/ou a possibilidade de permuta ou compra dessas terras pelo poder público.

Para ilustrar o impacto positivo de tais estratégias, várias municipalidades nos Estados Unidos implementaram programas de compra onde propriedades em áreas propensas a inundações são adquiridas de vendedores dispostos. Essas propriedades são então convertidas em espaços verdes, parques ou áreas úmidas restauradas, que podem absorver o excesso de água e reduzir os riscos de inundação. Newport News, na Virgínia, é um exemplo onde áreas úmidas foram restauradas após a remoção de casas por meio de um projeto de compra, ajudando a conter e absorver água durante marés altas e eventos de inundação (The Pew Charitable Trusts, 2022).

Além disso, o Serviço de Conservação de Recursos Naturais (NRCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) também desempenha um papel crucial na gestão de inundações. O NRCS pode financiar a aquisição de terras por meio do Programa de Servidão de Planície de Inundação para Proteção de Bacias Hidrográficas de Emergência. Este programa se concentra principalmente em terras agrícolas ou abertas, mas também pode abranger terras usadas para habitação, sendo uma fonte importante de assistência para compras em algumas comunidades do Nordeste afetadas pela Superstorm Sandy e pelo Furacão Irene (U.S. Department of Agriculture, 2021).

No Reino Unido, as Autoridades Locais de Liderança em Inundações (LLFAs) e outras autoridades de gerenciamento de risco estão envolvidas na criação de planos de gerenciamento de risco de inundações que às vezes incluem a aquisição de terras para criar defesas naturais contra inundações. Isso inclui converter terras privadas propensas a inundações em espaços verdes públicos para aumentar a resiliência às inundações (Local Government Association, 2024).

Complementando essas iniciativas, estudos indicam que iniciativas de reflorestamento nos Estados Unidos, apoiadas por parcerias públicas e privadas, estão focadas em restaurar a cobertura florestal tanto em terras públicas quanto privadas para melhorar a mitigação de inundações e fornecer outros serviços ecossistêmicos (Fargione *et al*., 2021).

Dessa forma, o reflorestamento e as práticas de aquisição de terras em áreas de risco demonstram ser estratégias eficazes não apenas para a mitigação de inundações, mas também para a promoção de benefícios ambientais adicionais e a inclusão da comunidade local na gestão sustentável do uso da terra.

A simulação indica que o reflorestamento é uma estratégia eficaz para reduzir a vazão de pico e melhorar a gestão da água na bacia hidrográfica. A análise dos dados mostra claramente que a transformação das áreas mencionadas em florestas tem um impacto positivo significativo na hidrologia local, beneficiando tanto o meio ambiente quanto as comunidades humanas. A implementação bem-sucedida requer uma abordagem equilibrada que leve em consideração os aspectos ambientais, sociais e econômicos, garantindo assim a sustentabilidade e a aceitação das práticas de reflorestamento.

Estudos, como o de Camargo *et al*. (2011), analisaram o comportamento da microbacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu na Zona da Mata de Minas Gerais, Região Sudeste do Brasil, em relação à produção de escoamento superficial para um evento extremo com período de retorno de 50 anos, o mesmo adotado neste estudo, e apresentando características similares à microbacia dos Córregos Bambus/Custodinho.

Um dos resultados obtidos no estudo de Camargo *et al*. (2011) corrobora os achados deste trabalho, evidenciando que as sub-bacias não urbanizadas ou pouco urbanizadas desempenham um papel crucial no amortecimento da vazão de pico. Na microbacia do Ribeirão São Bartolomeu, essas áreas representam aproximadamente 72% da área total da bacia e são responsáveis por 74% da vazão de pico no exutório.

No presente estudo, as sub-bacias não urbanizadas também compõem a maior parte da área da bacia, representando cerca de 56%. Além disso, Camargo *et al*. (2011) destacam que as intervenções em áreas rurais apresentam menores custos associados, devido à maior facilidade de execução de medidas estruturais e não-estruturais, favorecidas pela menor densidade populacional e pela presença de áreas permeáveis com uso consolidado.

4.9.3 Microbacia hidrográfica do Córrego dos Bambus

Na modelagem hidrológica dos cenários propostos para a microbacia hidrográfica do Córrego dos Bambus, foram consideradas as medidas estruturais extensivas, que incluem a revitalização de áreas de preservação permanente e zonas de proteção, bem como a consideração das áreas de reserva legal em glebas rurais; e a implementação de soluções permeáveis e áreas de infiltração em propriedades residenciais, conforme os itens constantes no art. 3º, § 1.º, XI, XII e XIII da Minuta de

Lei do IPTU Verde (ANEXO B), a saber: construção de calçadas permeáveis e/ou ecológicas e/ou com arborização compatível com o Plano Municipal de Arborização Urbana ou outro que venha a substituí-lo (sendo considerado, aqui, plantio de uma árvore na calçada de cada residência); imóveis residenciais que possuam pelo menos 20% de sua área interna coberta por vegetação e materiais permeáveis; adoção de práticas de LID "Low Impact Development" (Desenvolvimento de Baixo Impacto), assegurando que pelo menos 60% das águas pluviais incidentes sejam infiltradas dentro dos limites do imóvel. Foram delineados três cenários na modelagem, considerando diferentes níveis de adesão às práticas do IPTU Verde: total (100%), parcial (50%) e mínima (25%) pelos residentes na microbacia do Córrego do Bambus.

Adicionalmente, uma medida estrutural intensiva foi planejada para eliminar o ressalto hidráulico identificado em um ponto específico do canal, conforme detalhado na seção **4.4** do documento. Essa medida consiste na concretagem do leito do córrego, ajustada ao coeficiente de Manning adequado, com o objetivo de melhorar a capacidade de escoamento. Ao longo dos anos, o córrego sofreu processos erosivos que resultaram no rebaixamento do leito, criando uma depressão erosiva no canal, o que intensificou o ressalto hidráulico e aumentou o risco de transbordamento. A concretagem é essencial para eliminar esse ressalto, que ocorre devido à formação dessa cavidade erosiva, restaurando a estabilidade estrutural e hidráulica do canal. Dessa forma, a medida também previne novos processos erosivos, minimizando os riscos de enchentes e assegurando o funcionamento eficiente do sistema de drenagem.

Como estratégia complementar não estrutural, a Minuta de Lei do IPTU Verde será implementada, promovendo mudanças comportamentais e incentivando práticas sustentáveis na gestão das águas urbanas, visando a mitigação de inundações e o aprimoramento do manejo de águas pluviais no município.

4.9.4 Hidrograma de projeto SCS considerando as medidas propostas para a microbacia do Córrego dos Bambus (25% de adesão)

A Tabela 13, apresentada a seguir, descreve as áreas passíveis de alteração com o objetivo de reflorestamento, além do quantitativo referente a 20% de áreas permeáveis incidentes em lotes residenciais, considerando a área mínima de 200 m² exigida pelo parcelamento urbano, de acordo com a legislação municipal; o número

de árvores que podem ser alocadas em calçadas; e o percentual de adesão às práticas LIDs. Foram identificadas áreas de regeneração, solos expostos e pastagens/vegetação rasteira que serão convertidas em florestas.

Tabela 13 – Áreas passíveis de alteração para reflorestamento

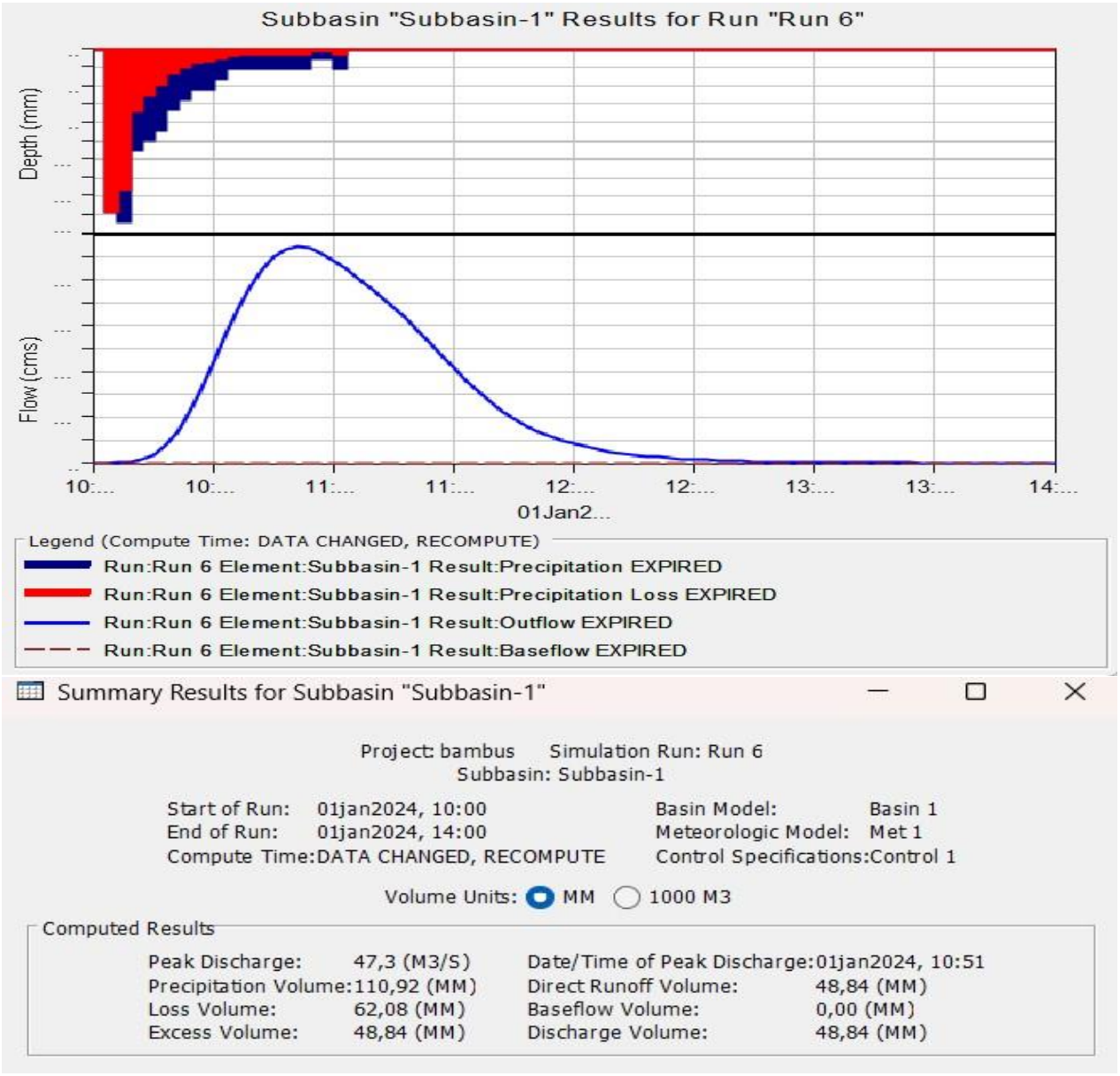
Categoria	**Descrição**	**Área (m²)**
Áreas de regeneração	Destinadas à transformação em florestas	255869
Solos expostos	Destinados à conversão em florestas	35094
Pastagens/vegetação rasteira	Destinadas ao reflorestamento	37699
TOTAL		**328662**
20% de áreas permeáveis em lotes residenciais	25% de adesão	73280
Árvores	Destinadas a calçadas	1832
LID	Técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto	25% de adesão

Fonte: Autoria própria.

Conforme observado, as áreas passíveis de alteração para reflorestamento totalizaram 328662 m². Além disso, existem 73280 m² de áreas permeáveis na zona urbana. Adicionalmente, 458 árvores foram destinadas às calçadas, correspondendo a 25% do total que poderá ser alocado; e as práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) tiveram uma adesão de 25%. Inicialmente, foram considerados 18320 m² referentes aos 25% das áreas permeáveis residenciais.

O novo CN médio calculado foi de 74,65. Abaixo, é apresentada a Figura 65 referente ao novo hidrograma de projeto (SCS).

Figura 65 – Hidrograma de projeto SCS



Fonte: Autoria própria.

Os dados hidrológicos do hidrograma de projeto inicial indicaram uma vazão de pico de 50,0 m³/s, com um volume de precipitação de 110,92 mm, perdas de 59,51 mm e escoamento direto de 51,41 mm. Após o reflorestamento e a adesão de 25% de lotes permeáveis na zona urbana, houve uma redução na vazão de pico para 47,3 m³/s, uma diminuição de cerca de 5,5%. O volume de precipitação permaneceu constante, como esperado, e as perdas aumentaram para 62,08 mm, indicando maior infiltração. O volume excedente foi reduzido para 48,84 mm, refletindo uma menor contribuição para o escoamento superficial.

Assim como na microbacia hidrográfica dos Córregos Bambus/Custodinho, as alterações realizadas na microbacia do Córrego Bambus resultaram em uma redução

na vazão de pico e nos volumes de escoamento direto e de descarga, indicando uma melhor capacidade de infiltração e retenção de água no solo. Isso pode ser atribuído à implementação de práticas de manejo que aprimoram a capacidade do solo em absorver e reter água, diminuindo, assim, o escoamento superficial. Tais resultados indicam uma melhora na gestão das águas pluviais e um potencial aumento na sustentabilidade da bacia hidrográfica.

Ademais, a simulação relativa às árvores alocadas em calçadas foi baseada no estudo realizado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA) de Três Pontas, nos anos de 2022 e 2023. A SMMA avaliou a sanidade dos indivíduos arbóreos localizados no bairro Botafogo, incluindo a área de interceptação por árvore (área de copa). Para o presente trabalho, foi necessário estabelecer um limiar mínimo de área de copa de 6 m², de modo a representar todos os indivíduos e garantir que nenhum indivíduo tivesse uma área de copa menor que esse valor. Além disso, foram considerados os valores de interceptação, conforme descrito no item **2.5.1** deste trabalho, assumindo que todas as espécies de árvores têm uma capacidade de armazenamento mínimo de 1,0 mm em suas copas.

A nova vazão, considerando a interceptação de água pelas copas das 458 árvores (cada uma interceptando 1 mm de chuva com uma área de copa de 6 m²), foi calculada em aproximadamente 47,299 m³/s. Esse cálculo demonstra que a interceptação de água pelas copas das árvores tem um impacto na vazão total. Embora esse impacto possa ser significativo na alteração do tempo de concentração e na redução do escoamento superficial, é possível que o efeito real seja ainda maior. Estudos complementares são necessários para quantificar de forma mais precisa o impacto na dinâmica hidrológica da bacia.

Para o cálculo da LID, assumiu-se uma abordagem em que a redução na vazão de projeto é linear e diretamente proporcional ao percentual de águas pluviais infiltradas devido à adesão às práticas de LID. Então, focou-se na parte residencial, composta por 1832 lotes, com média de 200 m² cada um. O cálculo inicial correspondeu a 25% de adesão. A vazão de projeto atual era de 47,299 m³/s, abrangendo a área total da microbacia, que é de 3,4 km².

A área total dos lotes residenciais foi calculada multiplicando o número de lotes pela área média por lote, resultando em 366400 m², o que equivale a 0,3664 km². Esta área residencial representou aproximadamente 10,78% da área total da microbacia (0,3664 km² / 3,4 km²). Assim, a vazão de projeto da parte residencial (Qres) foi

determinada como 10,78% da vazão de projeto total, resultando em aproximadamente 5,098 m³/s (47,299 m³/s * 0,1078).

Para calcular a redução na vazão de projeto devido à infiltração, assumiu-se um percentual efetivo de infiltração de 15% (25% de adesão * 60% de infiltração). Multiplicando a vazão de projeto da parte residencial (5,098 m³/s) pelo percentual de infiltração (15%), obteve-se uma vazão reduzida de aproximadamente 0,765 m³/s (5,098 m³/s * 0,15).

A nova vazão de projeto para a parte residencial (Qres_novo) foi obtida subtraindo a vazão reduzida da vazão de projeto original da parte residencial, resultando em aproximadamente 4,333 m³/s (5,098 m³/s - 0,765 m³/s). A vazão de projeto para as outras áreas da microbacia (Qoutros) foi a diferença entre a vazão de projeto total e a vazão de projeto da parte residencial, resultando em aproximadamente 42,201 m³/s (47,299 m³/s - 5,098 m³/s).

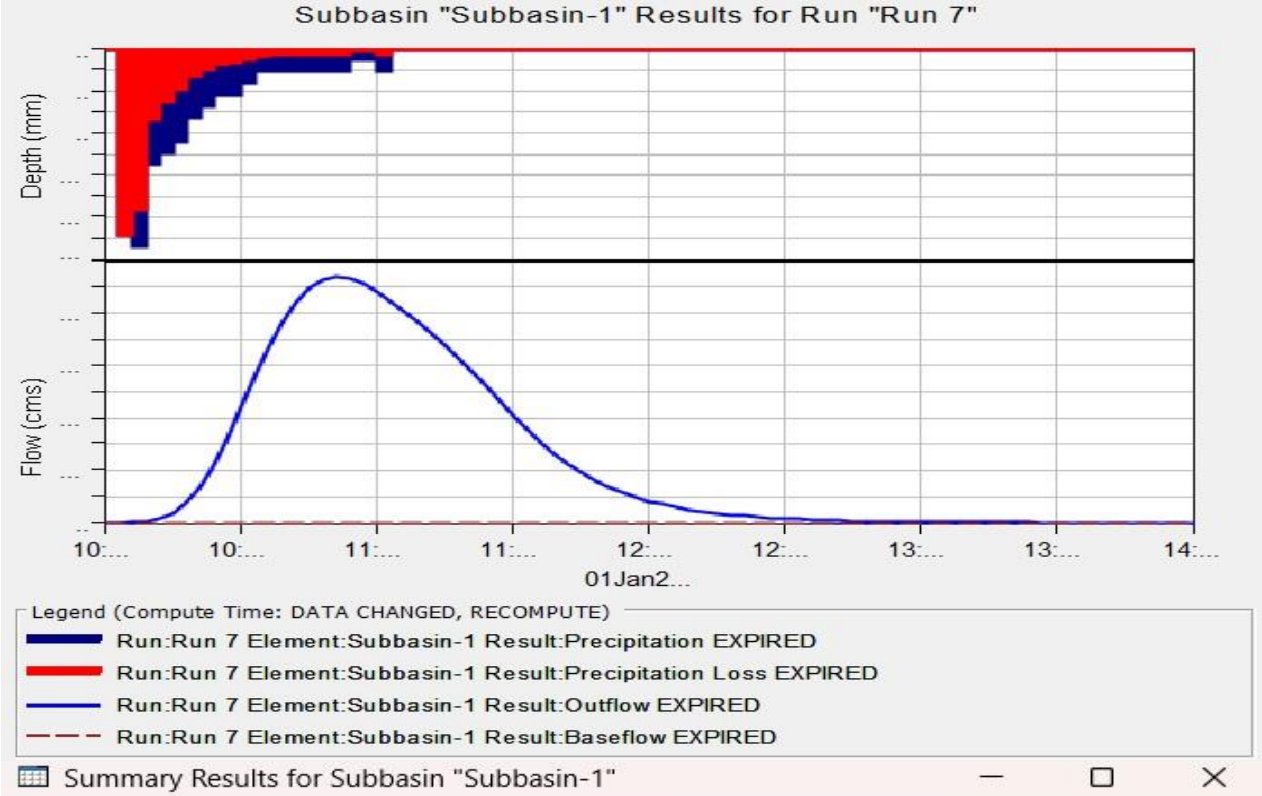
Somando a nova vazão de projeto da parte residencial (4,333 m³/s) e a vazão das outras áreas (42,201 m³/s), obteve-se a nova vazão de projeto total (Qn), que foi aproximadamente 46,534 m³/s. Portanto, a nova vazão de projeto, considerando a adesão de 25% às práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) e a infiltração de 60% das águas pluviais incidentes dentro dos limites dos imóveis residenciais, foi de aproximadamente 46,534 m³/s, o que significa uma redução percentual ainda maior de cerca de 7,0%. Este resultado demonstra que as práticas de LID têm um impacto significativo na redução da vazão de projeto, sendo mais eficazes do que a interceptação pelas árvores. A combinação de práticas de LID e estratégias de manejo integrado de recursos hídricos é essencial para uma gestão eficiente das águas pluviais em áreas urbanas.

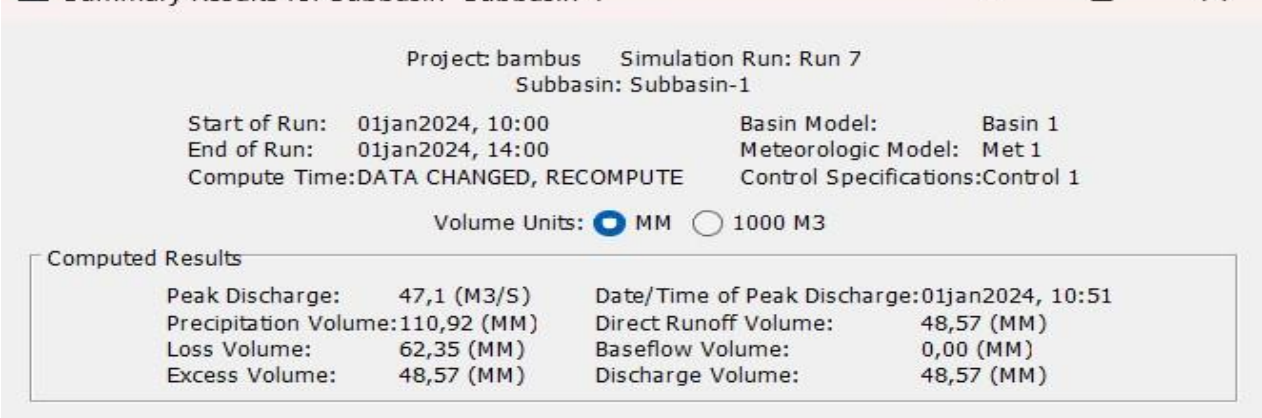
4.9.5 Hidrograma de projeto SCS considerando as medidas propostas para a microbacia do Córrego dos Bambus (50% de adesão)

Agora, 916 árvores foram destinadas às calçadas, correspondendo a uma adesão de 50%. As práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) também apresentaram uma adesão de 50%, assim como as áreas permeáveis residenciais, que agora totalizam 36640 m², representando 50% das áreas permeáveis residenciais. Por fim, as áreas passíveis de alteração para reflorestamento continuaram totalizando 328662 m².

O novo CN médio calculado foi de 74,55. Abaixo, é apresentada a Figura 66 referente ao novo hidrograma de projeto (SCS).

Figura 66 – Hidrograma de projeto SCS





Fonte: Autoria própria.

Os dados hidrológicos do hidrograma de projeto referente a 25% de adesão mostraram uma vazão de pico de 47,3 m³/s, com um volume de precipitação de 110,92 mm, um volume de perdas de 62,08 mm, um volume excedente de 48,84 mm e um volume de escoamento direto de 48,84 mm. Após a adesão de 50% de lotes permeáveis na zona urbana, os dados hidrológicos indicaram que houve uma redução na vazão de pico para 47,1 m³/s, uma diminuição de cerca de 6,0%. O volume de

precipitação permaneceu constante em 110,92 mm, como esperado, visto que o reflorestamento não altera a quantidade de chuva que cai na área. No entanto, o volume de perdas aumentou para 62,35 mm, indicando que uma maior quantidade de água foi absorvida pelo solo e pela vegetação. O volume excedente foi reduzido para 48,57 mm, refletindo uma menor contribuição para o escoamento superficial.

A nova vazão, considerando a adesão de 50%, ou seja, interceptação de água pelas copas das 916 árvores (cada uma interceptando 1 mm de chuva com uma área de copa de 6 m²), é de aproximadamente 47,098 m³/s. Esse cálculo mostra que a interceptação de água por 916 árvores tem um impacto muito pequeno na vazão total. Esse impacto é pequeno; contudo, na realidade, o ganho pode ser maior, necessitando de estudos complementares para se aproximar mais da realidade.

Para o cálculo da LID, assumiu-se uma abordagem em que a redução na vazão de projeto é linear e diretamente proporcional ao percentual de águas pluviais infiltradas devido à adesão às práticas de LID. Então, focou-se na parte residencial, composta por 1832 lotes, com média de 200 m² cada um. O cálculo inicial correspondeu a 50% de adesão. A vazão de projeto atual era de 47,098 m³/s, abrangendo a área total da microbacia, que é de 3,4 km².

Para calcular a redução na vazão de projeto devido à infiltração, assumiu-se um percentual efetivo de infiltração de 30% (50% de adesão * 60% de infiltração). Multiplicando a vazão de projeto da parte residencial (5,076 m³/s) pelo percentual de infiltração (30%), obteve-se uma vazão reduzida de aproximadamente 1,523 m³/s (5,076 m³/s * 0,30).

A nova vazão de projeto para a parte residencial (Qres_novo) foi obtida subtraindo a vazão reduzida da vazão de projeto original da parte residencial, resultando em aproximadamente 3,553 m³/s (5,076 m³/s - 1,523 m³/s). A vazão de projeto para as outras áreas da microbacia (Qoutros) foi a diferença entre a vazão de projeto total e a vazão de projeto da parte residencial, resultando em aproximadamente 42,022 m³/s (47,098 m³/s - 5,076 m³/s).

Somando a nova vazão de projeto da parte residencial (3,553 m³/s) e a vazão das outras áreas (42,022 m³/s), obteve-se a nova vazão de projeto total (Qn), que foi aproximadamente 45,575 m³/s. Portanto, a nova vazão de projeto, considerando a adesão de 50% às práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) e a infiltração de 60% das águas pluviais incidentes dentro dos limites dos imóveis residenciais, foi de aproximadamente 45,575 m³/s, o que significa uma redução de cerca de 9%. Este

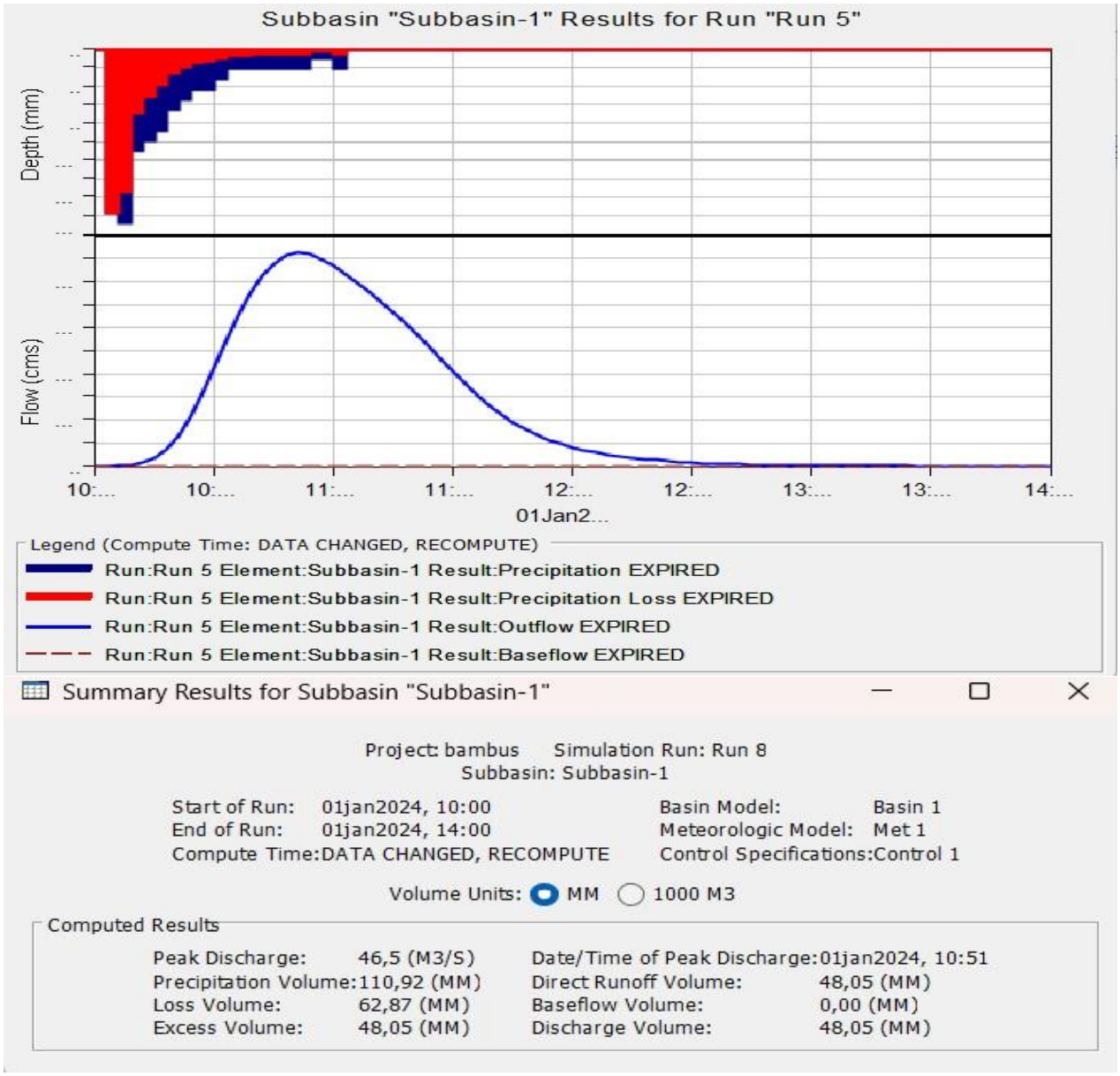
resultado demonstra que o aumento na implementação das práticas de LID tem um impacto significativamente crescente na redução da vazão de projeto, reforçando a importância de adotar estratégias integradas e eficientes para a gestão de recursos hídricos em áreas urbanas.

4.9.6 Hidrograma de projeto SCS considerando as medidas propostas para a microbacia do Córrego dos Bambus (100% de adesão)

Desta vez, 1832 árvores foram destinadas às calçadas, correspondendo a uma adesão de 100%. As práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) também apresentaram uma adesão de 100%, assim como as áreas permeáveis residenciais, que agora totalizam 73280 m², representando 100% das áreas permeáveis residenciais. Por fim, as áreas passíveis de alteração para reflorestamento continuaram totalizando 328662 m².

O novo CN médio calculado foi de 74,28. Abaixo, é apresentada a Figura 67 referente ao novo hidrograma de projeto (SCS).

Figura 67 – Hidrograma de projeto SCS



Fonte: Autoria própria.

Os dados hidrológicos do hidrograma de projeto referente a 50% de adesão mostraram uma vazão de pico de 47,1 m³/s, com um volume de precipitação de 110,92 mm, um volume de perdas de 62,35 mm, um volume excedente de 48,57 mm e um volume de escoamento direto de 48,57 mm. Após a adesão de 100% de lotes permeáveis na zona urbana, os dados hidrológicos indicaram uma redução na vazão de pico para 46,5 m³/s. O volume de precipitação permaneceu constante em 110,92 mm, como esperado, visto que o reflorestamento não altera a quantidade de chuva que cai na área. No entanto, o volume de perdas aumentou para 62,87 mm, indicando que uma maior quantidade de água foi absorvida pelo solo e pela vegetação.

O volume excedente diminuiu de 48,57 mm para 48,05 mm, mostrando que menos água contribuiu para o escoamento superficial após o reflorestamento.

A nova vazão, considerando a interceptação de água pelas copas das 1.832 árvores (cada uma interceptando 1 mm de precipitação com uma área de copa de 6 m²), é de aproximadamente 46,497 m³/s. Este cálculo indica que a interceptação de água tem um impacto relativamente pequeno na vazão total, reduzindo a vazão de pico de 47,3 m³/s para 46,497 m³/s. Embora o impacto imediato seja limitado, os ganhos potenciais podem ser maiores, necessitando de estudos complementares para uma avaliação mais precisa.

A vazão de interceptação estimada é de aproximadamente 3 l/s, representando cerca de 10% da vazão de base do Córrego dos Bambus (SMMA, 2022). Isso sugere que, em condições de fluxo base, a quantidade de água interceptada pelas árvores contribui significativamente para a redução do escoamento direto, ajudando a diminuir o escoamento superficial e potencialmente reduzindo a erosão e os riscos de inundações.

Além da interceptação de água, as árvores oferecem benefícios adicionais, como a melhoria da qualidade do ar, a redução das ilhas de calor urbanas, o aumento da biodiversidade e a melhoria estética do ambiente urbano. Esses benefícios indiretos são relevantes ao avaliar a eficácia da interceptação de 3 l/s.

Para o cálculo da LID, assumiu-se uma abordagem em que a redução na vazão de projeto é linear e diretamente proporcional ao percentual de águas pluviais infiltradas devido à adesão às práticas de LID. Então, focou-se na parte residencial, composta por 1832 lotes, com média de 200 m² cada um. O cálculo inicial correspondeu a 100% de adesão. A vazão de projeto atual era de 46,497 m³/s, abrangendo a área total da microbacia, que é de 3,4 km².

A área total dos lotes residenciais foi calculada multiplicando o número de lotes pela área média por lote, resultando em 366.400 m², o que equivale a 0,3664 km². Esta área residencial representou aproximadamente 10,78% da área total da microbacia (0,3664 km² / 3,4 km²). Assim, a vazão de projeto da parte residencial (Qres) foi determinada como 10,78% da vazão de projeto total, resultando em aproximadamente 5,016 m³/s (46,497 m³/s * 0,1078).

Para calcular a redução na vazão de projeto devido à infiltração, assumiu-se um percentual efetivo de infiltração de 60% (100% de adesão * 60% de infiltração). Multiplicando a vazão de projeto da parte residencial (5,016 m³/s) pelo percentual de

infiltração (60%), obteve-se uma vazão reduzida de aproximadamente 3,010 m³/s (5,016 m³/s * 0,60).

A nova vazão de projeto para a parte residencial (Qres_novo) foi obtida subtraindo a vazão reduzida da vazão de projeto original da parte residencial, resultando em aproximadamente 2,006 m³/s (5,016 m³/s - 3,010 m³/s). A vazão de projeto para as outras áreas da microbacia (Qoutros) foi a diferença entre a vazão de projeto total e a vazão de projeto da parte residencial, resultando em aproximadamente 41,481 m³/s (46,497 m³/s - 5,016 m³/s).

Somando a nova vazão de projeto da parte residencial (2,006 m³/s) e a vazão das outras áreas (41,481 m³/s), obteve-se a nova vazão de projeto total (Qn), que foi aproximadamente 43,487 m³/s, o que significa uma redução de cerca de 13%. Portanto, a nova vazão de projeto, considerando a adesão de 100% às práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) e a infiltração de 60% das águas pluviais incidentes dentro dos limites dos imóveis residenciais, foi de aproximadamente 43,487 m³/s. Este resultado demonstra que o aumento na implementação das práticas de LID tem um impacto significativamente crescente na redução da vazão de projeto, reforçando a importância de adotar estratégias integradas e eficientes para a gestão de recursos hídricos em áreas urbanas.

Estudos como o de Camargo *et al*. (2011) demonstram que a compensação da ocupação de Áreas de Preservação Permanente (APPs) associada à implementação de telhados verdes pode reduzir a lâmina total escoada em aproximadamente 7% e a vazão de pico em 11%, devido às intervenções não estruturais em áreas urbanas. Isso depende de que chuva está se tratando, pois a intensidade, duração e distribuição dos eventos pluviométricos influenciam diretamente essas porcentagens. No presente estudo, para a microbacia hidrográfica do Córrego dos Bambus, a adoção integral das medidas propostas resultou em uma redução da vazão de pico de cerca de 6,513 m³/s, o que corresponde a uma diminuição de aproximadamente 13%. Na microbacia hidrográfica dos Córregos Bambus/Custodinho, a revitalização de áreas de reserva legal e de preservação permanente, juntamente com zonas de proteção, resultou em uma redução de cerca de 15% na vazão de pico.

Abaixo, é apresentada a Tabela 14 referente ao resumo das informações encontradas nas simulações.

Tabela 14 – Tabela Comparativa dos Impactos das Medidas de Reflorestamento nas Vazões de Pico em Diferentes Níveis de Adesão

Parâmetro	**Adesão 25%**	**Adesão 50%**	**Adesão 100%**
Árvores destinadas às calçadas	458	916	1832
Áreas permeáveis residenciais (m²)	18.320	36.640	73.280
Áreas passíveis de alteração (m²)	328.662	328.662	328.662
CN médio calculado	74,65	74,55	74,28
Vazão de pico inicial (m³/s)	50,0	47,3	47,1
Vazão de pico após reflorestamento (m³/s)	47,3	47,1	46,5
Volume de precipitação (mm)	110,92	110,92	110,92
Volume de perdas inicial (mm)	59,51	62,08	62,35
Volume de perdas após reflorestamento (mm)	62,08	62,35	62,87
Volume excedente inicial (mm)	51,41	48,84	48,57
Volume excedente após reflorestamento (mm)	48,84	48,57	48,05
Vazão de interceptação por indivíduos arbóreos em calçadas (l/s)	0,763	1,527	3,054
Nova vazão de projeto total (m³/s) considerando árvores, LIDs e áreas permeáveis residenciais	46,534	45,575	43,487

Fonte: Autoria própria (2024).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação da fisiografia das microbacias dos Córregos Bambus/Custodinho e Bambus evidenciou diferenças substanciais. A mensuração dos parâmetros morfométricos demonstra que, de forma intrínseca, as microbacias em análise não apresentam uma propensão natural a eventos de inundação. Sugere-se que a ocorrência de enchentes nessas áreas está fortemente vinculada a fatores antropogênicos, como a gestão inadequada do uso e ocupação do solo, eventos climáticos extremos e a falta de um planejamento e projeto eficientes para a canalização do córrego. Essas variáveis antropogênicas parecem ter contribuído significativamente para a atual vulnerabilidade das microbacias a eventos hidrológicos extremos.

A análise urbanística revelou um aumento significativo na impermeabilização do solo nas últimas duas décadas. Em Três Pontas, a expansão urbana desordenada e a ausência de um plano diretor de drenagem urbana resultaram em maior escoamento superficial e vulnerabilidade a inundações. A densidade de árvores nas calçadas e a implementação de práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) são medidas necessárias para mitigar esses impactos urbanísticos.

As simulações hidrológicas indicam que a implementação de medidas estruturais e não estruturais, como reflorestamento e LIDs, pode reduzir de forma significativa a vazão de pico e promover a melhoria da infiltração no solo. A adoção de políticas públicas, como o IPTU Verde e a revitalização de Áreas de Preservação Permanente (APPs), demonstrou ser eficaz na mitigação de inundações, com uma redução da vazão de pico de até 13% no cenário de adesão integral às práticas propostas, considerando-se um tempo de retorno de 50 anos e precipitação com duração de 1 hora, para a microbacia hidrográfica do Córrego dos Bambus. Na microbacia dos Córregos Bambus/Custodinho, a revitalização de áreas de Reserva Legal (RL) e APPs, aliada à criação de zonas de proteção, resultou em uma diminuição aproximada de 15% na vazão de pico, também considerando um tempo de retorno de 50 anos e uma chuva com duração de 1 hora.

As simulações hidrológicas pré e pós-implementação mostraram que as medidas propostas reduziram a vazão de pico de 50,0 m^3/s para 43,487 m^3/s, no cenário de 100% de adesão às práticas de LID. Isso evidencia a eficácia das intervenções estruturais e não estruturais na gestão de águas pluviais e na prevenção

de enchentes, proporcionando uma gestão mais sustentável e resiliente das microbacias hidrográficas.

O presente trabalho propôs um conjunto de alternativas baseadas em soluções naturais para mitigar os riscos de inundações em microbacias urbanas, utilizando como estudo de caso a microbacia dos Córregos Bambus/Custodinho, no município de Três Pontas/MG. As práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID), associadas à revitalização de áreas de preservação permanente e zonas de proteção, mostraram-se eficazes na redução da vazão de pico e do escoamento superficial. Além disso, essas práticas proporcionam benefícios adicionais, como a melhoria da qualidade do ar, a redução das ilhas de calor urbanas, o aumento da biodiversidade e a melhoria estética do ambiente urbano.

A implementação dessas práticas é fundamental para a gestão sustentável dos recursos hídricos, contribuindo significativamente para a mitigação de inundações e o aprimoramento do manejo de águas pluviais em microbacias urbanas. Em contraponto às medidas paliativas, que geralmente abordam apenas os sintomas dos problemas hidrológicos e podem requerer investimentos repetidos ao longo do tempo, as soluções baseadas na natureza oferecem benefícios duradouros e multifacetados, inclusive na saúde humana. Elas não apenas resolvem as questões imediatas de manejo da água, mas também fortalecem a resiliência dos ecossistemas urbanos, promovendo um equilíbrio sustentável entre desenvolvimento urbano e conservação ambiental.

Adicionalmente, este estudo está alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente os ODS 6 (Água Limpa e Saneamento), ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima) e ODS 15 (Vida Terrestre). A implementação das práticas propostas não só mitiga os riscos de inundações, mas também contribui para a melhoria da qualidade da água, a criação de cidades mais sustentáveis e resilientes, a adaptação às mudanças climáticas e a conservação da biodiversidade.

É imperativo que o poder público reconheça a importância das áreas de preservação permanente, reservas legais e zonas de proteção, priorizando sua conservação e aquisição por meio de permuta ou compra. A integração dessas áreas no planejamento urbano é essencial para criar um sistema de gestão de águas pluviais que seja ao mesmo tempo eficiente e sustentável.

No caso específico de Três Pontas, a implementação integral das medidas estruturais e não estruturais, aliada à expansão das zonas de proteção, especialmente a montante do Parque Municipal Vale do Sol, na microbacia do Córrego dos Bambus, será essencial para mitigar os impactos decorrentes de eventos hidrológicos, particularmente as chuvas intensas características da região. A microbacia do Córrego dos Bambus já se encontra em um estado de saturação, não suportando mais áreas impermeabilizadas, uma vez que o córrego tem uma capacidade de vazão média de 25 m^3/s, enquanto a vazão de projeto é de 50 m^3/s. Mesmo com a adoção de soluções baseadas na natureza, a vazão de pico é reduzida para aproximadamente 43 m^3/s. Esse dado ressalta a necessidade de atenção ao planejamento do uso e ocupação do solo na microbacia, evidenciando a urgência de um planejamento urbano e ambiental meticuloso e a implementação de intervenções sustentáveis para evitar a degradação adicional dos recursos hídricos e garantir a resiliência ambiental da região.

Embora o trabalho não tenha a intenção de esgotar todos os assuntos tratados, ele abre espaço para futuras contribuições e ajustes que possam trazer melhorias ao contexto abordado, considerando os potenciais e limitações não identificados durante a elaboração deste documento.

Dessa forma, este estudo reforça a necessidade de uma abordagem integrada e contínua para a gestão de recursos hídricos, destacando a importância de estratégias que considerem tanto os aspectos naturais quanto as intervenções humanas para alcançar uma urbanização mais sustentável e resiliente. A continuidade das pesquisas nessa área é fundamental para identificar novas soluções e aprimorar as práticas existentes, garantindo a adaptação contínua às mudanças climáticas e ao desenvolvimento urbano. A colaboração entre academia, poder público e sociedade civil será essencial para o avanço e a implementação eficaz dessas práticas.

Além disso, é crucial avaliar de forma precisa o valor real de interceptação proporcionado por árvores localizadas em calçadas, visando maior assertividade nos cálculos hidrológicos e, consequentemente, otimizar as intervenções baseadas na natureza para maximizar os benefícios na gestão de águas pluviais. Adicionalmente, é necessário testar diferentes combinações de soluções sustentáveis, como telhados verdes e calçadas permeáveis, e investigar o papel das árvores na atenuação do tempo de concentração e na redução do escoamento superficial. Essas análises permitirão o dimensionamento mais eficaz das intervenções e uma gestão hídrica mais eficiente em áreas urbanas.

REFERÊNCIAS

ABDESSAMAD, D., ABDERRAZAK, B. Coupling HEC-RAS and HEC-HMS in rainfall–runoff modeling and evaluating floodplain inundation maps in arid environments: case study of Ain Sefra city. Ksour Mountain. **Algerian Journal of Environmental Science and Technology**, Ben Aknoun, v. 78, n. 586, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/s12665-019-8604-6.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16416.** Pavimentos permeáveis: requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ABUSHANDI, E.; MERKEL, B. Modelling Rainfall Runoff Relations Using HEC-HMS and IHACRES for a Single Rain Event in an Arid Region of Jordan. **Water Resources Management**, Dordrecht, v. 27, p. 2391-2409, 2013.

ACCORSI, O. J.; LIMA, E. F. P.; ALCOFORADO, L. F.; LONGO, O. C. Estudo do comportamento da cota mínima do rio Acre nos últimos 43 anos e as consequências para o assoreamento futuro do rio. **Geociências**, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 315 - 324, 2017.

AGUIRRE JUNIOR, J. H.; LIMA, A. M. L. P. Uso de árvores e arbustos em cidades brasileiras. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, [*s. l.*], v. 2, n. 4, p. 50-66, 2007.

AHERN, J.; CILLIERS, S.; NIEMELÄ, J. The concept of ecosystem services in adaptive urban planning and design: a framework for supporting innovation. **Landscape And Urban Planning**, Amsterdam, v. 125, p. 254-259, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.020.

ALI, S.; CHEEMA, M.; WAQAS, M.; WASEEM, M.; LETA, M.; QAMAR, M.; AWAN, U.; BILAL, M.; RAHMAN, M. Flood Mitigation in the Transboundary Chenab River Basin: a basin-wise approach from flood forecasting to management. **Remote Sensing**, Basel, v. 13, n. 19, p. 3916. MDPI AG, 30 set. 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/rs13193916.

ALMEIDA, N. V. *et al*. Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do riacho desterro no Cariri e Alto Sertão paraibano**.** *In:* SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 8.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA, 3.; ENCONTRO IBERO-AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA, 1.; ENCONTRO IBERO-AMERICANO DO QUATERNÁRIO, 1., 2010, Recife. **Anais** [...]. Recife: UFPE, p. 1-12.

ALVES, P. L.; FORMIGA, K. T. Efeitos da arborização urbana na redução do escoamento pluvial superficial e no atraso do pico de vazão. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 193–207, 2019. DOI: https://doi.org/10.5902/1980509825820.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2022: informe anual. Brasília, DF: ANA, 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Séries Históricas de Estações**. Brasília, DF: ANA, 2024. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas. Acesso em: 20 fev. 2024.

ANDERSON, M.G. **Hydrology and sedimentology of surface mined lands.** Oxford: Clarendon Press, 1976.

THE ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP *et al*. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society,** Oxford, v. 181, p. 1-20, 2016.

ARCOVA, F. C. S.; CICCO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em uma microbacia experimental em Cunha, São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 257-262, ago. 2003.

ARRUDA FILHO, M. T. de; JACOBI, P. R. A urgência de um urbanismo climático no Brasil. **GV-executivo**, São Paulo, v. 23, n. 3, p. e91906, 2024.

AVELLANEDA, P. M.; JEFFERSON, A. J.; GRIESER, J. M.; BUSH, S. A. Simulation of the cumulative hydrological response to green infrastructure. **Water Resources Research**, Washington, v. 53, n. 4, p. 3087-3101, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.1002/2016wr019836.

AZAM, M.; KIM, H. S.; MAENG, S. J. Development of flood alert application in Mushim stream watershed Korea. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, Amsterdam, v. 21, p. 11-26, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdrr.2016.11.008.

AZIZI, S.; ILDEROMI, A. R.; NOORI, H. Investigating the effects of land use change on flood hydrograph using HEC-HMS hydrologic model (case study: Ekbatan Dam). **Natural Hazards** Cham, v. 109, p. 145–160, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s11069-021-04830-6.

BAI, Y.; ZHAO, N.; ZHANG, R.; ZENG, X. Storm Water Management of Low Impact Development in Urban Areas Based on SWMM. **Water**, Basel, v. 11, n. 1, p. 33, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/w11010033.

BALBINOT, R. *et al*. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 131-149, abr. 2008.

BARBOSA, H. A.; BURITI, C. O. Como dominar o QGIS: **o guia definitivo para mapeamento.** Maceió: Letras Ambientais, 2022.

BATENI, N. *et al*. Hydrological performances on the modified permeable pavement with precast hollow cylinder micro detention pond structure. **KSCE Journal of Civil Engineering**, Heidelberg, v. 23, p. 3951–3960, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/s12205-019-2271-8.

BERLAND, A.; HOPTON, M. E. Comparing Street tree assemblages and associated stormwater benefits among communities in metropolitan Cincinnati, Ohio, USA. **Urban Forestry & Urban Greening**, Muenchen, v. 13, n. 4, p. 734-741, 2014.

BERLAND, A. *et al*. The role of trees in urban stormwater management. **Landscape and Urban Planning**, v. 162, p. 167-177, 2017.

BERTOLDO, M. A. **Caracterização edafoambiental da cafeicultura na região de Três Pontas, Minas Gerais**. 2008. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

BERTONE, L. F.; MELLO, N. A. Palmas. Perfil ambiental e gestão urbana convergem para a sustentabilidade ambiental? **Mercator**, Fortaleza, v. 3, n. 6, p. 71-88, 2008.

BHADORIYA, U. P. S.; MISHRA, A.; SINGH, R.; CHATTERJEE, C. Implications of climate change on water storage and filling time of a multipurpose reservoir in India. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 590, p. 125542, 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125542.

BICOSKI, F. S.; SOUZA, P. K.; POLETO, C. Desassoreamento e dragagem de recursos hídricos urbanos: **requisitos para operação, no âmbito municipal, no estado do Rio Grande do Sul.** *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1033, 2021, Curitiba. Curitiba: Abes, 2021. p. 1-10.

BORSATO, F. H.; MARTONI, A. M. Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, Maringá, v. 26, p. 273-285, jun. 2004.

BOULOMYTIS, V. T. G. (org.). **Gestão sustentável de bacias hidrográficas: gestão sustentável de bacias hidrográficas**: cenários do Brasil e da Austrália. São Paulo: EDIFSP, 2021. 178 p.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Mudanças climáticas e recursos hídricos**. Brasília, DF: ANA, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/panorama-das-aguas/mudancas-climaticas recursos-hidricos. Acesso em: 10 maio 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos (SNIRH).** Brasília, DF: ANA, 2023. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/. Acesso em: 10 jul 2023.

BRASIL. **Capítulo VI – Do meio ambiente, Art. 225.** Constituição Federal. Brasília: 1988. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm>. Acesso em: 20 set. 2022.

BRASIL. Embrapa Solos. **Argissolos Vermelho-Amarelos**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. Acesso em: 09 out. 2023.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. **Sistema de processamento de informações georreferenciadas**. Brasília, DF: INPE, 2022. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html. Acesso em: 17 out. 2022.

BRASIL. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS**. Brasília, DF: IPEA, 2022. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/ods/index.html. Acesso em: 01 dez. 2022.

BRASIL. **Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Constituição, Brasília, DF, 31 ago. 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 02 jul. 2023.

BRASIL. **Lei nº 9.785, de 29 de Janeiro de 1999.** Altera o Decreto-Lei no 3.365, de 21 de junho de 1941. Desapropriação por utilidade pública e as Leis nos 6.015, de 31 de dezembro de 1973 - registros públicos e 6.766, de 19 de dezembro de 1979 - parcelamento do solo urbano. Brasília, DF: 29 jan., 1999.

BRASIL. **Lei nº 10257, de 10 de julho de 2001.** Regulamenta os Arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Constituição. Brasília, DF: 10 jul., 2001.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União: Seção 1, Brasília, DF, 28 maio de 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 26 fev. 2024.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). **Dados e Impactos.** Brasília, DF, 2022. Disponível em: https://sistema.adaptabrasil.mcti.gov.br/. Acesso em: 19 ago. 2022.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Cidades Sustentáveis e Água Para Todos são eixos prioritários do Ministério das Cidades no Novo PAC**. Governo do Brasil, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/casacivil/pt br/assuntos/noticias/2023/agosto/cidades-sustentaveis-e-agua-para-todos-sao-eixos-prioritarios-do-ministerio-das-cidades-no-novo-pac. Acesso em: 17. jan. 2024.

BRASIL. Nações Unidas Brasil. **Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2022. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/>. Acesso em: 01 dez. 2022.

BRATTEBO, B. O.; BOOTH, D. B. Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems. **Water Research**, [*s. l.*], v. 37, n. 18, p. 4369-4376. Elsevier BV: nov. 2003. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/s0043-1354(03)00410-x.

BRAZ, A. M. *et al.* Gestão integrada de bacias hidrográficas: possibilidades e avanços em análises de uso e cobertura da terra. **Cadernos de Geografia: Diário Geografia Colombiana**, Bogotá, v. 29, n. 1, 2020.

BRECKENFEL, K. A. A. *et al*. Avaliação dos novos modelos digitais de elevação globais nasadem, copdem e fabdem comparativamente a dados lidar. *In:* SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE - SRHNE, 16..; SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA - SILUSBA, 15.; **Anais** [...]. Caruaru: Abrhidro, 2022. p. 1-10.

BUENO, K. M.; TAVEIRA, B. A.; FOGAÇA, T. K. **Planejamento e gestão ambiental**. Curitiba: Intersaberes, 2020. 310 p., Disponível em: https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/177850/pdf/1?code=sMTNoTz4keTYvDCywWSAEJoV0J9Eqvi5Lx5zmrAdr3HJuTp+JTSehmtWmvtiUuoe/BBZCxj4YmOybl+LhReDLw==. Acesso em: 17 out. 2022.

BUTLER, D.; DAVIES, J. W. **Urban drainage**. 3rd ed. Oxon: Spon Press, 2010. 632 p.

CABRAL, S. L. *et al*. Integração do SIG, HEC/HMS e HEC/RAS no mapeamento de área de inundação urbana: aplicação à bacia do Rio Granjeiro-CE. **Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 90-101, 2015.

CADORIN, D. A.; MELLO, N. A. Efeitos da impermeabilização dos solos sobre a arborização no município de Pato Branco – PR. **Synergismus Scientifica**, Pato Branco, v. 6, n. 1, 2011.

CAMARGO, R. A.; COMINI, U. B.; CALIJURI, M. L.; ASSIS, L. C.Simulação hidrológica de eventos extremos utilizando o hec-hms: a relação uso e cobertura do solo com a ocorrência de cheias. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais** [...]. Maceió: SBRH, p. 1-20., 2011.

CAMPBELL, J. L.; *et al*. Watershed studies at the Hubbard Brook Experimental Forest: building on a long legacy of research with new approaches and sources of data. **Hydrological Processes**, Oxford, v. 35, n. 1, p. 1-5. Wiley: jan. 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.1002/hyp.14016.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384 p.

CARNEIRO, P. R. F.; CARDOSO, A. L.; AZEVEDO, J. P. S. O planejamento do uso do solo urbano e a gestão de bacias hidrográficas: o caso da bacia dos rios Iguaçu/Sarapuí na Baixada Fluminense. **Cadernos Metrópole**, São Paulo, v. 19, p. 165-190, 2008.

CARVALHO, A. T. F.; SILVA, O. G.; CABRAL, J. J. P. Efeitos do revestimento de canal e impermeabilização do solo à dinâmica de inundação do rio Arrombados - PE. **Geociências**, São Paulo, v. 36, n. 1, p. 76 - 88, 2017.

CASTRO, A. L. C. Manual de desastres: **desastres naturais.** Brasília: Ministério da Integração Nacional, 174 p., 2003.

CEA, L.; COSTABILE, P. Flood Risk in Urban Areas: modeling, management and adaptation to climate change - a review. **Hydrology**, Amsterdam, v. 9, n. 3, p. 50, 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/hydrology9030050.

CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F. Interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas com uso do inverso de potências da distância. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 501-504, 2003.

CENTER FOR WATERSHED PROTECTION. Impacts of Impervious Cover on Aquatic Systems. **Watershed Protection - Research Monograph**, [*s. l.*], n. 1, 2003. Disponível em: www.cwp.org e www.stormwatercenter.net. Acesso em: 6 jul. 2013.

CETEC. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Diagnóstico ambiental do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: [*s. n*.], 1983. v. 1. 160 p.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied hydrology.** [*S. l*.]: McGraw-Hill, 1988. 572 p.

CHOW, V. T. A general formula for hydrologic frequency analysis. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, [*s. l*.], v. 32, n.2, p. 231-237, 1951.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**: o canal fluvial. São Paulo: Blücher, 1981. 313 p.

CIRELLA, G.; IYALOMHE, F. Flooding Conceptual Review: sustainability-focalized best practices in Nigeria. **Applied Sciences**, Bucharest, v. 8, n. 9, p. 1558. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/app8091558.

CLIMATE-DATA (org.). **Dados climáticos para cidades mundiais.** 2023.

CNN BRASIL. Conferência sobre a Água 2023: **avanços e desafios para a segurança hídrica e resiliência climática.** [*S. l.: s. n*.], 2023. Disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/forum-opiniao/na-conferencia-sobre-a-agua-2023-avancos-e-desafios-para-a-seguranca-hidrica-e-resiliencia-climatica/. Acesso em: 17 jan. 2024.

COBRADE. **Classificação e Codificação Brasileira de Desastres.** [*S. l.: s. n*.], 2019. Disponível em: https://www.defesacivil.sc.gov.br/download/cobrade/. Acesso em: 28 jul. 2022.

CORREIO TRESPONTANO. **Noticiário.** Três Pontas: [*s. n*.], 2023.

CORTE, A.D. *et al*. **Explorando o QGIS 3.X**. Curitiba: Dos Autores, 2020. 395 p.

CONSTANTINO, N. R. T. Rios Urbanos no Oeste Paulista. *In*: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE O TRATAMENTO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM MEIO URBANO E RESTRIÇÕES AMBIENTAIS AO PARCELAMENTO DO SOLO, 2014, [*s. l*.]. **Anais** [...] [*S. l.: s. n*.], 2014. p. 1-17.

COSTA, T. F. **Aplicação do modelo SWMM para análise de inundações na área urbana de Itajubá - MG**. 123 f. 2022. Tese (Doutorado em Engenharia Hídrica), Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2022.

CUBAS, M. G.; TAVEIRA, B. D. A. **Geoprocessamento fundamentos e técnicas**. Curitiba: Intersaberes, 2020. 201 p.

DALAGNOL, R. *et al*. Extreme rainfall and its impacts in the Brazilian Minas Gerais state in January 2020: Can we blame climate change? **Climate Resilience and Sustainability**, Oxford, v. 1, n. 1, 2022.

DA PAZ, Adriano Rolim. **Hidrologia Aplicada.** Caxias do Sul: [*s. n*.], 2004. 138 p.

DU, J. *et al*. Different Flooding Behaviors Due to Varied Urbanization Levels within River Basin: a case study from the xiang river basin, china. **International Journal of Disaster Risk Science**, Heidelberg, v. 10, p. 89–102, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/s13753-018-0195-4.

DURY, H. G. **TidalStreamActionand Valley Meanders**. [*S. l*.]: Geographical Research, 1969.

EBRAHIMIAN. M. *et al.* Application of NRCS-curve number method for runoff estimation in a mountainous watershed. Journal of Environmental Sciences, v.10, p. 103-114, 2012.

EGGERMONT, H. *et al*. Nature-based solutions: new influence for environmental management and research in Europe. **GAIA**, [*s. l*.], v. 24, n. 4, p. 243-248, 2015.

EMBRAPA. **Manual de classificação dos solos**. Brasília, DF: CNPS, 1999.

EMBRAPA SOLOS. **Curso de recuperação de áreas degradadas**: a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação. Rio de Janeiro: Centro de Treinamento da Petrobras, 2008.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. **What is a GIS?** [*S. l.: s. n*.], 2022. Disponível em: https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview. Acesso em: 06 out. 2022.

EUA. DEPARTAMENTO DE DEFESA DOS ESTADOS UNIDOS. **JBSA News**. [*S. l*.], 2022. Disponível em: https://www.jbsa.mil/News/News/Article/1551134/geobase-system-provides utility-maps-for-dod-personnel/. Acesso em: 08 out. 2022.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas.** Turrialba: Catie, 1996. 90 p.

FARIA, K. M. S.; TRINDADE, S. P. (org.). **planejamento e desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas**. Goiânia: C&A Alfa Comunicação, 1195 p., 2021.

FARIAS, A.; MACHADO, N. **Structural and Non-structural Measures for Urban Drainage**: a look at socio-environmental risks of urban flooding in Francisco Beltrão, southern Brazil. [*S. l.*]: Springer International Publishing: 2023. p. 369-396. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-20898-0_18.

FARAHMAND, A.; AGHAKOUCHAK, A. A satellite-based global landslide model. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, Katlenburg-Lindau, v. 13, p. 1259–1267, 2013.

FARGIONE, J. et al. Challenges to the Reforestation Pipeline in the United States. **Frontiers in Forests and Global Change**, Lausanne, v. 4, p. 1-18, 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.3389/ffgc.2021.629198.

FAZIO, J. R. **How trees can retain stormwater runoff.** Nebraska City: Tree City USA Bulletin, 2012.

FRANÇA, G. V. **Interpretação fotográfica de bacias e redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. 1968. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.

GALLET, D. The Value of green infrastructure: a guide to recognizing its economic, environmental and social benefits. **Proceedings of the Water Environment Federation**, Alexandria, v. 20, n. 17, p. 924-928, jan. 2011.

GAO, Y. Q.; YUAN, Y.; WANG, H. Z.; SCHMIDT, A. R.; WANG, K. X.; YE, L. Examining the effects of urban agglomeration polders on flood events in Qinhuai River basin, China with HEC-HMS model. **Water Science and Technology**, London, v. 75, n. 9, p. 2130–2138, 2017. DOI: https://doi.org/10.2166/wst.2017.023.

GICHAMO, Z. G.; POPESCU, I.; JONOSKI, A.; SOLOMATINE, D. P. River cross section extraction from ASTER Global DEM for flood modeling. **Environmental Modelling & Software**, Amsterdam, v. 31, p. 37–46, 2012.

GOMES JÚNIOR, M. N. **Aspectos hidrológicos-hidráulicos e avaliação da eficiência de biorretenção: modelos, princípios e critérios de projeto de técnicas compensatórias de 3ª geração**. 151 f. 2021. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

GRACIOSA, M. C. P.; MENDIONDO, E. M. **Gestão do risco de inundações no contexto de bacias urbanas brasileiras**. São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007. Acesso em: 03 dez. 2022.

GREY, G. W.; DENEVE, F. J. **Urban forestry**. New York: John Wiley, 1978. 279 p.

GUMINDOGA, W. *et al*. **Hydrological impacts of urbanization of two catchments in Harare, Zimbabwe.** Remote Sensing, Basel, v. 6, n. 12, p. 12544-12574, dec. 2014.

GZH AMBIENTE. Tragédia no Rio Grande do Sul foi intensificada por mudanças climáticas, confirma estudo: em análise de dados meteorológicos dos últimos 40 anos, cientistas do Climameter estimam que a ação humana tenha tornado a chuva 15% mais potente do que seria. [*S. l.*], 2024. Disponível em: https://gauchazh.clicrbs.com.br/ambiente/noticia/2024/05/tragedia-no-rio-grande-do-sul-foi-intensificada-por-mudancas-climaticas-confirma-estudo-clw10tnux00pl0152sbqcgnxa.html. Acesso em: 27 maio 2024.

HAGHIZADEH, A.; SHUI, L. T.; MIRZAEI, M.; MEMARIAN, H. Incorporation of GIS based program into hydraulic model for water level modeling on river basin. **Journal of Water Resource and Protection**, Irvine, v. 4, p. 25-31, 2012.

HAMERS, E. M.; MAIER, H. R.; ZECCHIN, A. C.; VAN DELDEN, H. Effectiveness of nature-based solutions for mitigating the impact of pluvial flooding in urban areas at the regional scale. **Water**, Basel, v. 15, n. 4, p. 642, 2023. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/w15040642.

HONDA, S. C. A. L.; VIEIRA, M. C.; ALBANO, M. P.; MARIA, Y. R. Planejamento ambiental e ocupação do solo urbano em Presidente Prudente (SP). **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 62-73, abr. 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/2175-3369.007.001.ao04.

HORTON, R. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, New York, v. 56, p. 807-813, 1945.

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

HUFF, F. A. Time distribution characteristics of rainfall rates. **Water Resources Research**, Washington, v. 6, n. 2, p. 447-454, abr. 1970. DOI: http://dx.doi.org/10.1029/wr006i002p00447.

HUFF, F. A. **Time distribution of heavy rainstorms in Illinois.** Illinois State Water Survey: Circular 173, 1990.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa de clima do Brasil.** Escala 1:5000 000. Rio de Janeiro: 2002. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/atlas/tematicos.html. Acesso em: abr. 2023.

JORNAL DA USP. P. L. C. **Chuvas intensas em São Paulo são sintomas do agravamento das mudanças climáticas**. São Paulo: USP, 2023. Disponível em: https://jornal.usp.br/radio-usp/chuvas-intensas-em-sao-paulo-sao-sintomas-do-agravamento-das-mudancas-climaticas/. Acesso em: 09 maio 2023.

JUNK, W. J., BAYLEY, P.B. AND SPARKS, R.E. **The flood-pulse concept in river-floodplain systems.** *In:* DODGE, D.P., ED. Proceedings of the International Large River Symposium (LARS). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences Special Publication 106, NRC research press, Ottawa, 110-127, 1989.

KELEŞ, S. An assessment of hydrological functions of forest ecosystems to support sustainable forest management. **Journal of Sustainable Forestry**, New York, v. 38, n. 4, p. 305-326. Informa UK Limited: 15 nov. 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.1080/10549811.2018.1547879.

KNIGHTON, D. **Fluvial forms and processes**: a new perspective. 2 ed. Routledge: Hodder Arnold Publication, 1998. 400 p.

KOBIYAMA, M. Aplicação de hidrologia para redução de desastres naturais, no contexto de gestão de riscos e desastres. *In*: SEMINÁRIO DE GESTÃO DE RISCOS AMBIENTAIS, 2014., Jaraguá do Sul-SC. **Anais** [...] [*S. l.: s. n*.], 2014. Disponível em: https://static.fecam.net.br/uploads/1512/arquivos/323974_Hidrologia_Masato_dia_2.pdf. Acesso em: 15 jul. 2022.

KONTEH, F. H. Urban sanitation and health in the developing world: reminiscing the nineteenth century industrial nations. **Health & Place**, Oxford, v. 15, n. 1, p. 69-78, mar. 2009. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.healthplace.2008.02.003.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde.** Gotha: Verlag Condicionadas. Justus Perthes, 1928.

LABORSOLO. **Análise química de solo, Análise física do solo**. [*S. l*.], 2014. Disponível em: https://laborsolo.com.br/analise-quimica-de-solo/conhecendo-os-solos-brasileiros-latossolos. Acesso em: 23 jan. 2024.

LAMICHHANE, N.; SHARMA, S. Development of flood warning system and flood inundation mapping using field survey and LiDAR data for the Grand River near the City of Painesville, Ohio. **Hydrology**, Basel, v. 4, n. 2, p. 24, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/hydrology4020024.

LEOPOLD, L.B. **Hydrology for urban planning**: a guidebook on the hydrologic effects on urban land use. USGS circ. 554,18p.,1968.

LEOPOLD, L.B. **Hydrology for urban land planning**: a guidebook on the hydrologic effects of urban land use. Washington, DC: United States Geological Survey, 1968. (Circular 554).

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Hidrologia florestal. *In.:* RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (org.). **Matas ciliares**: conservação e recuperação. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2000. p. 33-44.

LINSLEY, R.K. JR. *et al*. **Hydrology for Engineers.** 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1975. (McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering).

LOCAL GOVERNMENT ASSOCIATION. **Managing flood risk:** roles and responsibilities, there is no single body responsible for managing flood risk in the uk because of the role of the devolved administrations in Scotland, Northern Ireland and Wales. Responsibility is joint among a number of bodies, 2024. Disponível em: https://www.local.gov.uk/topics/severe-weather/flooding/local-flood-risk-management/managing-flood-risk-roles-and. Acesso em: 19 jul. 2024.

MAIDMENT, D. R. **Arc hydro**: GIS for water resources. Redlands: ESRI, 2002.

MANZIONE, R. L. Águas Subterrâneas: conceitos e aplicações sob uma visão multidisciplinar. Jundiaí: Paco Editorial, 2015. 388 p.

MARECO, E. A.; TERENZI, R. **Recursos hídricos, nos centros urbanizados das grandes cidades brasileiras**: as enchentes provocadas pela urbanização desordenada. Sustentabilidade, Tecnologia e Meio Ambiente: tópicos atuais em pesquisa. [*S. l*.], Editora Científica Digital, 2024. p. 143-152. DOI: http://dx.doi.org/10.37885/240115522.

MARIMIN, N. A. *et al*. HEC-RAS hydraulic model for floodplain area in Sembrong River. **International Journal of Integrated Engineering**, Johor, v. 10, n. 2, p. 151-157, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.30880/ijie.2018.10.02.029.

MARINHO, G. S.; SILVA, T. H.; FERMINO, L. H. C. A pseudo-participação popular na revisão do Plano Diretor de Três Pontas (MG) de novembro de 2020 até julho de 2023. *In:* IV CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA POLÍTICA, GEOPOLÍTICA E GESTÃO DO TERRITÓRIO, 4., São Paulo, 2023. **Anais** [...]. São Paulo: CONGEO, 2023. p. 1-13.

MARTIN, O.; RUGUMAYO, A.; OVCHAROVICHOVA, J. Application of HEC HMS/RAS and GIS tools in flood modeling: a case study for river Sironko – Uganda. **Journal of Engineering, Design and Technology**, Bingley, v.1, n. 2, p. 19-31, 2012.

MARTINS, R. M. **Análise da capacidade de infiltração do pavimento intertravado de concreto**. Pato Branc: [*s. n*.], 2014.

MCCUEN, R. H.; WONG, S. L.; RAWLS, W. J. Estimating urban time of concentration. **Journal of Hydraulic Engineering**, Wilmington, v. 110, n. 7, p. 887-904, 1984.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; BESKOW, S. **Hidrologia de superfície**: princípios e aplicações. Lavras: UFLA, 2021.

MENDES, L. S. *et al*. Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica experimental do córrego fundo. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 8., Campo Grande. **Anais** [...] Campo Grande: ConGeA, 2017. p. 1-5.

MENDES, L. S. *et al*. Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica experimental do Córrego Água Vermelha. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2017, [*s. l*.]. **Anais** [...]. Santa Catarina: ABRH, 2017. p. 1-8.22.

MENDES, P. R. A. **Hidrologia e hidráulica aplicadas - Escoamento em condutos livres**. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4137264/mod_resource/content/0/Aula%206%20-%20Escoamento%20em%20condutos%20livres.pdf. Acesso em: 20 fev. 2024.

MENDONÇA, F. C. **Sistema de drenagem e precipitações**. São Paulo: Esalq/USP, 2020. 9 slides.

MINAS GERAIS. **Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013.** Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado de Minas Gerais. Diário do Executivo. Minas Gerais: 17 out. 2013. Disponível em: http://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=LEI&num=20922&comp=&ano=2013. Acesso em: 26 fev. 2024.

MIRANDA, Amélio Garcia de. **A História de Três Pontas**. Belo Horizonte/Mg: JC, 215 p., 1980.

MISHRA, S. K.; JAIN, M. K.; SINGH, V. P. Evaluation of the SCS-CN-based model incorporating antecedent moisture. **Water Resources Management**, Dordrecht, v. 18, p. 567-589, 2004.

MOCKUS, V. **National Engineering Handbook**. [*S. l.: s. n*.], 1964.

MONTGOMERY, D. R. Dirt: **The erosion of civilizations.** Berkeley: University of California Press, 2007.

MONTGOMERY, D. R. Dirt: **The erosion of civilizations:** with a new preface. 2. ed. Berkeley: University of California Press, 2012.

MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B.; LADSON, A. R. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 5, p. 3-30, 1991.

MOTTA, Luciano D'angelo. **Procedimentos de projeto viário em pavimentos permeáveis com base na abnt nbr 16.416/2015**: comparação entre blocos permeáveis e convencionais. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável. Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019.

NASCIMENTO, F. A. *et al*. O método do soil conservation service revisitado: verificação de validade de premissas e aplicabilidade em projetos de mineração. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., Maceió. **Anais** [...] p. 2011. p. 1-20.

NDEKETEYA, A.; DUNDU, M. Application of HEC-HMS model for evaluation of rainwater harvesting potential in a semi-arid city. **Water Resources Management**, Dordrecht, v. 35, p. 4217-4232, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s11269-021-02941-0.

NETO, G. K.; OLIVEIRA, A. H.; PEREIRA, S. Y. Variabilidade Espacial de Atributos Físicos do Solo em uma Sub-Bacia às Margens do Rio Mogi Guaçu (SP). **Geociências**, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 381-394, 2017.

O'DRISCOLL, M. *et al.* Urbanization effects on watershed hydrology and in-stream processes in the Southern United States. **Water**, Basel, v. 2, n. 3, p. 605-648, 2010. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/w2030605.

OKI, T.; KANAE, S. Global hydrological cycles and world water resources. **Science**, [*s. l.*], v. 313, n. 5790, p. 1068-1072, 2006.

OLIVEIRA, A. G. de *et al.* Soluções baseadas na natureza (SbN) para cidades mais resilientes e menos desiguais: um estudo exploratório sobre o potencial das SbN em áreas urbanas vulnerabilizadas. **RDE - Revista de Desenvolvimento Econômico**, Salvador, v. 2, n. Dossiê Especial, p. 8-28, 2023.

OLIVEIRA, A. S.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R. **Dinâmica da água em área de recarga de nascentes em dois ambientes na região Alto Rio Grande, Minas Gerais.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 25, n. 1, p. 59 - 67, 2020.

OLIVEIRA, G. G.; SALDANHA, D. L.; GUASSELLI, L. A. **Espacialização e análise das inundações na bacia hidrográfica do rio Caí/RS.** Geociências, v.29, p.413-427, 2010.

ONO, B. W.; BALBO, J. T.; CARGNIN, A. Análise da capacidade de infiltração em pavimento permeável de bloco de concreto unidirecionalmente articulado. **Transportes**, [*s. l.*], v. 25, n. 3, p. 90, 29 out. 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.14295/transportes.v25i3.1314.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Chuvas ligadas ao El Niño e à mudança climática arrasam o Sul do Brasil**. 2024. Disponível em: https://news.un.org/pt/story/2024/05/1831311. Acesso em: 20 maio 2024.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Especialistas da ONU reforçam auxílio a milhares de vítimas de cheias no Peru**. 2023. Disponível em: https://news.un.org/pt/story/2023/04/1813017. Acesso em: 05 maio 2023.
ONU. Organização das Nações Unidas. **Inundações e deslizamentos matam mais de 400 na República Democrática do Congo**. 2023. Disponível em: https://news.un.org/pt/story/2023/05/1814057. Acesso em: 05 maio 2023.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Paquistão enfrenta risco de mais chuvas após 1,4 mil mortes em inundações**. 2022. Disponível em: https://news.un.org/pt/story/2022/09/1800971. Acesso em: 05 maio 2023.

PAIVA, C. C. A contemplação do mundo: Google Earth, a Comunicação e a Terra digitalizada. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO, 33., Rio de Janeiro, 2010. **Anais** [...] Rio de Janeiro: [*s. n*.], 2010. p. 1-15. Disponível em: http://www.bocc.uff.br/pag/bocc-contempl-paiva.pdf. Acesso em: 20 jan. 2024.

PARANHOS FILHO, Antonio Conceição *et al*. **Geotecnologias para Aplicações Ambientais**. Maringá, Pr: Uniedusul, 394 p., 2021.

PEDROSA-SOARES, A. C.; DARDENE, M. A.; HASUI, Y.; CASTRO, F. D. C. de; CARVALHO, M. V. A. de. **Nota explicativa dos mapas geológicos, metalogenético, e de ocorrências minerais do Estado de Minas Gerais - Escala 1:1.000.000.** Belo Horizonte: COMIG, 97 p., 1994.

PENA, Adalton de Souza; RODRIGUES, William Fortes. **Evolução urbana da cidade nova serrana-mg: uma análise têmporo-espacial entre os anos de 2009-2019.** Revista Geográfica Acadêmica, [*s. l*], v. 14, n. 2, p. 21-39, dez. 2020.

PERES, Renata Bovo. **O Planejamento Regional e Urbano e a Questão Ambiental: Análise da relação entre o Plano de Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré e os Planos Diretores Municipais de Araraquara e São Carlos, SP**. 409 f. [Tese Doutorado] Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Centro de Ciências Exatas e da Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

PINTO, L. S. N.; HOLTZ, A.C.T., MARTINS, J.A. **Hidrologia de Superfície**. 2° Edição. Editora Edgard Blücher. São Paulo. 179p., 1973.

PINTO, L. L. **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano**. [Tese Doutorado] Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

PIROLI, Edson Luís. Água e bacias hidrográficas: **planejamento, gestão e manejo para enfrentamento das crises hídricas.** São Paulo: Unesp Digital, 142 p., 2022. Disponível em: https://editoraunesp.com.br/catalogo/9786557142981,agua-e-bacias-hidrograficas. Acesso em: 27 out. 2022.

PITT, A.; BURTON, R. Stormwater effects handbook: a **toolbox for watershed managers, scientists, and engineers.** CRC Press, New York, 2001.

PLATÃO. Diálogos III - Socráticos: **Fedro (ou do belo); Eutífron (ou da religiosidade); Apologia de Sócrates; Críton (ou do dever); Fédon (ou da alma).** Tradução e notas de Edson Bini. 2. ed. São Paulo: Edipro Edições, 2019.

PNUD, CNM. **Guia para Integração dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável nos Municípios Brasileiros.** Disponível em: https://www.cnm.org.br/index.php/biblioteca/exibe/2855 Acesso em: 10 de maio de 2023.

POFF, N. L. *et al.* The natural flow regime. **BioScience**, Washington, v. 47, n. 11, p. 769-784, 1997.

PORTO, M.F.A; PORTO, R.L.L. **Gestão de bacias hidrográficas.** Estudos Avançados, [*s. l*], p. 43-60, jun. 2008.

PRICE, Katie. **Effects of watershed topography, soils, land use, and climate on baseflow hydrology in humid regions: a review.** Progress In Physical Geography: Earth and Environment, [S.L.], v. 35, n. 4, p. 465-492. SAGE Publications: 10 maio 2011. DOI: http://dx.doi.org/10.1177/0309133311402714.

PRICE, Katie; JACKSON, C. Rhett; PARKER, Albert J.; REITAN, Trond; DOWD, John; CYTERSKI, Mike. **Effects of watershed land use and geomorphology on stream low flows during severe drought conditions in the southern Blue Ridge Mountains, Georgia and North Carolina, United States.** Water Resources Research, [S.L.], v. 47, n. 2, p. 1-19. American Geophysical Union (AGU): fev. 2011. DOI: http://dx.doi.org/10.1029/2010wr009340.

QGIS. Equipe de Desenvolvimento. **Sistema de Informação Geográfica QGIS.** Fundação Geoespacial de Código Aberto, 2022. Disponível em: <http://qgis.org>. Acesso: 05 out. 2022.

QIN, Yinghong. Urban Flooding Mitigation Techniques: **a systematic review and future studies.** Water, [S.L.], v. 12, n. 12, p. 3579. MDPI AG: 20 dez. 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/w12123579.

RAMÍSIO, Paulo J.; BRITO, Rita Salgado; BECEIRO, Paula. **Accessing Synergies and Opportunities between Nature-Based Solutions and Urban Drainage** Systems. Sustainability, [S.L.], v. 14, n. 24, p. 16906. MDPI AG:16 dez. 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/su142416906.

RANJAN, R. AND KESHARI, A. K. **Process-based Hydrological Modeling to Analyze Sub-basin Response Under Extreme Rainfall Events in Koyna River Basin, Maharashtra.** EGU General Assembly, Vienna, Austria, 24–28. EGU23-1663: Apr 2023. DOI: https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-1663.

RATNAYAKE, D.C., HEWA, G.A., KEMP, D.J. Challenges in quantifying losses in a partly urbanized catchment: **a south Australian case study.** Water 14 (8), 1313, 2022.

RECIFE (Município). *Plano Diretor de Drenagem do Recife (PDDR)*. Recife: Prefeitura Municipal de Recife, 2023. Disponível em: https://conselhodacidade.recife.pe.gov.br. Acesso em: 10 out. 2024.

RENNÓ, C.D.; BORMA, L.S. **Hidrologia de Vertentes e Escoamento Superficial.** 75 slides. 2017. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/~camilo/prochidr/pdf/02vert.pdf>. Acesso em: 28 mar de 2023.

REUTERS. Floods in southern Brazil: **rescue efforts were interrupted in flood-hit southern brazil amid more rain.** Rescue efforts were interrupted in flood-hit southern Brazil amid more rain. 2024. Disponível em:

https://www.reuters.com/graphics/BRAZIL-RAINS/FLOODS/egpbazlzbvq/. Acesso em: 20 maio 2024.

RIBEIRO, W.C., SANTOS, C.L.S., SILVA, L.P.B. **Conflito pela água, entre a escassez e a abundância: marcos teóricos.** Ambientes: Revista de Geografia e Ecologia Política 1(2), 11 – 37, 2019.

RIBEIRO, C.B.M.; LIMA, R.N.S. **Simulação de inundações urbanas a partir da integração de técnicas de geoprocessamento à modelagem hidráulica e hidrológica.** Revista Geografia, v. 2, n. 1, p. 1-9, 2011.

ROCHA, Cáren Izabel Oliveira. **Plano Diretor de Drenagem Urbana em Cidades Planejadas: premissa de zoneamento baseado no risco de contaminação da água subterrânea**. 96 f. [Tese Doutorado] Curso de Engenharia de Recursos Hídricos. Universidade de São Paulo, São Paulo: 2014.

ROCHA, Eider Gomes de Azevedo. **Conceitos Básicos de Hidrologia e Drenagem para Projetos Rodoviários**. Brasília: Escola Nacional de Administração Pública (Enap), 2023. Disponível em: https://www.escolavirtual.gov.br/. Acesso em: 15 jul. 2024.

RODRIGUES, Aparecida Gonçalves; BEZERRA, Bernardino da Costa; ISHII, Iria Hiromi; CARDOSO, Evaldo Luis; SORIANO, Balbina Maria Araújo; OLIVEIRA, Henrique de. **Arborização urbana e produção de mudas de essências florestais nativas em Corumbá/MS**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 26p. il., Embrapa Pantanal. Documentos, 42, 2002.

RODRIGUES, Dayvson Dansi; MARIANO, Sillas Ramos; SILVA, Maria Amélia Bonfante da; RANGEL, Otacílio José Passos; CARVALHO, César Santos; TRUGILHO, Guilherme Andrião; SILVA, Marlon Alves Peçanha da; GONÇALVES, Marjorie Mezabarba; EGIDIO, Luana Soares; XAVIER, Silvia Aline Bérgamo. Estratégias de recuperação de áreas degradadas: **tópicos em recuperação de áreas degradadas.** Vol 6, [S.L.], p. 94-125. Mérida Publishers: 2023. DOI: http://dx.doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-14-5.c3.

ROSSI, R. A., SANTOS, E. **Conflito e regulação das águas no Brasil - a experiência do Salitre.** Caderno CRH 31, 151-167, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-49792018000100010>. Acesso: 27 set. 2022.

ROY, S.; BYRNE, J.; PICKERING, C. **A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones.** Urban Forestry & Urban Greening, Canada, v. 11, n. 4, p. 351-363, jun. 2012.

SAAE. Serviço Autônomo de Água e Esgoto. **Relatório Técnico de Contas e Consumo**. Três Pontas: SAAE, 2022.

SAAE. **Serviço Autônomo de Água e Esgoto.** Três Pontas: 23 de dezembro de 2009. https://www.saaetpo.mg.gov.br/abrir_arquivo.aspx/Dignostico_completo_manancial_

Custodinho_2009?cdLocal=2&arquivo={BDEE4DEE-EEDC-8142-4BAE-5EB3EEDBC3CC}.pdf.

SAGE CHER AVAL. **Qu'est-ce qu'un bassin versant?** Comissão Local de Água, França. Disponível em: <https://sage-cher-aval.fr/quest-ce-quun-bassin-versant/>. Acesso em: 25 set. 2022.

SAMPSON, C. C.; SMITH, A. M.; BATES, P. D.; NEAL, J. C.; ALFIERI, L.; FREER, J. E. **A high-resolution global flood hazard model.** Water Resour. Res., 51, 7358–81, 2015.

SANTOS, Joildes Brasil dos. **ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE COMO INSTRUMENTO PARA CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS: Estudo de caso na Região Metropolitana de Goiânia, Goiás**. 2019. 245 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.

SÃO PAULO (cidade). Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE. **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas.** [*S. l.: s. n*.], 2005.

SÃO PAULO (cidade). Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE. **Manual de Cálculo de Vazões Máximas, Médias e Mínimas para as Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1994. 64 p.

SÃO PAULO (cidade). Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais: **gerenciamento do sistema de drenagem urbana.** São Paulo/SP: SMDU, v.3., 130p., 2012a.

SÃO PAULO (cidade). **Infraestrutura Urbana e Obras**. 2024. Disponível em: https://capital.sp.gov.br/web/obras/w/obras_de_drenagem/230496. Acesso em: 01 out. 2024.

SCHMITT, A. *et al*. **Proposta de mobilidade coletiva para a Região Metropolitana de Florianópolis pensada a partir de imagens do Satélite GeoEye e banco de dados de software SIG.** Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu - PR, p. 0810-0817, 2013.

SCHUMM, S.A. **Sinuosity of alluvial rivers on the great plains**. Geological Society of America Bulletin. v. 74, n. 9, p. 1089-1100, 1963.

SCHUMM, S. A. **River Variability and Complexity**. Ed. Cambridge University Press. New York, ed. 1, 2005.

SCHWAB, G.O.; FANGMEIER, D.D.; ELLIOT, W.J.; FREVERT, R.K. **Soil and water Conservation and Engineering.** 4ª Ed: John Wiley & Sons, Inc. 89f, 1993.

SCOTTISH NATURAL HERITAGE. **Rivers and their catchments: river dredging operations.** Information and Advisory. Note number 23. Disponível em: <http://www.snh.org.uk/publications/on-line/advisorynotes/23/23.htm>. Acesso em: 21 mar. 2023.

SEEGER, Katharina; MINDERHOUD, Philip S. J.; PEFFEKÖVER, Andreas; VOGEL, Anissa; BRÜCKNER, Helmut; KRAAS, Frauke; BRILL, Dominik. **Assessing land elevation in the Ayeyarwady Delta (Myanmar) and its relevance for studying sea level rise and delta flooding.** Hydrology And Earth System Sciences, [S.L.], v. 27, n. 11, p. 2257-2281. Copernicus GmbH: 15 jun. 2023. DOI: http://dx.doi.org/10.5194/hess-27-2257-2023.

SEOUL METROPOLITAN GOVERNMENT (SMG). Importance of the technology: **field permeability test.** Apresentação em Power-Point. Seoul: 2014.

SERAPHIM, Ana Paula Albuquerque Campos Costalonga. Relações entre as áreas de recarga dos aquíferos e áreas destinadas à urbanização: **estudo dos padrões de ocupação do solo da unidade hidrográfica do Lago Paranoá - DF.** Distrito Federal: Maurício Suda, 2018.

SILVA FILHO, D. F. **Sombra também gera economia**. *In:* Gazeta de Piracicaba. Piracicaba: Dia da árvore, p. 9., 12/set. 2006.

SILVA, Suelen Takano; SANTOS, Rafael Felipe Morais. **A interceptação das águas pluviais através da arborização urbana.** Inovae. São Paulo, p. 191-206, dez. 2018.

SILVEIRA, A.L.L. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica.** *In:* TUCCI, C.E.M. (org.). Hidrologia: ciência e aplicação. São Paulo: EDUSP, p. 35-51, 2001.

SILVEIRA, A.L.L. **Desempenho de fórmulas de tempos de concentração em bacias urbanas e rurais.** RBRH. vol. 10, n. 1, jan/mar 2005.

SIMON, A.; COLLISON, A.J.C. **Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability.** Earth Surface Processes and Landforms, 27(5), 527-546, 2002. DOI: http://dx.doi.org/10.1002/esp.325.

SINGH, Vijay P. **Entropy Theory and its Application in Environmental and Water Engineering**. New York: Springer, 2013.

SISEMA. **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: 26 jul. 2023.

SISEMA. **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Belo Horizonte: IDE-Sisema, 2023. Disponível em: idesisema.meioambiente.mg.gov.br. Acesso em: 20 jan. 2024.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico Temático Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas.** Site Institucional: 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt br/assuntos/saneamento/snis/produtos-do snis/diagnosticos/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AP_SNIS_2021.pdf.

SMITH, K; WOODWARD, A; CAMPBELL-LENDRUM, DIARMID *et al.* Human health: **impacts, adaptation, and co-benefits**. Climate Change. Impacts, Adaptation, and

Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Editor/C.B Field; V Barros; D.J Dokken. 1. ed. Cambridge UK: Cambridge University Press, p. 709-754, 2014.

SMITH, W. S; SILVA, F. L.; BIAGIONI, R. C. **Desassoreamento de rios: quando o poder público ignora as causas, a biodiversidade e a ciência.** Ambient. Soc. [online]. vol.22, ISSN 1809-4422, 2019. Disponível em:<https://www.scielo.br/pdf/asoc/v22/pt_1809-4422-asoc-22-e00571.pdf>. Acesso em: 25 out 2022.

SOARES, M. R. G. J.; FIORI, C. O.; SILVEIRA, C. T.; KAVISKI, E. **Eficiência do método Curve Number de retenção de águas pluviais.** Mercator, Fortaleza, v. 16, 2017.

SOBRINHA, Lôide Angelini. **Classificação semiautomática de imagens de satélites e suas implicações na modelação do escoamento superficial direto em bacias urbanas**. 193 f. [Tese Doutorado] Curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

SOUSA, D. M. G; LOBATO, E. **Latossolos**. *In:* Embrapa Cerrados. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma cerrado/solo/tipos-de-solo/latossolos/. Acesso em: 10 jul. 2024.

SOUZA, L.; MIRANDA, R. A. C. **Climatologia geográfica**. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, v.1, p. 246, 2012.

SOUZA, M. N. **Degradação e recuperação ambiental e desenvolvimento sustentável**. Viçosa: UFV, 2004.

SOUZA, M. N. **Avaliação de Impactos e Licenciamento Ambiental**. Rio Pomba: IF Sudeste MG – RP, 2014.

SOUZA, M. **Ação da poluição nos sistemas ambientais.** *In:* SOUZA, M. N. (org.) Tópicos em recuperação de áreas degradadas. Vol. IV. Canoas, RS: Mérida Publishers, p. 26-68, 2022b. DOI: https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-10-7.c1.

SOUZA, M. N. (org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas.** Vol. IV. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 304 p. ISBN: 978-65-84548-10-7, 2022a. DOI: https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-10-7.

STRAHLER, A. N. **Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography.** Geological Society Of America Bulletin, [S.L.], v. 63, n. 11, p. 1117. Geological Society of America: 1952. DOI: http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:haaoet]2.0.co;2.

STRAHLER, Arthur N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology.** Transactions, American Geophysical Union, [S.L.], v. 38, n. 6, p. 913. American Geophysical Union (AGU): 1957. DOI: http://dx.doi.org/10.1029/tr038i006p00913.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 266, 1998.

SUN, YONGJUN; DENG, LI; PAN, SHU-YUAN; CHIANG, PEN-CHI; SABLE, SHAILESH S.; SHAH, KINJAL J. Integration of green and gray infrastructures for sponge city: **water and energy nexus.** Water-Energy Nexus, [S.L.], v. 3, p. 29-40. Elsevier BV: 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.wen.2020.03.003.

TAMIRU, Habtamu; DINKA, Megersa. **Application of ANN and HEC-RAS model for flood inundation mapping in lower Baro Akobo River Basin, Ethiopia.** Journal Of Hydrology: Regional Studies, [S.L.], v. 36, p. 100855. Elsevier BV: ago. 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100855.

TAUBATÉ (Município). *Plano Diretor de Macrodrenagem*. Taubaté: Prefeitura Municipal de Taubaté, 2023. Disponível em: https://taubate.sp.gov.br/novo/plano-diretor-de-macrodrenagem/. Acesso em: 10 out. 2024.

TAVEIRA, Bruna Daniela de Araujo. **Hidrogeografia e gestão de bacias**. Curitiba: Intersaberes, 220 p., 2018.

TENÓRIO, J. A. S.; ESPINOSA, D. C. R. **Controle ambiental de resíduos.** *In:* PHILIPPI JUNIOR, A.; ROMÉRO, M. de A.; BRUNA, G. C. (org.). Curso de gestão ambiental. Barueri: Manole, p. 155-212, 2014.

THE PEW CHARITABLE TRUSTS. Property Buyouts Can Be an Effective Solution for Flood-Prone Communities: **improved federal policy on funding and planning would deliver better long-term outcomes.** 2022. Disponível em: https://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/reports/2022/04/property-buyouts-can-be-an-effective-solution-for-flood-prone-communities. Acesso em: 18 jul. 2024.

THORNTHWAITE, C. W. *An approach toward a rational classification of climate*. Geographical Review, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

TOMASELLA, J.; CUNHA, A. P. M. A.; SIMÕES, P. A. *et al*. **Assessment of trends, variability and impacts of droughts across Brazil over the period 1980–2019**. *Natural Hazards*, v. 116, p. 2173–2190, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11069-022-05759-0. Acesso em: 01 out. 2024.

TOMAZ, Plínio. **Chuvas intensas e método de SCS**. Apostila oferecida pelo curso de Manejo de Águas Pluviais oferecido pela Rainwater Consultoria e Saneamento. Capítulo 22. Capítulo 38. 2012. Disponível em: https://909d9be6-f6f1-4d9c8ac9115276d6aa55.filesusr.com/ugd/0573a5_6dfba4c4d51349aaa4913f70ab7f062c.pdf?index=true. Acesso em: 18 dez 2023.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J. e AMARAL, R. (Org.). **Desastres Naturais-Conhecer para Prevenir.** São Paulo: Instituto Geológico, 193 p., 2009.

TORRICO, J.J.T. **Práticas hidrológicas.** Rio de Janeiro: Transcon, 120 p., 1974.

TRÊS PONTAS. **Decreto nº 8715, de 05 de janeiro de 2014.** Regulamenta o Capítulo VI da Lei Municipal nº 1288, que dispõe sobre o Uso e Ocupação do Solo Urbano do Município de Três Pontas e dá outras providências. Três Pontas, MG, 2014.

TRÊS PONTAS. **Lei nº 1288, de 13 de abril de 1988.** Dispõe sobre o Uso e a Ocupação do Solo Urbano do Município de Três Pontas e dá outras providências. Três Pontas, MG, 13 abr. 1988.

TRÊS PONTAS. **Lei nº 2733, de 09 de outubro de 2006.** Dispõe sobre o Plano Estratégico de Desenvolvimento Integrado do Município de Três Pontas – P.E.D.I., e dá outras providências. Três Pontas, MG, 2006.

TRÊS PONTAS. **Lei nº 1895, de 07 de novembro de 1997.** Altera o Art. 33 em seu Inciso I, modifica a redução do Art. 37, acrescentando-lhe o §2º e dá nova redação ao caput do Art. 38, da Lei nº 1.288, de 13 de abril de 1988, que dispõe sobre o Uso e a Ocupação do Solo Urbano do Município de Três Pontas. Três Pontas, MG, 1997.

TRÊS PONTAS. **Lei nº 4005, de 03 de novembro de 2016.** Três Pontas, M.G., 2016.

TRÊS PONTAS. **Resolução nº 002, de 23 de outubro de 2013.** Dispõe sobre medidas de caráter ambiental a serem implementadas pelo Município de Três Pontas visando a prevenção de inundações na área urbana municipal, e dá outras providências. Três Pontas, MG, 2013.

TRÊS PONTAS. Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA). **Perspectivas quanto ao desenvolvimento urbanístico do Município de Três Pontas/MG**. Três Pontas: SMMA, Color., 2022.

TRÊS PONTAS. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. **Modelagem preliminar de amortecimento - Barragem Córrego dos Bambus**. Três Pontas: SMMA, 59 p., 2021.

TRÊS PONTAS. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Prefeitura Municipal de Três Pontas. **Análise do trecho canalizado do Córrego dos Bambus**. Três Pontas: SMMA, Color., 2023.

TRÊS PONTAS. Secretaria Municipal de Transportes e Obras. Prefeitura Municipal de Três Pontas. **Canalização do Córrego Bambus**. Três Pontas: SMTO, Color., 2014.

TROWBRIDGE, P. J.; BASSUK, N. L. Trees in Urban Landscapes: **site assessment, design and installation.** Hoboken: Wiley & Sons, 207p., 2004.

TUCCI, C.E.M. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 2, n.2, p5-12, 1997.

TUCCI, C. E. M. **Aspectos Institucionais do Controle das Inundações Urbanas.** Avaliação e Controle da Drenagem Urbana. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2001.

TUCCI, C.E.M.; BERTONI, J. C. (org.). **Inundações urbanas na América do Sul.** ABRH, Porto Alegre - RS, 150 p, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas.** Porto Alegre: ABRH/Rhama, 356 p., 2007.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana.** Brasília: CEPAL. IPEA, 50p., 2012.

TUCCI, Carlos. **Gerenciamento da Drenagem Urbana.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 5-27. FapUNIFESP. SciELO: 2002. DOI: http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v7n1.p5-27.

TUCCI, Carlos E.M (org.). Hidrologia: **ciência e aplicação.** 4. ed. Porto Alegre: ABRH, 943 p., 2020.

TUCCI, C. E. M; HESPANHOL, I; CORDEIRO NETTO, O. de M. **Gestão da Água no Brasil**. Brasília: UNESCO, p. 70-73, 2001.

TUNDISI, J. G., MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. Oficina de Textos, São Paulo, 632p., 2008.

TUNDISI, J. G. **Recursos hídricos no Século XXI.** Oficina de Textos. São Paulo: 2011.

UFPB. Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento - lenhs/ufpb. **SWMM**. 2020. Disponível em: <http://ct.ufpb.br/lenhs/contents/menu/assuntos/swmm>. Acesso em: 19 out. 2022.

UFV. **Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos**. Disponível em: https://www.gprh.ufv.br/?area=softwares. Acesso em: 28 jul. 2023.

UNEP. United Nations Environmental Programme. **Developing Integrated Solid Waste Management Plan Training Manual.** V. 3. United Nations Environmental Programme. Division of Technology, Industry and Economics International Environmental Technology Centre. Osaka/Shiga, Japan, 2009.

UNICEF. World Health Organization & United Nations Children's Fund. Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2020: **five years into the SDGs.** License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. World Health Organization: 2021. Disponível em: https://apps.who.int/iris/handle/10665/345081.

UNITED NATION (UN). Transforming our world: **The 2030 Agenda for Sustainable Development.** 2015. Disponível em: https://sdgs.un.org/2030agenda. Acesso em: 18 dez. 2022.

USA. US army corps of engineers hydrologic engineering center - USACE. **HEC-HMS**. 2022. Disponível em: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/. Acesso em: 18 out. 2022.

USA. US Department of Agriculture. **Watershed and Flood Prevention Operations Program.** Natural Resources Conservation Service, July 9, 2021. Disponível

em: https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/programs/landscape/wfpo/.

USA. Environment Protection Agency (U.S. EPA). **Terminology of Low Impact Development.** Distinguishing LID from other Techniques that Address Community Growth Issues, EPA 841-N-12-003B, 2012. Disponível em: https://www.epa.gov/nps/urban-runoff-low-impact-development).

USDA, NRCS. **Urban Hydrology of Small Watersheds.** Technical Release, 55 (TR-55), 1986.

USP. Universidade de São Paulo. **Soluções baseadas na natureza**. 2024. Disponível em: https://sites.usp.br/gipsbn/solucoes-baseadas-na-natureza/. Acesso em: 10 fev. 2024.

VALE, J. R. B.; COSTA, L. S. da; PIMENTEL, M. A. S. Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Mocajuba, zona costeira amazônica. Geosul, Florianópolis, v. 36, n. 78, p.537-557, jan./abr. 2021. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/72705 Acesso em: 01 out. 2024.

VEIGA, Bernardo Saturnino da. **Almanach Sul-Mineiro.** Campanha: Typographia do Monitor Sul-Mineiro, 1884.

VERBEIREN, B. *et al*. **Assessing urbanization effects on rainfall-runoff using a remote sensing supported modeling strategy.** International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. Enschede, v. 21, p. 92-102, aug. 2013.

VIEIRA, Rayane Ribeiro *et al*. **Similaridade entre atributos de argissolos e latossolos através de estatísticas multivariadas.** *In:* 9ª Semana Integrada Ufpel. Anais [...]. Pelotas: UFPEL, p. 1-4, 2023.

VILA VELHA. Prefeitura de Vila Velha. **Obras aceleradas na Barra do Jucu para drenagem e pavimentação em 11 ruas**. 2020. Disponível em: https://www.vilavelha.es.gov.br/noticias/2020/05/obras-aceleradas-na-barra-do-jucu-para-drenagem-e-pavimentacao-em-11-ruas-29805. Acesso em: 05 jul. 2023.

VILLELA, S.M., MATTOS, A. **A Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 245 p., 1975.

WALSH, Christopher J.; ROY, Allison H.; FEMINELLA, Jack W.; COTTINGHAM, Peter D.; GROFFMAN, Peter M.; MORGAN, Raymond P. **The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure.** Journal of The North American Benthological Society, [S.L.], v. 24, n. 3, p. 706-723. University of Chicago Press: set. 2005. DOI: http://dx.doi.org/10.1899/04-028.1.

WARD, R.C.; ROBINSON, M. **Principles of Hydrology**. 4ª Ed., McGraw-Hill, Berkshire, England, 450 p., 2000.

WEI, Chong; DONG, Xiaohua; MA, Yaoming; ZHAO, Wenyi; YU, Dan; TAYYAB, Muhammad; BO, Huijuan. **Impacts of Land Use Types, Soil Properties, and Topography on Baseflow Recharge and Prediction in an Agricultural Watershed.** Land, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 109. MDPI AG: 29 dez. 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/land12010109.

WEISS, P. T.; KAYHANIAN, M.; KHAZANOVICH, L.; GULLIVER, J. S. **Permeable pavements in cold climates: state of the art and cold climate case studies.** Report. Center for Transportation Studies. University of Minnesota, Minneapolis: 2015.

WESTPHAL, JERONOME A. **Hydrology for drainage system design and analysis.** *In:* Mays, Larry W. Stormwater collection systems design Handbook. McGRaw-Hill, ISBN 0-07-135471-9c, 2001.

WINTER T. C.; HARVEY, J. W.; FRANKE, O. L.; *et al.* **Groundwater and surface water – a single resource.** United States Geological Survey (USGS), Circular 1139, 79p. Denver: 1998. Disponível em: https://pubs.usgs.gov/circ/circ1139/. Acesso em: 24 out. 2022

WMO. The Dublin Statement and Report of the Conference. International Conference on Water and the Environment: **Development Issues for the 21st Century.** Dublin, Ireland: 1992.

WMO. **The Role of Climatological Normals in a Changing Climate**. WMO/TD-No. 1377. Geneva: 2007.

WMO. **Guide to Climatological Practices.** WMO-No. 100. Geneva: 2011.

WMO. **Guidelines on the Calculation of Climate Normals.** WMO/No 1203. *In:* Purpose, Chairperson, Publications Board World Meteorological Organization (WMO), Geneva, Switzerland: 2017.

WOLMAN, M. G. **A method of sampling coarse river-bed material.** Transactions of the American Geophysical Union, v. 35, p. 951-956, 1954.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Report of the World Commission on Environment and Development - Our Common Future**. Nações Unidas: Oxford University Press, 247 p., 1987.

WORLD WEATHER ATTRIBUTION. **Climate change increased heavy rainfall, hitting vulnerable communities in Eastern Northeast Brazil**. 2022. Disponível em: https://www.worldweatherattribution.org/climate-change-increased-heavy-rainfall-hitting-vulnerable-communities-in-eastern-northeast-brazil/. Acesso em: 09 maio 2023.

WWAP. United Nations World Water Assessment Programme. The United Nations World Water Development Report 2018: **Nature-Based Solutions for Water.** UN-Water. Paris, UNESCO: 2018.

XIAO, Q.; MCPHERSON, E. G. **Rainfall interception by Santa Monica 's municipal urban forest**. Urban Ecosystems, v. 12, n. 4, p. 393-402, 2009.

XIAO, Q.; MCPHERSON, E. G. **Rainfall interception of three trees in Oakland, California**. Urban Ecosystems, Duluth, v. 14, n. 4, p. 755-769, jun. 2011.

XU, Chaowei; FU, Hao; YANG, Jiashuai; WANG, Lingyue. Assessment of the Relationship between Land Use and Flood Risk Based on a Coupled Hydrological–Hydraulic Model: **a case study of the Zhaojue river basin in southwestern China.** Land, [S.L.], v. 11, n. 8, p. 1182. MDPI AG: 28 jul. 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/land11081182.

YAO. F.; WANG, J.; YANG, K.; WANG, C.; WALTER, B. A.; CRÉTAUX, J. F. **Lake storage variation on the endorheic Tibetan Plateau and its attribution to climate change since the new millennium**. Environ. Res. Lett., 13, 064011, 2018.

ZHANG, J.; WEI, X.; QIN, L.; TIAN, Y. **Spatial distribution estimates of the urban population using DSM and DEM data in China ISPRS.** Int. J. Geo-Inf., 7, 435, 2018.

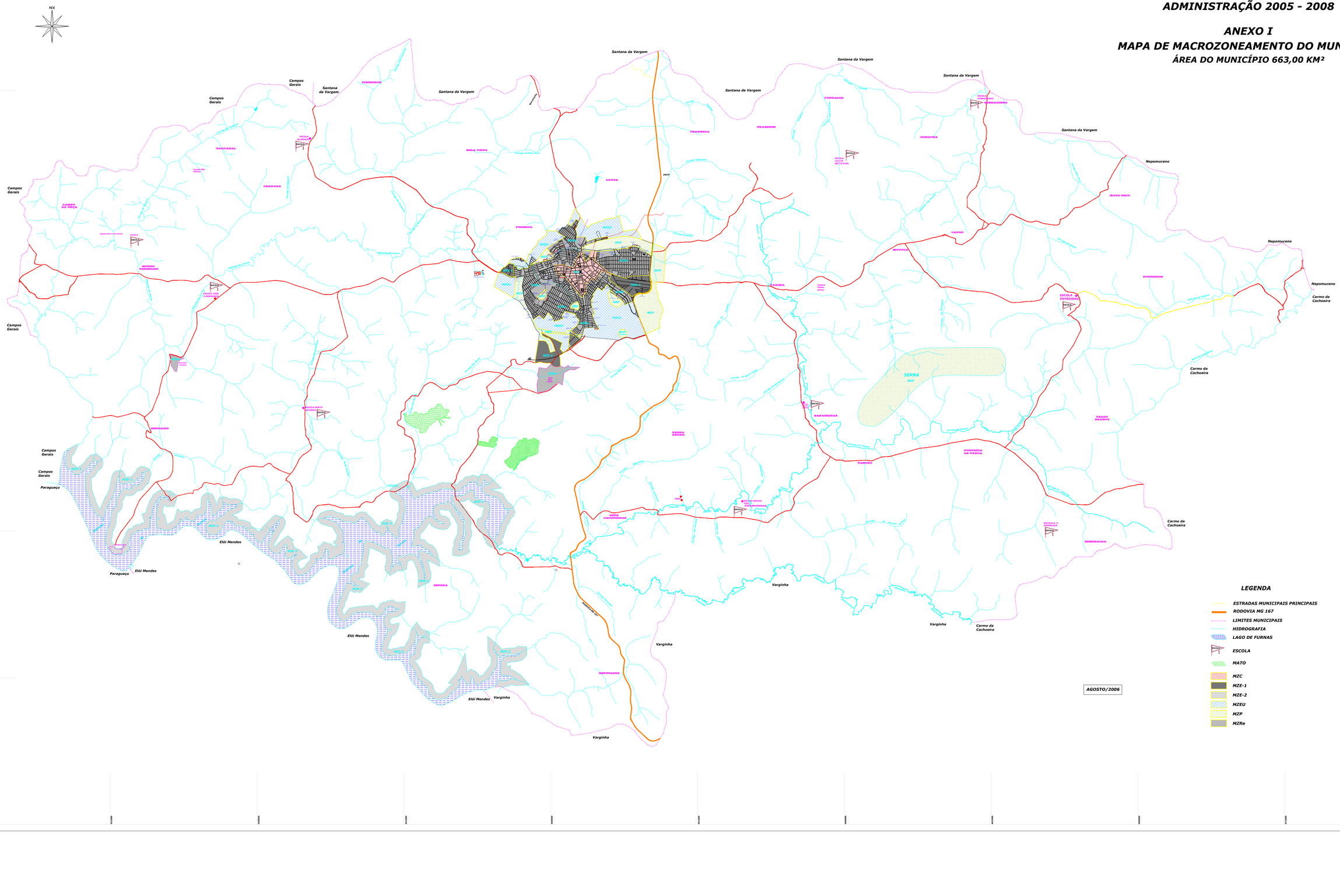
ZHANG, B.; FAN, Z.; DU, Z.; ZHENG, J.; LUO, J.; WANG, N.; WANG, Q. A geomorphological regionalization using the upscaled DEM: **the Beijing-Tianjin-Hebei area - China case study.** Sci. Rep., 10, 10532, 2020.

ANEXO A – MACROZONEAMENTO

PREFEITURA MUNICIPAL DE TRÊS PONTAS
ADMINISTRAÇÃO 2005 - 2008

ANEXO I
MAPA DE MACROZONEAMENTO DO MUNICÍPIO
ÁREA DO MUNICÍPIO 663,00 KM²

N.V



ANEXO B – MINUTA DE LEI

Minuta de Lei nº XXX, XX de XXXXX de 2024

INSTITUI O PROGRAMA DE INCENTIVO À SUSTENTABILIDADE URBANA - IPTU VERDE NO MUNICÍPIO DE TRÊS PONTAS.

O Povo do Município de Três Pontas - MG, por seus representantes na Câmara Municipal, aprovou e eu, Prefeito Municipal, em seu nome, sanciono a seguinte Lei.

Art. 1° - Fica instituído, no âmbito do Município de Três Pontas, o Programa de Incentivo à Sustentabilidade Urbana - IPTU Verde, cujo objetivo é fomentar medidas de preservação, proteção e recuperação do meio ambiente, além da redução do impacto ambiental negativo, ofertando, em contrapartida, benefício tributário ao contribuinte.

Art. 2° - Fica o Poder Executivo autorizado a conceder desconto no valor do Imposto Predial e Territorial Urbano – IPTU para os contribuintes que aderirem ao Programa criado por esta Lei, desde que:

I - inclua o Programa de Incentivo à Sustentabilidade Urbana - IPTU Verde nas leis orçamentárias, sobretudo, Plano Plurianual, Lei de Diretrizes Orçamentárias e Lei Orçamentária Anual, fazendo constar:

1. demonstrativo da estimativa e compensação da renúncia de receita em face dos descontos concedidos;
2. medidas compensatórias suficientes, como redução de despesas ou aumento de receita;
3. estimativa do impacto orçamentário-financeiro no exercício em que deva iniciar sua vigência e nos dois seguintes.

Art. 3° - Será concedido o benefício tributário, consistente em reduzir o Imposto Predial e Territorial Urbano - IPTU, aos proprietários de imóveis residenciais e não edificados que adotem medidas de proteção, preservação e recuperação do meio ambiente, assim como ações que reduzam o impacto ambiental negativo. Este benefício será concedido desde que a construção esteja regularizada perante o fisco.

§ 1.º Para ser elegível ao benefício tributário previsto nesta Lei, o imóvel requerente deve cumprir simultaneamente dois (2) dos critérios listados abaixo, conforme as adequações especificadas nesta mesma legislação.

I - imóveis com sistema de captação de água da chuva e reúso implantado, e em funcionamento, comprovado pelo requerente;

II - imóveis com sistema de aquecimento hidráulico solar;

III - imóveis com sistema de aquecimento elétrico solar ou produção de energia elétrica fotovoltaica instalado no imóvel;

IV - construções com materiais sustentáveis;

V - utilização de energia passiva;

VI - imóveis com sistema de utilização de energia eólica;

VII - manutenção de imóveis territoriais sem edificação (terreno) sem a presença de espécies exóticas invasoras e cultivo de espécies arbóreas nativas, conforme definição do § 4.º deste artigo.

VIII - imóveis residenciais (exclusivo para condomínios horizontais ou prédios) que se responsabilizem pela separação dos materiais recicláveis e que deverão dispor de pelo menos 02 (dois) contêineres, sendo um para acomodação dos materiais recicláveis e outro para resíduos orgânicos;

IX - participação da coleta seletiva de resíduos sólidos, com comprovação de destinação à reciclagem e/ou ao reaproveitamento;

X - sistema ecológico de tratamento de esgoto, onde não houver rede coletora de esgoto municipal.

XI - construção de calçadas permeáveis e/ou ecológicas e/ou com arborização compatível com o Plano Municipal de Arborização Urbana ou outro que venha a substituí-lo;

XII - imóveis residenciais que possuam pelo menos 20% de sua área interna coberta por vegetação e materiais permeáveis;

XIII – Adoção de práticas de LID "Low Impact Development" (Desenvolvimento de Baixo Impacto), assegurando que pelo menos 60% das águas pluviais incidentes sejam infiltradas dentro dos limites do imóvel.

§ 2.º As especificações técnicas das medidas aqui enumeradas deverão observar o especificado na tabela do Anexo I desta Lei, no que for possível, podendo Instruções Normativas específicas criar parâmetros e, ainda, alterar os existentes nesta tabela.

§ 3.º Todos os instrumentos descritos neste artigo devem ter sua eficácia ambiental comprovada por meio de documentos, laudos, perícias e/ou vistoria in loco, conforme especificações.

§ 4.º Considera-se imóveis territoriais sem edificação (terreno) aquele com presença de espécies nativas, para fins de aplicação do inciso VIII deste artigo, os imóveis sem edificações, que o protejam de espécies exóticas invasoras, não típicas do local, que passam a tomar conta do terreno, causando grande impacto ambiental, ecológico e perda considerável da biodiversidade, ainda, devendo destinar ao menos 20% (vinte por cento) da área do lote ao cultivo de espécies nativas, a fim de aumentar a biodiversidade no perímetro urbano. (NR)”

Art. 4° - O pedido poderá ser efetuado presencialmente na Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA), enviado por e-mail para smma3@trespontas.mg.gov.br, ou submetido através do site: https://trespontas.atende.net/cidadao. Em qualquer uma destas opções, o pedido deve ser acompanhado dos seguintes documentos:

I - requerimento devidamente preenchido com os dados dos solicitantes e sistemas instalados, conforme modelo disponível no Anexo II desta Lei;

II - comprovação de titularidade do imóvel objeto de análise;

III - certidão negativa de débito ou certidão positiva com efeito de negativa de débito (débitos em dia) do proprietário do imóvel a ser beneficiado (CPF ou CNPJ);

IV - cópia do documento pessoal oficial com foto do proprietário do imóvel, no caso de pessoa física, ou cópia do documento do responsável legal, no caso de o imóvel pertencer a uma pessoa jurídica;

V - procuração assinada pelo proprietário do imóvel, com reconhecimento de firma, no caso de processo protocolado por terceiros;

VI - tratando-se de edifícios residenciais, o pedido poderá ser realizado pelo representante legal do condomínio, representando todas as unidades por pedido único, devendo ser instruído com cópia da aprovação prévia dos benefícios solicitados em assembleia condominial, na forma do estatuto próprio devidamente registrado, além de:

a) cópia da ata da assembleia de eleição do representante legal do condomínio, o qual ficará responsável pelo protocolo do benefício;

b) requerimento devidamente preenchido, conforme modelo disponível no Anexo III desta Lei, indicando as unidades cadastrais que estão englobadas no pedido;

c) documentos dos proprietários das unidades autônomas do edifício, conforme determinado nos incisos II, III e IV deste artigo;

d) caso os documentos de uma unidade habitacional não sejam apresentados ou sejam inadequados, o pedido relacionado a essa unidade será indeferido. Entretanto, isso não afetará a análise e decisão sobre as demais unidades habitacionais.

VII - fotos e documentos específicos para cada tipo de sistema implantado conforme se segue:

a) sistema de captação e reúso de águas pluviais:

1. 04 fotos coloridas, no mínimo, do sistema instalado, com indicação legível da capacidade de reservação e das ligações ao sistema hidráulico do imóvel.

b) sistema de aquecimento hidráulico solar:

1. notas fiscais dos equipamentos e do prestador de serviço, se houver;

2. 04 fotos coloridas, no mínimo, da(s) placa(s) e/ou similar(es);

3. 02 fotos coloridas, no mínimo, do(s) boiler(s).

c) sistema de geração de energia elétrica solar, contendo os seguintes itens:

1. 04 fotos coloridas, no mínimo, da(s) placa(s) e/ou similar(es);

2. 01 foto colorida, no mínimo, do inversor ou similar;

3. relatório de geração de energia elétrica do sistema, se houver;

4. fatura atualizada da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG).

d) construção com materiais sustentáveis, contendo o seguinte item:

1. laudo técnico elaborado por engenheiro ou arquiteto, atestando que a edificação fez uso de ao menos 03 (três) materiais sustentáveis e apontando a porcentagem de presença destes na obra finalizada, com a devida anotação de responsabilidade técnica – ART ou equivalente;

e) potencialização da utilização de energia passiva, contendo os seguintes itens:

1. 04 fotos coloridas, no mínimo, das aberturas e outros equipamentos construtivos que possibilitem o uso de energia passiva;

2. laudo técnico elaborado por engenheiro ou arquiteto, atestando e justificando que a edificação faz uso de energia passiva, com a devida anotação de responsabilidade técnica – ART ou equivalente;

3. relatório fotográfico comprobatório das medidas empregadas, subsidiando o laudo técnico.

f) sistema de utilização de energia eólica, contendo os seguintes itens:

1. 04 fotos coloridas, no mínimo, do sistema de captação dos ventos (torre, hélices, turbinas eólicas e/ou similares);

2. 1 foto colorida, no mínimo, do inversor ou similar;

3. relatório de geração de energia elétrica do sistema, se houver;

4. faturas atualizadas da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) (últimos 2 meses anteriores ao mês de protocolo).

g) imóveis territoriais sem edificação (terreno) sem a presença de espécies exóticas e com cultivo às espécies arbóreas nativas, contendo os seguintes itens:

1. 10 fotos coloridas, no mínimo, do lote, que possibilitem visualização da área onde estão plantadas as árvores;

2. laudo técnico elaborado por engenheiro florestal, engenheiro ambiental, agrônomo, biólogo ou outros profissionais técnicos ambientais, atestando que o lote obedece às exigências mínimas da lei e que faz jus à concessão do desconto, com a devida anotação de responsabilidade técnica – ART ou equivalente.

h) imóveis residenciais (exclusivo para condomínios horizontais ou prédios) com programa de separação de resíduos sólidos, contendo o seguinte item:

1. 04 fotos coloridas, no mínimo, do sistema instalado, sendo o local destinado ao armazenamento e triagem, com indicação legível dos resíduos a serem depositados nos recipientes, separados entre reciclável e não reciclável (orgânico). (NR)

i) imóveis residenciais que participem da coleta seletiva de resíduos sólidos, contendo o seguinte item:

1. comprovante emitido pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA), acompanhado de um documento fornecido pela Associação Trespontana de Catadores de Materiais Recicláveis (ATREMAR) confirmando a participação do imóvel na coleta seletiva. Além disso, é necessário apresentar (02) duas fotos coloridas, datadas e legendadas, mostrando o material destinado à reciclagem, sempre que o caminhão da Associação Trespontana de Catadores de Materiais Recicláveis (ATREMAR) realizar a coleta no imóvel. As legendas das fotos devem incluir as coordenadas geográficas dos locais onde foram tiradas, e as datas das fotos devem corresponder aos dias de coleta da ATREMAR na residência solicitante.

j) imóveis residenciais com sistema ecológico de tratamento de esgoto, onde não houver rede coletora de esgoto municipal, contendo o seguinte item:

1. laudo técnico elaborado por engenheiro, devidamente habilitado, atestando e justificando que o imóvel dispõe de sistema ecológico de tratamento de esgoto eficiente, de acordo com as diretrizes da NBR 7229, com a devida anotação de responsabilidade técnica – ART ou equivalente;

2. 02 (duas) fotos coloridas, no mínimo, do sistema ecológico implementado.

h) construção de calçadas permeáveis e/ou com arborização compatível com o Plano Municipal de Arborização Urbana ou outro que venha a substituí-lo, contendo os seguintes itens:

1. projeto executivo de acordo com as diretrizes da ABNT NBR 16.416, se for o caso;

2. laudo técnico elaborado por engenheiro, atestando e justificando que o imóvel dispõe de calçada permeável e/ou ecológica, com a devida anotação de responsabilidade técnica – ART ou equivalente;

3. 03 fotos coloridas, no mínimo, da arborização implantada na calçada.

i) imóveis residenciais que possuam pelo menos 20% de sua área interna permeável, contendo os seguintes itens:

1. 02 (duas) fotos coloridas, no mínimo, da área interna permeável;

2. laudo técnico elaborado por engenheiro, atestando e justificando que o imóvel dispõe de área interna permeável, constando, inclusive, a metragem total do imóvel e a metragem total da área permeável interna, com a devida anotação de responsabilidade técnica – ART ou equivalente.

j) Adoção de práticas de LID, contendo os seguintes itens:

1. 04 (quatro) fotos coloridas, no mínimo, da prática adotada;

2. laudo técnico elaborado por engenheiro, devidamente habilitado, assegurando que pelo menos 60% das águas pluviais incidentes sejam infiltradas dentro dos limites do imóvel, com a devida anotação de responsabilidade técnica – ART ou equivalente.

Art. 5° - Os padrões técnicos mínimos para cada medida estão previstos no Anexo I da presente Lei.

Art. 6° - A título de incentivo, será concedido o desconto no Imposto Predial e Territorial Urbano - IPTU para as medidas previstas no artigo 2.º, na seguinte proporção:

I - 2% (dois por cento) para utilização de energia passiva;

II - 2% (dois por cento) para sistema de aquecimento hidráulico solar;

III - 3% (três por cento) para imóveis residenciais (exclusivo para condomínios horizontais ou prédios) com programa de separação de resíduos sólidos;

IV - 3% (três por cento) para imóveis residenciais que participem da coleta seletiva de resíduos sólidos;

V - 3% (três por cento) para imóveis residenciais com sistema ecológico de tratamento de esgoto;

VI - 4% (quatro por cento) para construções com material sustentável;

VII - 5% (cinco por cento) para imóveis com calçadas permeáveis e/ou com arborização compatível;

VIII - 6% (seis por cento) para imóveis residenciais que possuam pelo menos 20% de sua área interna permeável;

IX - 6% (seis por cento) para sistema de captação e reúso de águas pluviais;

X - 8% (oito por cento) para imóveis com adoção de práticas de LID;

XI - 8% (oito por cento) para imóveis territoriais sem edificação (terreno) que não possuam espécies exóticas e que promovam o cultivo de espécies arbóreas nativas;

XII - 9% (nove por cento) para imóveis com sistema de utilização de energia eólica;

XIII - 9% (nove por cento) para imóveis com sistema de aquecimento elétrico solar; (NR)”

XIV - 15% (quinze por cento) para quem atender a 6 medidas ou mais.

Art. 7° - O benefício tributário não poderá exceder a 15% (quinze por cento) do Imposto Predial e Territorial Urbano - IPTU do contribuinte.

Art. 8° - O proprietário interessado em obter o benefício tributário deverá protocolar o pedido, de forma individualizada para cada cadastro imobiliário, do dia 01 de janeiro até o dia 30 de junho do ano anterior àquele em que deseja obter o desconto tributário.

§ 1.º O pedido poderá ser realizado presencialmente na Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA), enviado por e-mail para smma3@trespontas.mg.gov.br, ou submetido através do site: https://trespontas.atende.net/cidadao.

§ 2.º Ao protocolar o pedido, o interessado deverá expor a(s) medida(s) que aplicou em seu imóvel ou terreno, conforme art. 3.º desta Lei, e instruir a solicitação com os devidos documentos comprobatórios, conforme art. 4.º desta Lei.

§ 3.º A instrução do pedido deverá ser realizada em formulário próprio e padronizado a ser disponibilizado na Secretaria Municipal de Meio Ambiente ou no sistema https://trespontas.atende.net/cidadao.

§ 4.º A decisão conclusiva do pedido quanto às questões ambientais será de competência da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA), que deverá elaborar um parecer acerca da concessão ou não do benefício, observado o seguinte:

I - em caso de preenchimento dos requisitos, o parecer da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA) será encaminhado à Secretaria de Fazenda, para:

a) análise da regularidade da construção do imóvel objeto do pedido;

b) inserção no cadastro imobiliário do percentual do benefício aplicado;

c) anexação ao processo do comprovante de aplicação do desconto de que trata esta Lei;

d) notificação do particular sobre o deferimento do pedido;

e) arquivamento do processo.

II - caso haja decisão de indeferimento do pedido, o requerente será notificado da decisão da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA) e o processo será arquivado.

§ 5.º Caso o motivo do indeferimento seja a falta de instrução do processo com os documentos comprobatórios elencados nesta Lei, é permitida a juntada de documentos complementares, uma única vez, até a data estabelecida no caput deste artigo, não havendo possibilidade de recurso e/ou reanálise.

§ 6.º Mantidas as condições de indeferimento do pedido, a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA), de forma fundamentada, emitirá decisão terminativa pela não concessão do benefício, devendo notificar o requerente e arquivar o procedimento. (NR)

Art. 9 - Nas localidades onde houver disponibilidade, apenas os imóveis ligados à rede coletora de esgoto farão jus aos benefícios previstos nesta Lei. (NR)

Art. 10 - A Secretaria Municipal de Meio Ambiente realizará a fiscalização, a fim de verificar se as medidas desta Lei estão sendo aplicadas corretamente.

Art. 11 - A renovação do benefício tributário será feita de forma automática, a cada ano, por mais 02 (dois) anos, após a primeira concessão, independentemente de solicitação formal do interessado.

Parágrafo único. A cada 03 (três) anos, no período compreendido no caput do art. 8.º desta Lei, o beneficiário do desconto deverá protocolar novo pedido relacionado ao desconto obtido anteriormente, encaminhando a documentação

necessária, ocasião em que a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA) analisará e/ou vistoriará o imóvel para aferir se as condições que foram objeto da concessão do desconto ainda se mantêm, fazendo jus o beneficiário na renovação do desconto por mais três exercícios financeiros. (NR)

Art. 12 - O benefício será extinto quando:

I - o proprietário do imóvel inutilizar e/ou deixar de atender de forma eficiente à medida que levou à concessão do desconto;

II - o interessado não fornecer as informações solicitadas pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente.

§ 1.º O contribuinte deverá informar à Administração Municipal qualquer alteração no imóvel capaz de inutilizar a medida que levou à concessão do benefício.

§ 2.º Uma vez constatada a alteração no sistema que venha inutilizar ou prejudicar seu funcionamento, sem a devida comunicação à Administração Municipal, além de decretar a imediata extinção do benefício concedido, imporá ao contribuinte pela Fiscalização da Secretaria de Fazenda, multa no valor equivalente ao valor integral do IPTU do ano da constatação da irregularidade incidente sobre o imóvel. (NR)

Art. 13 - A presente Lei atende à compensação exigida pelo disposto no artigo 14 da Lei Complementar nº 101/2000 (Lei de Responsabilidade Fiscal).

Art. 14 - Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação, revogam-se as disposições em contrário.

Três Pontas, XX de XXXXXXXX de 2024.

ANEXO I

TABELA I

EXIGÊNCIAS TÉCNICAS MÍNIMAS DAS MEDIDAS ADOTADAS	PERCENTUAL
Imóveis residenciais com sistema de aquecimento hidráulico solar. Placas de captação de energia solar que sejam responsáveis pelo aquecimento da água da residência	2%
Potencialização da utilização de energia passiva: edificações que possuam projeto arquitetônico onde seja especificado dentro do mesmo, as contribuições efetivas (listagem de sistemas utilizados no imóvel) para a economia da energia elétrica, decorrentes da potencialização do uso de recursos naturais, como vento e luz solar, consequentemente reduzindo a utilização de aparelhos mecânicos de climatização; laudo técnico contendo ART do serviço desempenhado; descrição das soluções aplicadas, com justificativa	2%
Para imóveis residenciais (exclusivo para condomínios horizontais ou prédio): Imóveis residenciais com programa de separação e resíduos sólidos. Condomínios ou prédios com mais de seis unidades que forneçam a infraestrutura básica, havendo um local específico, interno ao condomínio, destinado a triagem e armazenamento, com lixeiras e/ou contêineres devidamente identificados, voltados à separação dos resíduos recicláveis e resíduos não recicláveis (orgânicos) produzidos pelos condôminos	3%
Imóveis residenciais que participem da coleta seletiva de resíduos sólidos: para validar a participação em programas de coleta seletiva, é necessário apresentar um comprovante emitido pela SMMA, acompanhado por um documento	

fornecido pela ATREMAR, que confirma a participação do imóvel no programa. Adicionalmente, devem ser fornecidas pelo menos duas fotografias coloridas, que devem ser datadas e conter legendas. Estas fotos devem exibir claramente o material reciclável preparado para coleta e as legendas precisam incluir as coordenadas geográficas exatas dos locais onde as fotos foram tiradas. Importante observar que as datas em que as fotos foram tiradas correspondam aos dias de passagem do caminhão da ATREMAR pela residência, garantindo assim a veracidade das informações apresentadas	3%
Sistema ecológico de tratamento de esgoto: estrutura onde ocorre o processo de biometanação, envolvendo a conversão anaeróbica de biomassa em metano, tal como a fossa ecológica	3%
Construções com material sustentável: utilização de ao menos 03 (três) materiais sustentáveis (madeiras certificadas, madeira de demolição, tijolo ecológico, telhas ecológicas, materiais provenientes de reciclagem, entre outros) em sua estrutura, que atenuem os impactos ambientais, desde que comprovados em laudo técnico	4%
Imóveis com calçadas permeáveis e/ou com arborização compatível: projeto executivo em conformidade com as diretrizes da ABNT NBR 16.416, sempre que aplicável; laudo técnico elaborado por engenheiro, atestando e justificando que o imóvel dispõe de calçada permeável e/ou ecológica, com a devida anotação de responsabilidade técnica – ART ou equivalente	5%
Imóveis residenciais que possuam pelo menos 20% de sua área interna permeável: Laudo técnico elaborado por engenheiro, atestando e justificando que o imóvel dispõe de área interna permeável, constando, inclusive, a metragem total do imóvel e a metragem total da área permeável interna, com a	6%

devida anotação de responsabilidade técnica – ART ou equivalente	
Imóveis residenciais com sistema de captação de água da chuva: O sistema deverá possuir tubos de condução de água; a caixa d'água deverá ter a capacidade mínima de 2.000 litros para imóveis de até 1.000m², e capacidade mínima de 5.000 litros para imóveis maiores que 1.000m², ser tampada, e funcionar integrada ao sistema hidráulico da casa	6%
Imóveis residenciais com LIDs: laudo técnico elaborado por engenheiro, devidamente habilitado, assegurando que pelo menos 60% das águas pluviais incidentes sejam infiltradas dentro dos limites do imóvel, com a devida anotação de responsabilidade técnica – ART ou equivalente	8%
Para imóveis territoriais sem edificação (terreno): Imóveis territoriais sem a presença de espécies exóticas e com cultivo às espécies arbóreas nativas. Terrenos sem a presença de espécies exóticas, e que cultivem 20% ou mais com espécies nativas plantadas de cobertura com superfície vegetal	8%
Sistema de utilização de energia eólica. Deverá captar vento, através de moinhos ou cataventos, para produção de pelo menos 20% da energia elétrica da residência	9%
Imóveis residenciais com sistema elétrico solar. Deverá estar integrado ao sistema elétrico da residência. Além disso, o sistema solar deve ser responsável por, no mínimo, 20% do consumo total de energia elétrica da residência.	9%

ANEXO II

SOLICITAÇÃO INDIVIDUAL PARA A INCLUSÃO NO PROGRAMA DE INCENTIVO À SUSTENTABILIDADE URBANA À SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE (SMMA)

Eu,_____, portador da cédula de identidade nº_____CPF nº_____, legítimo proprietário/responsável legal pelo imóvel localizado no endereço _____ _____, cadastro imobiliário nº _____, telefone para contato nº(___)_____, venho por meio deste, solicitar a inclusão do imóvel acima referido no Programa de Incentivo à Sustentabilidade Urbana - IPTU Verde do Município de Três Pontas, Minas Gerais.

Seguindo as exigências da legislação, concluo o enquadramento nas seguintes medidas para obtenção de desconto do IPTU:

( ) Sistema de captação e reúso de águas pluviais;

( ) Sistema de aquecimento hidráulico solar;

( ) Imóveis com sistema de aquecimento elétrico solar;

( ) Construções com material sustentável;

( ) Utilização de energia passiva;

( ) Imóveis com sistema de utilização de energia eólica;

( ) Imóveis territoriais sem edificação (terreno) sem a presença de espécies exóticas e com cultivo às espécies arbóreas nativas;

( ) Imóveis residenciais (exclusivo para condomínios horizontais ou prédios) com programa de separação de resíduos sólidos;

( ) Imóveis residenciais participantes da coleta seletiva de resíduos sólidos, com comprovação de destinação à reciclagem e/ou ao reaproveitamento;

( ) Imóveis residenciais com sistema ecológico de tratamento de esgoto, onde não houver rede coletora de esgoto municipal;

( ) Imóveis residenciais com calçadas permeáveis e/ou ecológicas e/ou com arborização compatível com o Plano Municipal de Arborização Urbana ou outro que venha a substituí-lo;

( ) Imóveis residenciais que possuam pelo menos 20% de sua área interna coberta por vegetação e materiais permeáveis;

( ) Imóveis com adoção de práticas de LIDs, assegurando que pelo menos 60% das águas pluviais incidentes sejam infiltradas dentro dos limites do imóvel.

Informo que possuo ciência quanto à necessidade de apresentação dos documentos comprobatórios da existência das medidas acima assinaladas, indispensáveis para a realização da análise, os quais seguem em anexo ao presente requerimento.

Três Pontas, _____ de _____ de _____.

_____

Assinatura

ANEXO III

SOLICITAÇÃO PARA CONDOMÍNIO PARA A INCLUSÃO NO PROGRAMA DE INCENTIVO À SUSTENTABILIDADE URBANA À SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE (SMMA)

Eu,_____, portador da cédula de identidade nº_____CPF nº_____, síndico/responsável legal pelo condomínio localizado no endereço _____ _____, cadastro imobiliário nº _____, telefone para contato nº(___)_____, conforme Ata de Assembleia Condominial anexa, venho por meio deste, solicitar a inclusão das unidades autônomas do referido Condomínio no Programa de Incentivo à Sustentabilidade Urbana - IPTU Verde do Município de Três Pontas, Minas Gerais.

Seguindo as exigências da legislação, concluo o enquadramento nas seguintes medidas para obtenção de desconto do IPTU:

( ) Sistema de captação e reúso de águas pluviais;

( ) Sistema de aquecimento hidráulico solar;

( ) Imóveis com sistema de aquecimento elétrico solar;

( ) Construções com material sustentável;

( ) Utilização de energia passiva;

( ) Imóveis com sistema de utilização de energia eólica;

( ) Imóveis territoriais sem edificação (terreno) sem a presença de espécies exóticas e com cultivo às espécies arbóreas nativas;

( ) Imóveis residenciais (exclusivo para condomínios horizontais ou prédios) com programa de separação de resíduos sólidos;

( ) Imóveis residenciais participantes da coleta seletiva de resíduos sólidos, com comprovação de destinação à reciclagem e/ou ao reaproveitamento;

( ) Imóveis residenciais com sistema ecológico de tratamento de esgoto, onde não houver rede coletora de esgoto municipal;

( ) Imóveis residenciais com calçadas permeáveis e/ou ecológicas e/ou com arborização compatível com o Plano Municipal de Arborização Urbana ou outro que venha a substituí-lo;

( ) Imóveis residenciais que possuam pelo menos 20% de sua área interna coberta por vegetação e materiais permeáveis;

( ) Imóveis com adoção de práticas de LIDs, assegurando que pelo menos 60% das águas pluviais incidentes sejam infiltradas dentro dos limites do imóvel.

Informo que possuo ciência quanto à necessidade de apresentação dos documentos comprobatórios da existência das medidas acima assinaladas, indispensáveis para a realização da análise, os quais seguem em anexo ao presente requerimento.

Três Pontas, _____ de _____ de _____.

_____

Assinatura