



# PDDU-GYN

Plano Diretor de Drenagem  
Urbana de Goiânia

**PREFEITURA MUNICIPAL DE GOIÂNIA**  
**SECRETARIA MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA URBANA**  
**PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA DE GOIÂNIA**

**PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA DE GOIÂNIA – PDDU GYN**  
**PROGNÓSTICO**

**RELATÓRIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO BARREIRO**

**GOIÂNIA**

**2025**

## **PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA DE GOIÂNIA**

PREFEITO DE GOIÂNIA  
**Sandro Mabel**

SECRETÁRIO MUNICIPAL DE GOVERNO  
**Sabrina Garcez Henrique Silva**

SECRETÁRIO MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA URBANA - SEINFRA  
**Francisco Elísio Lacerda**

PRESIDENTE DA AGÊNCIA DE REGULAÇÃO - AR  
**Hudson Rodrigues Novais**

### **COORDENAÇÃO - PREFEITURA DE GOIÂNIA**

Bruno Araujo da Silva  
**Engenheiro Civil, Gestor e Fiscal do Convênio 001/2023 - SEINFRA**

Ludmilla Fernandes de Oliveira  
**Diretora de Políticas e Programação de Obras Públicas – SEINFRA**

Karla Kristina Silva Cavalcante Bernardo  
**Diretora da Agência de Regulação de Goiânia - AR**

## **CONSELHO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO - CMSB**

Hudson Rodrigues Novais - Titular  
Augusto Fernandes Carvalho - Suplente  
**Agência de Regulação de Goiânia - AR**

Denes Pereira Alves - Titular  
Saulo Garcês de Araújo - Suplente  
**Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana – SEINFRA**

Francisco das Chagas Magalhães Sobrinho - Titular  
Patrícia Guimarães de Queiroz - Suplente  
**Secretaria Municipal de Planejamento Urbano e Habitação - SEPLANH**

Guilherme Martins de Araújo - Titular  
Nadim Neme Neto - Suplente  
**Agência Municipal do Meio Ambiente – AMMA**

Juliana Brasiel da Silva - Titular  
Camilla Benevides Freitas - Suplente  
**Secretaria Municipal de Saúde - SMS**

Amanda Rityelly Gomes Arruda Silva - Titular  
Iracema Nogueira de Souza Neta - Suplente  
**Secretaria Municipal de Governo**

Diogo de Sá Rodrigues - Titular  
Márcia Daniela Alves de Souza Neris - Suplente  
**Secretaria Municipal de Finanças - SEFIN**

Vereadora Sabrina Garcez Henrique Silva - Titular  
Vereador João Ferreira Guimarães - Suplente  
**Poder Legislativo Municipal**

Karla Emmanuela Ribeiro Hora - Titular  
Eraldo Henriques de Carvalho - Suplente  
**Universidade Federal de Goiás – UFG**

Gisele Carneiro da Silva Teixeira - Titular  
**Universidade Estadual de Goiás – UEG**

Marlon André Capanema - Titular  
Rosana Gonçalves Barros - Suplente  
**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG**

Áquila Silva Levindo - Titular  
Roberto Viana Filho - Suplente  
**Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Goiás – CREA/GO**

## **EQUIPE TÉCNICA FUNAPE/UFG**

### **Professores**

**Elaine Reis – Aerofotogrametria**

(Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG)

**Hugo José Ribeiro – Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

**João Cortes – Coordenador de topografia**

(Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG)

**Juliana Dorn Nobrega – Modelagem Hidráulica**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

**Jussanã Milograna – Análise da drenagem e medidas compensatórias**

(Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG)

**Karla Maria – Análises e prognósticos dos processos erosivos**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

**Klebber Teodomiro Martins Formiga - Coordenador Geral do PDDU-GYN**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

**Lutiana Casaroli – Coordenadora de comunicação e mobilização social**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

**Maurício Sales – Análises e prognósticos dos processos erosivos**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

**Natã Silva – Designer**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

**Noely Ribeiro – Coordenadora de cadastro de microdrenagem**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

**Nilson Clementino Ferreira – Coordenador de levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

**Raviel Eurico Basso - Coordenador de modelagem hidrológica e hidráulica**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

**Thiago Augusto Mendes – Coordenador de meio ambiente, processos erosivos e qualidade da água**

(Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG)

Versanna Carvalho – **Jornalista**  
(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Wellington Nunes – **Levantamento de campo e processamento de dados**  
(Universidade Federal de Goiás – UFG)

### **Bolsistas**

Ana Paula Camargo de Vicente – **Análise de Custos**  
(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Andriane de Melo Rodrigues – **Levantamento de campo e processamento de dados**  
(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Caio Rabelo – **Relações públicas**  
(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Elizeo Miguel Hamu Dias – **Webdesigner**  
(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Guilherme da Cruz dos Reis – **Batimetria**  
(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Gustavo Rodrigues de Oliveira Abreu – **Alagamento e erosões**  
(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Kamila Almeida dos Santos – **Modelagem hidrológica**  
(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Pedro Augusto Gonzaga – **Impacto nos sistemas de drenagem e levantamento/diagnostico dos pontos erosivos**  
(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Tatiane Souza Rodrigues Pereira – **Levantamento de campo e processamento de dados**  
(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Tomás da Rosa Simões – **Batimetria**  
(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Thiago Pires de Carvalho – **Análises especiais**  
(Universidade Federal de Goiás – UFG)

## Estagiários

Ana Carolinne Cesário Reis – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Ana Clara Pereira da Silva – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG)

Ana Livia Gonçalves de Paula Silva – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Ana Paula Neves Santos – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Bruna Araújo Cardoso – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Bruna Ferreira Gomes – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Caio Lopes Rabelo – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Cristiana Ribeiro Argenta – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Dalcino Humberto das Dores Junior Silva – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG)

Ezron de Andrade Vieira – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG)

Fabiane Rebelo - **Comunicação**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Felipe Queiroz de Mello Andrade – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Gabriela Alves e Castro – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG)

Gabriela Souza de Oliveira – **Relações pública**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Iara Daniel Matias Damascena – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Isadora de Farias Guimarães – **Relações pública**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Ismael Torres Guedes – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Iulliane Garcia – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG)

João Pedro Caetano Borges – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Josael Neves Mariano – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG)

Julliana Gomes Martins – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Kamila Marçal Silva – **Relações pública**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Larissa Rodrigues Pereira – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Laudier Lopes Abreu – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG)

Leonardo Ribeiro Ferreira – **Legislação**

(Universidade de Brasília – UNB)



Leticia Longanezi Bento – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Misma Marques Martins – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG)

Mel Martins Vaz – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Natasha de Lima Dias Conceição – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Nayza Pereira dos Santos – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG)

Nicolle Silva Oliveira – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Pedro Lucas Cidade de Figueiredo - **Comunicação**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Pollyana Evangelista Silva – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Rosana Silva de Jesus – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG)

Sarah Caetano dos Santos – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Vitória Soares Pereira – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Wellington Batista de Abreu – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)

Yasmin Cavalcante da Silva – **Levantamento de campo e processamento de dados**

(Universidade Federal de Goiás – UFG)



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Técnicas compensatórias (Fonte: Baptista et al., 2005).....	25
Figura 2 - Exemplos de flood proofing (adaptado de UNESCO, 1995 apud Andjelkovic, 2001). ....	30
Figura 3 - Esquema de funcionamento de vala de retenção (adaptado de Azzout et al., 1994). ....	34
Figura 4 - Esquema de funcionamento de vala de infiltração (adaptado de Azzout et al., 1994). ....	35
Figura 5 - Vala de infiltração (Certu, 1998). ....	35
Figura 6 - Plano e valeta de infiltração (CETE du Sud-Ouest, 2002 apud Milograna, 2009). ....	35
Figura 7 - Esquema simplificado da evacuação de trincheiras de infiltração e retenção .....	36
Figura 8 - Princípio de funcionamento dos pavimentos permeáveis (Moura, 2004)..	37
Figura 9 - Esquema de funcionamento de um telhado armazenador (GVSD, 2004 apud Milograna, 2009). ....	38
Figura 10 - Bacia de retenção seca em concreto (Moura, 2004).....	40
Figura 11 - Bacia de retenção (Pompêo, 1998).....	40
Figura 12 - Fotografia de canal revestido (Moura, 2004). ....	41
Figura 13 – Esquema de funcionamento de parques lineares (Fonte: Fundação Grupo Boticário/Thiago Oliveira Basso). ....	47
Figura 14 – Esquema de montagem e funcionamento de um jardim de chuva (Fonte: Fundação Grupo Boticário/Thiago Oliveira Basso). ....	48
Figura 15 – Jardim de chuva no Parque Lagoa do Nado, em Belo Horizonte (Fonte: WRI Brasil/ Nereu Jr). ....	48
Figura 16 – Jardins de chuva em São Paulo (Fonte: Prefeitura de São Paulo). ....	49
Figura 17 – Modelo esquemático de poço de infiltração avaliado na Universidade Federal de Goiás/Goiânia-GO (Fonte: Reis, Oliveira e Sales, 2008). ....	49
Figura 18 – Trincheira de Infiltração em área urbana (Fonte: California Stormwater Quality Association, 2003).....	50
Figura 19 – Serviços ambientais proporcionados pelas SbNs (Serra e Comassetto, 2023). ....	51

Figura 20 – Esquema de funcionamento de restauração do entorno de mananciais (Fonte: Fundação Grupo Boticário/Thiago Oliveira Basso). .....	53
Figura 21 – Esquema de funcionamento de parques e praças multifuncionais (Fonte: Fundação Grupo Boticário/Thiago Oliveira Basso). .....	53
Figura 22 – Praça Conceito Consciente – Goiânia/GO (Fonte: Consciente Construtora e Incorporadora, 2012). .....	54
Figura 23 – Jardins de Chuva – São Paulo/SP (Fonte: Prefeitura de São Paulo, 2023). .....	54
Figura 24 – Jardim de Chuva – Goiânia/GO (Fonte: WRI Brasil, 2020). .....	55
Figura 25 – Esquema de montagem e funcionamento de um jardim filtrante (Fonte: Fundação Grupo Boticário/Thiago Oliveira Basso). .....	56
Figura 26 – Wetland (Fonte: Wetlands Construídos LTDA, 2023). .....	56
Figura 27 – Wetland da Estação Cidade Jardim - São Paulo/SP (Fonte: Construtora Coroados, S/D). .....	57
Figura 28 – Muro de suporte vivo em madeira tipo Cribwall (Fonte: Guajava. Adaptado de Helgard Z., 2007). .....	59
Figura 29 – Muro de suporte vivo em madeira tipo Cribwall (Fonte: Ecosalix). .....	59
Figura 30 - Muro de Suporte Vivo em Margens Fluviais (Fonte: Guajava. Adaptado de Helgard Z., 2007). .....	60
Figura 31 – Muro de Suporte Vivo em Margens Fluviais (Fonte: Ecosalix). .....	60
Figura 32 – Grade Viva (Fonte: Guajava, 2023 apud Sandre et al., 2024). .....	61
Figura 33 – Grade Viva (Fonte: Ecosalix). .....	62
Figura 34 – Solo Grampeado Verde (Fonte: Guajava, 2023 apud Sandre et al., 2024). .....	63
Figura 35 - Contenção superficial em Geocélulas (Fonte: Guajava, 2023 apud Sandre et al., 2024). .....	64
Figura 36 - Contenção estrutural em Geocélulas (Fonte: Guajava, 2023 apud Sandre et al., 2024) .....	64
Figura 37 – Aptidão de alguns elementos utilizados nas SbNs (Fonte: Sandre et al., 2024). .....	65
Figura 38 – Sub-bacias hidrográficas e locais das obras de arte no córrego Barreiro, Goiânia – GO. ....	78

Figura 39 - Cenários da expansão urbana da bacia hidrográfica do córrego Barreiro, Goiânia – GO. ....	79
Figura 40 – Detalhamento da discretização do córrego Barreiro. ....	82
Figura 41 – Perfil longitudinal da cota d'água no BAR_00 – expansão urbana de 30 anos e TR 50 anos, sem drenagem na fonte. ....	84
Figura 42 – Perfil longitudinal da cota d'água no BAR_01 – expansão urbana de 30 anos e TR 50 anos, com drenagem na fonte. ....	85
Figura 43 – Mancha de inundação simulada para o córrego Barreiro para a expansão urbana de 30 anos e TR 50 anos, sem drenagem na fonte. ....	86
Figura 44 – Mancha de inundação simulada para o córrego Barreiro para a expansão urbana de 30 anos e TR 50 anos, com drenagem na fonte. ....	87
Figura 45 - Planície de inundação para uma expansão de 30 anos sem drenagem na fonte e amortecimento no sistema de macrodrenagem. ....	92
Figura 46 - Planície de inundação para uma expansão de 30 anos com drenagem na fonte e amortecimento no sistema de macrodrenagem. ....	93
Figura 47 - Região do Córrego Barreiro com os Córregos principais córregos que compõem.....	95
Figura 48 - Região do Córrego Barreiro com os Córregos principais córregos que compõem.....	96
Figura 49 - Localização da Estrutura 1 - Alteração da travessia do Córrego Barreiro na Rua R-102 (BAR_00_01). ....	96
Figura 50 – Áreas livres próximas aos pontos de alagamentos decorrentes da microdrenagem propostas bacia hidrográfica do córrego Barreiro (Ponto 1). ....	106
Figura 51 – Distribuição espacial dos dutos da rede de microdrenagem e o potencial de acumulação hídrica. ....	108
Figura 52 - Mapa de interferência da bacia do córrego Barreiro. ....	117

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de atividades no gerenciamento da planície de inundação (adaptado de Bourget, 2001).....	26
Tabela 2 - Soluções para o gerenciamento do uso do solo (Andjelkovic, 2001). ....	28
Tabela 3 - Vocação e possibilidades das técnicas (Baptista et al., 2005). ....	45
Tabela 4 - Importância relativa de restrições à implantação e operação das técnicas .....	69
Tabela 5 – Lista de critérios seletivos (Azzout et al., 1995 e Barraud et al., 1999). ..	70
Tabela 6 - Vantagens e inconvenientes das medidas compensatórias. ....	71
Tabela 7 – Características necessárias à inserção das técnicas compensatórias ....	75
Tabela 8 – Expansão urbana para as sub-bacias hidrográficas do córrego Barreiro, Goiânia – GO. ....	80
Tabela 9 – Coeficiente de escoamento da Curva Número para as sub-bacias hidrográficas do córrego Barreiro, Goiânia – GO. ....	81
Tabela 10 – Capacidade hidráulica e vazões máximas das obras de arte simuladas no córrego Barreiro, Goiânia – GO.....	88
Tabela 11 – Volume de armazenamento (sem drenagem na fonte) e custos das obras a serem implantadas no córrego Barreiro, Goiânia – GO. ....	89
Tabela 12 – Volume de armazenamento (com drenagem na fonte) e custos das obras a serem implantadas no córrego Barreiro, Goiânia – GO. ....	90
Tabela 13 – Classificação medidas estruturais. ....	105
Tabela 14 – Identificação das áreas livres propostas para implantação de medidas estruturais.....	107
Tabela 15 – Identificação das áreas livres propostas para implantação de medidas estruturais.....	107
Tabela 16 – Resumo dos custos para recuperação das margens do córrego Barreiro. ....	113
Tabela 17 - Valores do indicador por intervalo de tempo. ....	127
Tabela 18 - Considerações gerais sobre os usos possíveis das medidas de controle de inundações e valores de IS7 correspondentes por bacia. ....	140
Tabela 19 - Ações previstas para a composição do indicador. ....	144

Tabela 20 - Valores adotados para as ações previstas na composição do indicador.	144
Tabela 21 - Valores adotados para as margens preservadas de trechos do curso d'água em relação à mancha de inundação.	149
Tabela 22 – Normalização do indicador ID3.	153

MINUTA

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>MEDIDAS PARA CONTROLE DE INUNDAÇÕES URBANAS .....</b>	<b>20</b>
2.1	SISTEMAS ALTERNATIVOS E SUA EVOLUÇÃO .....	20
2.2	TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS: TIPOS, VANTAGENS, DESVANTAGENS E UTILIZAÇÃO .....	23
<b>2.2.1</b>	<b>Técnicas Não-Estruturais.....</b>	<b>25</b>
2.2.1.1	Gerenciamento de desastres .....	26
2.2.1.2	Previsão e alerta de cheia.....	27
2.2.1.3	Políticas de desenvolvimento e uso do solo e Plano de zoneamento e uso do solo .....	27
2.2.1.4	Realocação .....	29
2.2.1.5	Flood Proofing.....	29
2.2.1.6	Seguro contra inundação .....	30
2.2.1.7	Outras medidas não-estruturais.....	31
<b>2.2.2</b>	<b>Técnicas Estruturais.....</b>	<b>31</b>
2.2.2.1	Poços de infiltração.....	33
2.2.2.2	Valas, valetas e planos de retenção e infiltração .....	34
2.2.2.3	Trincheiras de infiltração e retenção .....	36
2.2.2.4	Pavimentos permeáveis com estrutura de retenção e infiltração .....	36
2.2.2.5	Telhados armazenadores .....	38
2.2.2.6	Bacias de retenção e retenção.....	39
2.2.2.7	Diques.....	40
2.2.2.8	Canais de desvio .....	41
2.2.2.9	Aumento na eficiência do escoamento .....	41
2.3	ANÁLISE DA VIABILIDADE DAS TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS ESTRUTURAIS.....	42
2.4	INFRAESTRUTURA VERDE E AZUL .....	45
<b>2.4.1</b>	<b>Vegetação .....</b>	<b>46</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Parques lineares .....</b>	<b>47</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Jardins de chuva.....</b>	<b>47</b>



<b>2.4.4</b>	<b>Poços de infiltração, trincheiras de infiltração e retenção, valas e valetas de retenção e infiltração (biovaletas) .....</b>	<b>49</b>
<b>2.5</b>	<b>SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA (SBN) .....</b>	<b>50</b>
<b>2.5.1</b>	<b>Tipologias usadas nas SBNs .....</b>	<b>51</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Restauração no entorno de mananciais .....</b>	<b>52</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Parques e praças multifuncionais .....</b>	<b>53</b>
<b>2.5.4</b>	<b>Canteiro pluvial .....</b>	<b>54</b>
<b>2.5.5</b>	<b>Alagados construídos (wetlands construídos) para tratamento de efluentes (jardins filtrantes) .....</b>	<b>55</b>
<b>2.5.6</b>	<b>Recuperação de rios e córregos .....</b>	<b>57</b>
<b>2.5.7</b>	<b>Restauração de encostas e contenção de taludes e margens de córregos e rios .....</b>	<b>57</b>
<b>2.5.7.1</b>	Muro de Suporte Vivo em Madeira Tipo Cribwall .....	58
<b>2.5.7.2</b>	Muro de Suporte Vivo em Margens Fluviais .....	59
<b>2.5.7.3</b>	Grade Viva .....	61
<b>2.5.7.4</b>	Solo Grampeado Verde .....	62
<b>2.5.7.5</b>	Contenção em Geocélulas .....	63
<b>2.6</b>	<b>CRITÉRIOS DE ESCOLHA DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS .....</b>	<b>69</b>
<b>3</b>	<b>PROJEÇÃO DE OBRAS NECESSÁRIAS E ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA POR BACIA HIDROGRÁFICA .....</b>	<b>76</b>
<b>3.1</b>	<b>MODELO HIDROLÓGICO .....</b>	<b>77</b>
<b>3.2</b>	<b>MODELO HIDRÁULICO .....</b>	<b>82</b>
<b>3.3</b>	<b>DETALHAMENTO DAS ESTRUTURAS .....</b>	<b>94</b>
<b>3.4</b>	<b>PONTOS DE ALAGAMENTOS E EROSÕES .....</b>	<b>97</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Base metodológica do levantamento e cadastro dos pontos de alagamentos .....</b>	<b>97</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Base metodológica do levantamento e cadastro dos pontos de erosões .....</b>	<b>99</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Pontos de alagamentos e erosões na bacia hidrográfica do córrego Barreiro .....</b>	<b>104</b>
<b>3.4.3.1</b>	Medidas estruturais (Pontos de alagamentos) .....	104
<b>3.4.3.2</b>	Medidas não estruturais (Pontos de alagamentos) .....	109
<b>3.3.3.2.1</b>	<b>Educação Ambiental .....</b>	<b>109</b>



<b>3.3.3.2.2</b>	<b><i>Manutenção de dispositivos de infiltração nas vias</i></b>	<b>110</b>
<b>3.3.3.2.3</b>	<b><i>Controle de conexão ilegal de esgoto</i></b>	<b>111</b>
<b>3.4.3.3</b>	<b>Medidas estruturais (Erosões)</b>	<b>112</b>
<b>3.4.3.4</b>	<b>Medidas não estruturais (Erosões)</b>	<b>115</b>
<b>4</b>	<b>COMPATIBILIZAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS, ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO</b>	<b>117</b>
<b>5</b>	<b>FONTES DE RECURSOS E FINANCIAMENTOS</b>	<b>118</b>
<b>5.1</b>	<b>PRINCIPAIS FONTES FINANCIADORAS DE SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA NO BRASIL</b>	<b>119</b>
<b>5.1.1</b>	<b>Bancos comerciais e de fomento nacionais (TONETO JR e CICOGNA, 2021)</b>	<b>119</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Mercado de capitais</b>	<b>121</b>
<b>5.1.3</b>	<b>Emendas Parlamentares</b>	<b>121</b>
<b>5.2</b>	<b>BANCO DE FOMENTO INTERNACIONAL: BID</b>	<b>122</b>
<b>5.3</b>	<b>COBRANÇA PELOS SERVIÇOS DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS</b>	<b>122</b>
<b>6</b>	<b>INDICADORES PARA ANÁLISE/AVALIAÇÃO DA PRESTAÇÃO DOS SERVIÇOS DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS, LIMPEZA E FISCALIZAÇÃO</b>	<b>124</b>
<b>6.1</b>	<b>CRITÉRIOS ADOTADOS PARA ELABORAÇÃO DOS INDICADORES</b>	<b>125</b>
<b>6.2</b>	<b>INDICADORES DE GESTÃO</b>	<b>126</b>
<b>6.2.1</b>	<b>(IG1) Capacidade do órgão gestor na continuidade das ações</b>	<b>126</b>
<b>6.2.2</b>	<b>(IG2) Capacitação técnica de pessoal</b>	<b>127</b>
<b>6.2.3</b>	<b>(IG3) Atualização do cadastro da rede de drenagem existente</b>	<b>128</b>
<b>6.2.3.1</b>	<b>(IG3) Qual a periodicidade de atualização do cadastro?</b>	<b>128</b>
<b>6.2.4</b>	<b>(IG4 e IG5) Manutenção preventiva</b>	<b>128</b>
<b>6.2.4.1</b>	<b>(IG4) A manutenção preventiva é realizada conforme plano de controle de manutenção?</b>	<b>129</b>
<b>6.2.4.2</b>	<b>(IG5) Número de vezes por ano em que há previsão de limpeza de bocas de lobo conforme plano de manutenção</b>	<b>129</b>
<b>6.2.4.3</b>	<b>(IG6) Limpeza de Canais e Galerias</b>	<b>130</b>
<b>6.2.5</b>	<b>(IG7) Sistemas de previsão e alerta</b>	<b>130</b>

<b>6.2.6</b>	<b>(IG8) Legislação aplicada à drenagem .....</b>	<b>131</b>
6.2.6.1	(IG8) O município dispõe de legislação específica para drenagem urbana que considera o PDDU e suas atualizações? .....	131
6.2.6.2	(IG9) A legislação recomenda o uso de técnicas compensatórias para minimizar os impactos da urbanização sobre o escoamento nas parcelas individuais ou na microdrenagem? .....	132
<b>6.2.7</b>	<b>(IG10) Plano de contingência .....</b>	<b>132</b>
6.2.7.1	(IG10) O município possui Plano de Contingência atualizado? .....	132
<b>6.2.8</b>	<b>(IG11, IG12) Resposta à população .....</b>	<b>133</b>
6.3	INDICADORES DE VULNERABILIDADE .....	134
<b>6.3.1</b>	<b>Impactos sobre a sociedade .....</b>	<b>134</b>
6.3.1.1	(IS1) Impacto na mobilidade urbana .....	135
6.3.1.2	(IS2) Perdas de vidas .....	136
6.3.1.3	(IS3) Número de pessoas afetadas pela inundação/enxurrada .....	136
6.3.1.4	(IS4) Realocação da população .....	137
6.3.1.5	(IS5, IS6) População afetada e exposta ao desenvolvimento de enfermidades .....	138
6.3.1.6	(IS7) Criação e reabilitação de espaços de recreação, lazer e equipamentos urbanos .....	139
<b>6.3.2</b>	<b>Impactos sobre o meio .....</b>	<b>141</b>
6.3.2.1	(IM1) Porcentagem de área impermeável .....	141
6.3.2.2	(IM2) Alteração na morfologia fluvial .....	142
6.3.2.3	(IM3) Indicador de existência de erosões na bacia .....	145
6.4	INDICADORES DE DESEMPENHO .....	146
<b>6.4.1</b>	<b>(ID1) Cobertura da bacia por bocas de lobo .....</b>	<b>146</b>
<b>6.4.2</b>	<b>(ID2) Indicador de abrangência total da rede de microdrenagem ....</b>	<b>147</b>
<b>6.4.3</b>	<b>(ID3) Quantidade de pontos críticos de alagamento .....</b>	<b>147</b>
<b>6.4.4</b>	<b>(ID4) Indicador de manutenção de áreas verdes marginais .....</b>	<b>148</b>
<b>6.4.5</b>	<b>(ID5) Investimento em drenagem pluvial .....</b>	<b>149</b>
6.5	NORMALIZAÇÃO DOS INDICADORES .....	150
<b>6.5.1</b>	<b>Indicadores já normalizados .....</b>	<b>150</b>
<b>6.5.2</b>	<b>Normalização dos indicadores .....</b>	<b>150</b>

6.5.2.1	IS3 - Número de pessoas afetadas pela inundação/enxurrada normalizado .....	151
6.5.2.2	IS4 - Realocação da população normalizado.....	151
6.5.2.3	IS5 - População afetada e exposta ao desenvolvimento de enfermidades .....	151
6.5.2.4	IS6 - Indicador de enfermidades relacionadas às inundações.....	152
6.5.2.5	IM1 - Porcentagem de área impermeável .....	152
6.5.2.6	ID1 - Cobertura da bacia por bocas de lobo .....	152
6.5.2.7	ID3 - Quantidade de pontos críticos de alagamento .....	153
6.6	PONDERAÇÃO DOS INDICADORES .....	153
6.7	CÁLCULO DO ÍNDICE DE DESEMPENHO DO SISTEMA .....	155
7	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>156</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>160</b>
	<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>166</b>
	<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>185</b>
	<b>APÊNDICE C.....</b>	<b>204</b>
	<b>APÊNDICE D.....</b>	<b>223</b>
	<b>APÊNDICE E.....</b>	<b>242</b>
	<b>APÊNDICE F.....</b>	<b>244</b>
	<b>APÊNDICE G.....</b>	<b>246</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O presente documento é um relatório do produto Prognóstico dos Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais para a bacia hidrográfica do córrego Barreiro. Este relatório tem como objetivo principal identificar os principais desafios e oportunidades para a melhoria do sistema de drenagem (macrodrenagem) com gerenciamento adequado das ações estruturais, não estruturais nesta bacia hidrográfica bem como propor indicadores de fácil implementação para avaliar a situação do sistema de drenagem em Goiânia e em cada bacia do município.

O presente documento apresenta os resultados previstos no Termo de Referência, a serem utilizados nas etapas de elaboração do Plano Diretor de Drenagem Urbana do Município de Goiânia (item 9.3). Esses resultados incluem: Medidas estruturais, não estruturais e estratégias de implementação por Bacia Hidrográfica (9.3.1), Projeção de obras necessárias por Bacia Hidrográfica (9.3.2), Compatibilização entre os sistemas de Drenagem de Águas Pluviais, Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário (9.3.3), Estudo de viabilidade técnica e econômica por Bacia Hidrográfica (9.3.4), Fontes de recursos e financiamentos (9.3.5), Indicadores de desempenho para a prestação dos serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais, Limpeza e Fiscalização (9.3.6).

## **2 MEDIDAS PARA CONTROLE DE INUNDAÇÕES URBANAS**

### **2.1 SISTEMAS ALTERNATIVOS E SUA EVOLUÇÃO**

Os princípios norteadores dos sistemas de drenagem urbana tinham, até um passado recente, como premissa, a retirada rápida das águas pluviais da bacia, resquício do pensamento predominante no período higienista. Partindo desse pressuposto, os sistemas de drenagem urbana foram concebidos formando uma rede de dispositivos para coleta e transporte das águas pluviais da bacia hidrográfica até o seu local de deságue, compondo os sistemas clássicos de drenagem urbana.

O avanço da urbanização observado na segunda metade do século XX evidenciou os limites dos sistemas clássicos, com a transferência para jusante dos problemas de inundação, e a necessidade de se incorporar novas obras e dispositivos para o controle das inundações. Essa constatação deu lugar a novos modos de gestão das águas pluviais, nos quais o manejo destas é tratado em conjunto com o ordenamento urbano, gerando um conjunto de práticas denominadas tecnologias alternativas ou compensatórias com o objetivo de compensar os efeitos que o escoamento superficial causa ao ambiente existente (Baptista et al., 2005; CETE do Sud-Ouest, 2002 apud Milograna, 2009).

Esses novos conceitos se consolidaram de maneira definitiva no gerenciamento das águas pluviais urbanas no início dos anos 1980, e surgiram diferentes formas de enxergar o problema e soluções em diferentes países, embora o intuito, de modo geral, fosse o de garantir a segurança e a integridade física da sociedade e do meio ambiente.

Fletcher et al. (2014) fazem um apanhado da evolução dos conceitos aplicados às metodologias aplicadas na drenagem e controle das águas pluviais no ambiente urbano e na terminologia aplicada em cada caso. O texto que segue não tem a intenção de detalhar e nem ser exaustivo, mas apenas descrever de maneira sucinta onde surgiu e o pensamento dos estudiosos do momento da formulação dos conceitos adotados.

O termo Low Impact Development (LID) ou Urbanização de Baixo Impacto surgiu na América do Norte e Nova Zelândia adotando uma abordagem voltada para a natureza, a proteção de áreas de recarga de aquíferos e nascentes. Esse conceito evoluiu passando para alterações do desenho urbanístico local, com redução de áreas impermeáveis, chegando à abordagem das questões relativas à qualidade das águas.

Water Sensitive Urban Design (WSUDs, traduzido para o português como Projeto Urbano Sensível à Água) foi o conceito adotado para os dispositivos na Austrália nos anos 1990 com a intenção de melhorar a qualidade da água, proteger a vegetação ribeirinha e minimizar o transporte de poluentes da superfície para as águas subterrâneas. No contexto das águas pluviais, mais recentemente, as WSUDs surgiram como elementos de controle do escoamento e preocupação com a manutenção do ciclo hidrológico, melhoria da qualidade da água e o aproveitamento das águas pluviais para fins não potáveis.

O conceito das Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS, traduzido para o português como Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis) surgiu no Reino Unido no final dos anos 1980, e consiste em um conjunto de tecnologias e técnicas usadas para drenagem das águas pluviais de modo mais sustentável que os sistemas convencionais. Esses sistemas são baseados na filosofia de reproduzir, o mais próximo possível do natural, as condições de escoamento anteriores à ocupação, apoiados no tripé quantidade, qualidade e habitat. Essas tecnologias obtêm melhores resultados quando trabalham em conjunto.

As Best Management Practices (BMPs, denominada no Brasil como Melhores Práticas de Gestão) surgiram na América do Norte (Estados Unidos e Canadá), primeiramente com a ideia de prevenção contra a poluição em áreas de agricultura, e posteriormente esse conceito foi expandido para a gestão das águas urbanas. Na drenagem urbana, o termo teve seu foco direcionado ao tratamento de águas residuárias e o uso de medidas não estruturais. As BMPs são, então, definidas como as técnicas processos, atividades, ou estruturas para redução da poluição e dos volumes escoados. Estes elementos podem ser adotados de maneira isolada ou em conjunto de modo a garantir o máximo de eficiência no sistema. Para as águas pluviais, as BMPs usam as técnicas não-estruturais e estruturais (por exemplo,



convivência com inundação e legislação), com uso de técnicas estruturais (por exemplo, sistemas de biorretenção ou infraestrutura verde).

Alternative Techniques (ATs, traduzido para o português como Técnicas Alternativas) foi o termo utilizado na França no início dos anos 1980 para um novo paradigma da drenagem urbana em contraponto à tradicional rápida retirada das águas pluviais da superfície. O termo “alternative” vem contrapor os sistemas de drenagem convencionais adotados até então. No Brasil, o termo semelhante ao adotado na França se consolidou como as Técnicas Alternativas, no sentido de “alternativas” aos sistemas “convencionais”. Essas técnicas consideravam a compensação dos efeitos da urbanização e do aumento de áreas impermeáveis com a redução das vazões de pico e dos volumes escoados, dessa maneira reduzindo a vulnerabilidade das áreas urbanas às inundações e protegendo a qualidade ambiental. Assim, o processo de ocupação urbana estaria atrelado à gestão do escoamento gerado e pelo uso do conjunto de técnicas disponíveis (detenção, retenção, infiltração, controle na fonte, etc.), e corredores multifuncionais para gestão de águas pluviais.

Em resumo, na descrição das finalidades e características dos elementos de cada um dos sistemas listados serão encontradas muitas semelhanças em relação à concepção de dispositivos e seus funcionamentos. A maior parte dos sistemas possuem sistemas planejados para aprimorar as condições ambientais, sempre que possível, incentivando a infiltração, reduzindo volumes escoados, incentivando o uso de infraestruturas verdes, etc. Alguns dispositivos aparecem em mais de um dos sistemas listados.

No texto a seguir são apresentados conjuntos dispositivos e técnicas compensatórias, que podem ser utilizadas para controle do escoamento, suas características e limitações. Trata-se de um assunto em constante atualização e desenvolvimento, portanto, as referências citadas, são fontes interessantes para o aprofundamento e mais informações.



## 2.2 TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS: TIPOS, VANTAGENS, DESVANTAGENS E UTILIZAÇÃO

A descrição das técnicas compensatórias ou medidas compensatórias do texto em sequência é um extrato complementado do material elaborado por Milograna (2009).

Dentre as vantagens da utilização de medidas compensatórias, Nascimento *et al.* (1997) e Urbonas e Stahre (1993) destacam:

- A diminuição do risco de inundação e a contribuição para a melhoria da qualidade da água no meio urbano;
- A redução ou eventual eliminação da rede de microdrenagem;
- A minimização das intervenções a jusante de novas áreas loteadas, quando a rede de drenagem pré-existente se encontra saturada;
- Integração com o urbanismo e possibilidade de valorização da água em meio urbano;
- Recarga de aquíferos;
- Redução da poluição transportada para os corpos receptores.

O contexto do controle de inundações em área urbana abrange as ações a serem tomadas antes, durante e após a cheia. Dessa forma, o planejamento deve prever ações ao longo de todo o processo com a utilização das técnicas compensatórias, isoladas ou em conjunto, em todos os níveis operacionais para o controle de inundações e o combate à crise. Kundzewicz (2001) classifica as estratégias de proteção e gerenciamento das inundações em três níveis de atuação, quais sejam:

- Aquelas que modificam a susceptibilidade aos danos de inundações: corresponde às ações tomadas antes da cheia (legislação, planejamento do uso do solo, zoneamento);
- Aquelas que modificam o regime das cheias: instalação de medidas de defesa

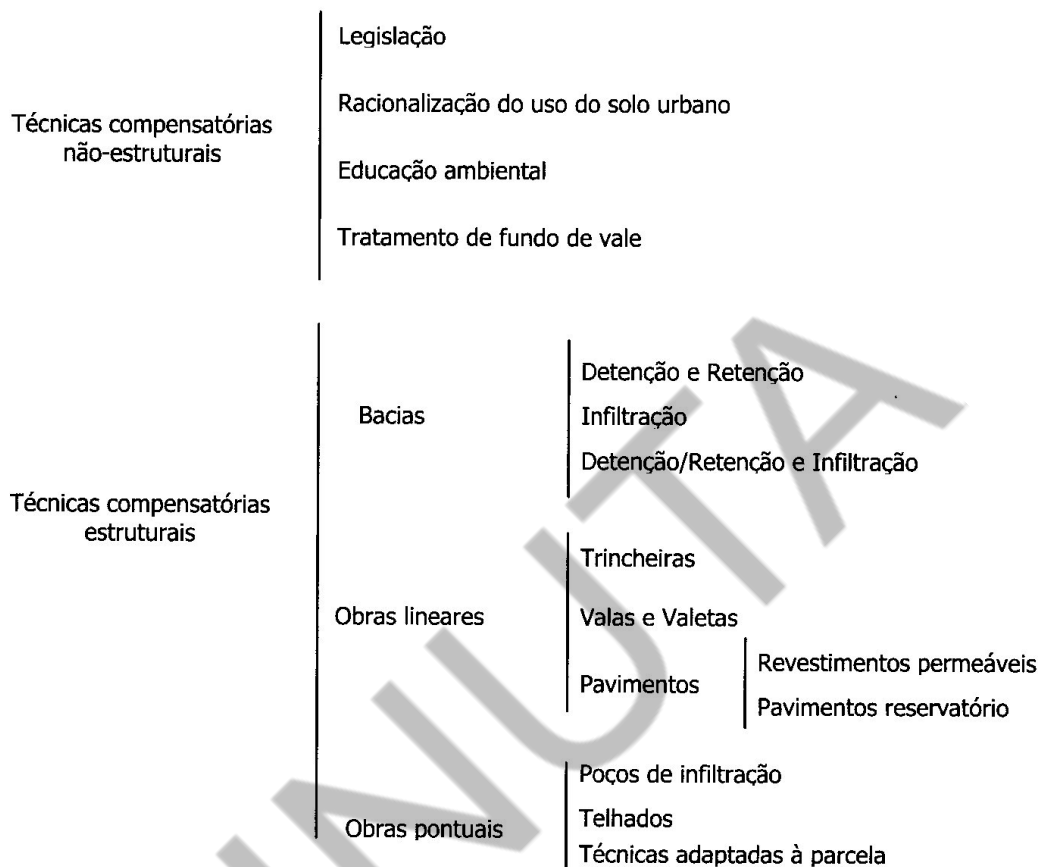
tais como barragens e diques, reservatórios, aumento da capacidade de escoamento de canais, controle na fonte, etc.;

- Aquelas que modificam o impacto das inundações: correspondem às ações executadas durante e após as inundações, tais como determinação da probabilidade de formação da cheia, prognóstico do estágio futuro do rio e do fluxo dele, emissão de avisos apropriados para as autoridades e para o público, etc.

As soluções alternativas podem ser classificadas, segundo Nascimento *et al.* (1997), de acordo com a sua ação sobre os processos hidrológicos e segundo sua localização no espaço. Sobre os processos hidrológicos, as medidas de controle atuam sobre a redução dos volumes ou das vazões. Essas medidas, segundo sua localização no espaço, buscam o armazenamento temporário podendo classificar-se em difusas e concentradas.

As técnicas compensatórias podem ser classificadas em dois grupos: não-estruturais e estruturais. As técnicas não-estruturais buscam a redução dos impactos das inundações a partir da alteração da exposição da população e de bens a estas, enquanto as medidas estruturais buscam a modificação da resposta da planície de inundação frente a esses eventos. Baptista *et al.* (2005) resumem as técnicas compensatórias de acordo com o esquema apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Técnicas compensatórias (Fonte: Baptista et al., 2005).



### 2.2.1 Técnicas Não-Estruturais

O intuito das medidas não-estruturais é o de reduzir as perdas de vidas humanas e os danos às propriedades, por meio de medidas de preparo, resposta, legislação, financiamento, entre outras (Andjelkovic, 2001). Essas atividades compreendem um conjunto de ações a serem tomadas em diferentes momentos da crise conforme mostrado na Tabela 1 e dentre elas encontram-se as listadas a seguir.

Tabela 1 – Tipos de atividades no gerenciamento da planície de inundação (adaptado de Bourget, 2001).

Atividades Pré-cheia: Preparo	Atividades Pós-cheia: Recuperação
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicação dos riscos</li> <li>• Planejamento de contingência</li> <li>• Previsão das condições do fluxo hidrológico futuro</li> <li>• Detecção da cheia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atendimento às necessidades imediatas</li> <li>• Reconstrução das áreas danificadas</li> <li>• Realocação subsidiada</li> <li>• Recuperação/restauração do ambiente</li> <li>• Revitalização econômica</li> <li>• Revisão das práticas de gerenciamento das cheias</li> </ul>
Gerenciamento Operacional da Cheia: Resposta a incidente	Redução do Risco: Mitigação
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Advertências às autoridades e ao público</li> <li>• Resposta oficial e pública</li> <li>• Medidas emergenciais</li> <li>• Remoção de pessoas e objetos</li> <li>• Medidas de combate à cheia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planejamento/gerenciamento do uso do solo</li> <li>• Zoneamento: desestímulo à ocupação em área inapropriada</li> <li>• Códigos de obra</li> <li>• Desapropriação</li> <li>• <i>Flood proofing</i></li> <li>• Seguro</li> <li>• Treinamento e educação</li> <li>• Medidas de controle físico</li> </ul>

#### 2.2.1.1 Gerenciamento de desastres

O gerenciamento dos desastres relacionados às inundações urbanas está ligado intimamente à vulnerabilidade da população e ao fator aleatório do risco de inundação. A vulnerabilidade é um fenômeno dinâmico que depende do tipo de ocupação existente na planície de inundação, enquanto o risco está ligado às condições hidrológicas da bacia hidrográfica.

O gerenciamento dos desastres urbanos, categoria que inclui as inundações urbanas, deve ser compartilhado por todos os setores que têm conexão com o desenvolvimento e com as mudanças na política urbana. Dessa forma é possível reduzir a vulnerabilidade pela integração de medidas de sobrevivência, reabilitação e reconstrução dentro do planejamento do desenvolvimento urbano, e pela definição dos riscos aceitáveis baseados em uma análise quantitativa que inclua os custos dos danos decorrentes das inundações.

Posteriormente, o planejamento deve determinar os tipos de estruturas e onde as mesmas serão alocadas, quais os materiais e processos construtivos serão utilizados, quais características físicas serão alteradas, quais sistemas de emergência serão providenciados, quais as reservas de recursos serão mantidas e quais os sistemas de comunicação e transportes estarão disponíveis (Andjelkovic, 2001).

#### 2.2.1.2 Previsão e alerta de cheia

Essa medida compreende um sistema de monitoramento composto de pessoal técnico e procedimentos para a aquisição e análise dos dados de precipitação e vazão para previsão de inundações. O sistema de previsão é composto de modelagem matemática para conversão das informações em um mapa de risco indicando as áreas a serem inundadas, para posterior distribuição de avisos às instituições e comunidades envolvidas.

O sistema é, ainda, composto de: uma política de disseminação da informação; um plano de emergência no qual são identificadas as ações a serem tomadas antes, durante e imediatamente após a ocorrência da cheia; e um programa de manutenção do gerenciamento das inundações (Andjelkovic, 2001; Kundzewicz, 2001).

#### 2.2.1.3 Políticas de desenvolvimento e uso do solo e Plano de zoneamento e uso do solo

Segundo Andjelkovic (2001), a maior parte dos problemas físicos, sociais e econômicos relacionados às cheias e inundações, erosão dos solos e poluição das águas pluviais, são atribuídos à urbanização inapropriada da planície de inundação, ao uso do solo insensato na cidade, à atenção insuficiente no planejamento da drenagem urbana, à ineficiente manutenção dos dispositivos de controle existentes e à deficiência no cumprimento da legislação de zoneamento.

O gerenciamento do uso do solo busca a alteração dos padrões de ocupação da planície de inundação para o desenvolvimento atual e futuro. O controle do

zoneamento, sob responsabilidade do poder público, institui que tipo de atividade poderá ser instalada dentro da bacia hidrográfica levando-se em consideração o controle de inundação, contemplando os aspectos de risco, econômicos, sociais e ambientais. O poder público deverá impor as condições de ocupação apropriadas para assegurar que o desenvolvimento futuro seja compatível com os riscos de cheia predominantes numa bacia hidrográfica. Dentre as restrições para as áreas de interesse, no tocante à gestão das águas pluviais, podem ser citadas as delimitações de áreas para implantação de estruturas de armazenamento ou a previsão de áreas de interesse para o favorecimento dos processos de infiltração das águas pluviais

Algumas soluções para o gerenciamento do uso do solo citados por Andjelkovic (2001) constam da Tabela 2.

Tabela 2 - Soluções para o gerenciamento do uso do solo (Andjelkovic, 2001).

Para proteção de ocupação já existente:	Para regulamentação do uso da planície de inundação:
<ul style="list-style-type: none"><li>• Estudos sob o controle de cheia;</li><li>• Alerta e evacuação de cheia;</li><li>• <i>Flood proofing</i>.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lei de zoneamento;</li><li>• Regulamento da planície de inundação;</li></ul>
Para remoção ou modificação da ocupação existente:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Regulamento da disposição de resíduos;</li><li>• Regulamento de proteção da qualidade da água subterrânea;</li><li>• Lei de subdivisão;</li><li>• Lei de construção;</li><li>• Redução da densidade populacional;</li><li>• Proibição de funções específicas de uso;</li><li>• Realocação de elementos que bloqueiem a calha principal do rio;</li><li>• Regulamentação sobre o material construtivo das obras;</li><li>• Mapeamento e disponibilização de rotas de escape para locais mais altos.</li></ul>
Para desencorajar a ocupação:	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Informação pública;</li><li>• Publicação de avisos de alerta;</li><li>• Práticas de cobrança de taxas;</li><li>• Políticas de financiamento;</li><li>• Aumento dos custos do seguro contra inundações.</li></ul>	



#### 2.2.1.4 Realocação

A realocação é uma medida adotada quando os riscos são altos em um local com ocupação já existente. Nesse caso, uma das alternativas é a remoção da população e infraestrutura para outro local (Kundzevicz, 2001).

A aquisição da terra é uma opção que deve ser adotada quando já se esgotaram todas as possibilidades, em virtude dos transtornos que essa medida acarreta. Há uma grande dificuldade em se justificar a sua adoção com bases econômicas. Além disso, as pressões sofridas pelo poder público para promover o reassentamento da população a custos baixos, dificulta a aceitação dessa medida, principalmente nos países em desenvolvimento. Isso faz com que a localidade desocupada volte a ser invadida pela população de baixa renda.

A realocação apresenta muitas vantagens, mas também causa grandes prejuízos à vida social e econômica da população realocada. Nesses casos, as autoridades locais podem optar pela compra das propriedades como uma forma de assegurar o uso local adaptado aos riscos existentes. Essa medida é, muitas vezes, necessária como uma medida temporária seguindo a ocorrência das inundações. Como medida permanente, seu sucesso depende do grau de sensibilidade com que a mesma é tratada (Andjelkovic, 2001).

#### 2.2.1.5 Flood Proofing






*Flood proofing* é o termo utilizado para definir o uso de técnicas permanentes, eventuais e de emergência tanto para prevenir a entrada da água pluvial nas edificações e na infraestrutura, quanto para minimizar os danos decorrentes do escoamento e do contato com as águas de chuva por meio da preparação da edificação propriamente dita.

Nos edifícios, a análise da vulnerabilidade é dividida de acordo com o tipo de edificação (convencional, moderno ou tradicional), e inclui a avaliação da resistência à força da água (carga hidrostática, aumento e carga hidrodinâmica) e as mudanças



nas características do material quando imerso em água (qualidade da argamassa, presença de areia fina e argila expandida nas fundações) (Andjelkovic, 2001). Essa medida altera as relações existentes entre os danos e as edificações. A maneira com a qual essa modificação ocorre, depende das medidas usadas (USACE, 1995). Alguns exemplos de edificações do tipo *flood proofing* podem ser vistos na Figura 2

Figura 2 - Exemplos de flood proofing (adaptado de UNESCO, 1995 apud Andjelkovic, 2001).

	Relocação: mover um edifício para um nível mais alto, acima do nível da cheia
	Elevação: construir um edifício de modo que a água da cheia passe sob ele
	<i>Floodwalls</i> : construir uma parede para impedir que a cheia alcance a edificação
	<i>Dry floodproofing</i> : fazer as paredes da edificação e as aberturas de material impermeável
	<i>Wet floodproofing</i> : alterar um edifício para minimizar os danos quando as águas da inundação entrarem

#### 2.2.1.6 Seguro contra inundação

Seguro contra inundação tem como proposta a compensação pelas perdas causadas por estas quando os danos previstos são superiores aos valores aceitáveis. A vantagem dessa modalidade reside no fato de ter custos inferiores em relação à utilização de medidas estruturais, diminui os gastos do governo ocasionados pela indenização das perdas pela cheia e cria vantagens ambientais pela não interferência na natureza (Thampapillai e Musgrave, 1985).

### 2.2.1.7 Outras medidas não-estruturais

Além das alternativas citadas anteriormente, outras medidas, também, são consideradas não-estruturais. São medidas que dizem respeito à legislação do ordenamento urbano e medidas que assegurem o seu cumprimento, além dos planos de auxílio durante e pós-cheia. Nessa categoria, os planos de atendimento à emergência para evacuação e alojamento da população atingida, os programas de educação ambiental para conscientização da população sobre os riscos e sobre como evitar ou minimizar inundações, são medidas bastante eficazes no combate às inundações em áreas urbanas.

A disseminação das informações pode ser feita pela utilização das emissoras de rádio e tv, internet, jornais, panfletos, nas escolas por meio de palestras, ou o que ocorre de forma muito comum em países em desenvolvimento, ilustrações fixadas ou distribuídas em centros comunitários e cruzamentos de vias, podem constituir um importante meio de veiculação da informação.

### 2.2.2 Técnicas Estruturais

Os princípios que norteiam a utilização de técnicas compensatórias no controle de cheias e inundações são: a retenção da água por mais tempo na bacia hidrográfica com o intuito de regular as vazões, limitar a poluição dos meios naturais e favorecer a infiltração no solo das águas pluviais (Chocat, 1997).

Medidas estruturais são aquelas que buscam a modificação do sistema fluvial evitando prejuízos decorrentes das enchentes podendo ser classificadas como extensivas ou intensivas. As medidas extensivas são aquelas que agem na bacia, procurando modificar as relações entre precipitação e vazão, tais como alteração da cobertura vegetal do solo, que reduz e retarda os picos de enchente e controla a erosão da bacia. As medidas intensivas são aquelas que agem no rio e podem ser de três tipos (Simons *et al.*, 1977 *apud* Tucci, 1997): a) que aceleram o escoamento - construção de diques e polders, aumento da capacidade de descarga dos rios e corte de meandros; b) que retardam o escoamento - reservatórios e as bacias de

amortecimento; c) que proporcionam o desvio do escoamento - canais de desvio (Tucci, 1997).

As técnicas compensatórias podem ser utilizadas de forma autônoma, ou seja, sem a utilização de uma rede de condutos, ou associadas a uma rede de drenagem clássica. Podem, ainda, ser aplicadas à escala física de uma parcela, a uma área intermediária ou à escala de uma bacia hidrográfica. Podem ser utilizadas de maneira isolada ou em conjunto com outras medidas, com o cuidado de, ao se aplicar um conjunto de técnicas, avaliar de forma global a eficiência do arranjo com relação à redução das vazões de pico e dos volumes escoados em relação à situação original (Chocat, 1997).

As técnicas compensatórias podem, ainda, ser classificadas conforme a sua área de atuação na bacia hidrográfica como sendo:

- Distribuída ou na fonte – atua sobre lotes, passeios, etc.;
- Na microdrenagem – atua sobre o hidrograma resultante de um ou mais loteamentos;
- Na macrodrenagem – atua sobre os córregos, rios e riachos urbanos.

De acordo com a sua atuação no hidrograma, as técnicas compensatórias podem ser organizadas como: elementos de infiltração e percolação; elementos de armazenamento; e aumento na eficiência do escoamento.

Os elementos de infiltração e percolação propiciam maior infiltração e percolação no solo, utilizando o armazenamento e o fluxo subterrâneo para retardar o escoamento superficial. Esses elementos são aplicados na microdrenagem ou como controle na fonte e são bastante utilizados para controlar o escoamento pluvial em lotes individuais. De acordo com Urbonas e Stahre (1993), os elementos de infiltração e percolação apresentam as seguintes vantagens:

- i) Recarga de aquíferos;
- ii) Preservação e intensificação da vegetação natural;
- iii) Redução da poluição transportada para corpos receptores;
- iv) Redução de picos a jusante;

v) Redução das dimensões dos condutos e dos custos.

As desvantagens apresentadas pelos autores para esses elementos são:

vi) Os solos podem se tornar impermeáveis com o tempo;

vii) A confiança na sua operação pode deixar as comunidades frente a enormes custos no futuro, quando da ocorrência de uma tormenta, esses sistemas começarem a falhar, deixando de exercerem a função para a qual foram destinados;

viii) O nível do lençol freático pode aumentar e causar danos ao subsolo e fundações das construções.

Os elementos de armazenamento têm como função reter parte do volume do escoamento superficial, reduzindo seu pico e distribuindo a vazão no tempo. Podem ser aplicados para esse caso, reservatórios com tamanho adequado para residências ou no porte de macrodrenagem.

O aumento na eficiência do escoamento utiliza condutos e canais para drenar as áreas inundadas, tendendo a transferir enchentes de uma região para outra. São elementos característicos dessa categoria, os sistemas clássicos de drenagem.

#### 2.2.2.1 Poços de infiltração

Os poços são dispositivos pontuais que ocupam pequena área superficial com a função de evacuar diretamente as águas pluviais no solo, podendo drenar superfícies da ordem de poucos a até milhares de metros quadrados. Essa técnica tem por vantagem a possibilidade de ser aplicada em locais onde a camada de solo superficial é pouco permeável (forte urbanização ou camada superficial impermeável), mas cuja camada profunda tem grande capacidade de infiltração.

As águas pluviais podem ser introduzidas nos poços por escoamento superficial direto (modo difuso) ou por meio de uma rede de drenagem (modo localizado), e a evacuação das águas pluviais pode ocorrer pela descarga do volume captado na superfície em uma camada não saturada de solo (poço de infiltração) ou pela descarga

do volume captado da superfície diretamente no lençol subterrâneo (poço de injeção) (Baptista *et al.*, 2005 e Chocat, 1997).

#### 2.2.2.2 Valas, valetas e planos de retenção e infiltração

As valas, valetas e planos de infiltração e retenção são técnicas constituídas por depressões escavadas no solo a céu aberto com a finalidade de recolher as águas pluviais e propiciar o seu armazenamento temporário, podendo, ainda, favorecer a infiltração.

As valas ou valetas diferenciam-se dos planos por apresentarem sua dimensão longitudinal significativamente maior que a sua dimensão transversal, enquanto os planos não apresentam diferença significativa em relação às suas dimensões.

Se os dispositivos citados apresentarem apenas a função de armazenamento temporário das águas pluviais, os mesmos são denominados de valas, valetas e planos de retenção. Se associada à função de armazenamento estiver prevista a infiltração das águas pluviais de modo a reduzir o volume do escoamento na superfície, então os dispositivos são denominados de valas, valetas e planos de infiltração. As valas, valetas e planos de infiltração são bem adaptados a zonas de habitação individual pouco densas (Baptista *et al.*, 2005; Chocat, 1997). O funcionamento destes dispositivos é apresentado pelas Figura 3 e Figura 4 e exemplos são apresentados pelas Figura 5 e Figura 6.

Figura 3 - Esquema de funcionamento de vala de retenção (adaptado de Azzout et al., 1994).





Figura 4 - Esquema de funcionamento de vala de infiltração (adaptado de Azzout et al., 1994).

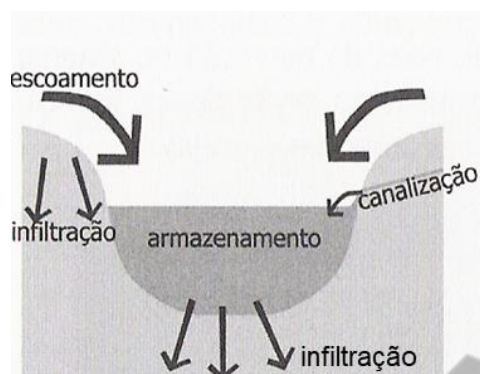


Figura 5 - Vala de infiltração (Certu, 1998).



Figura 6 - Plano e valeta de infiltração (CETE du Sud-Ouest, 2002 apud Milograna, 2009).

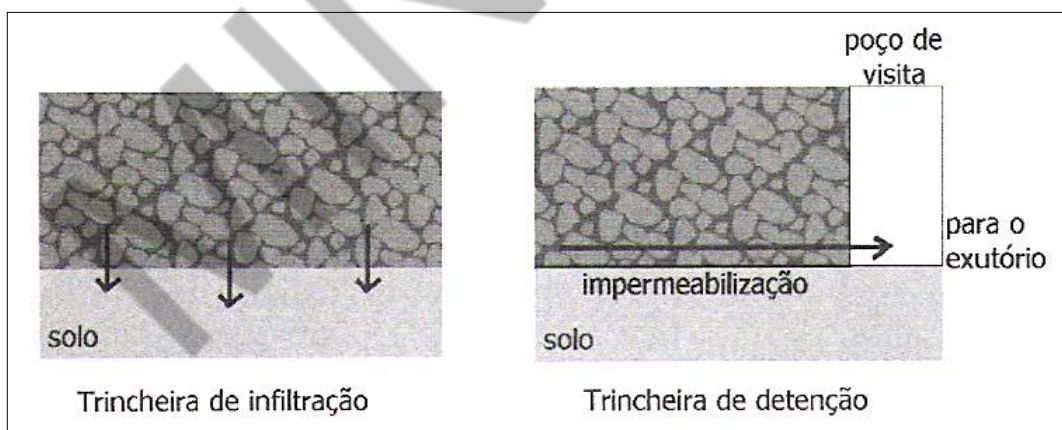


### 2.2.2.3 Trincheiras de infiltração e retenção

As trincheiras são técnicas compensatórias lineares implantadas junto à superfície do solo ou a pequena profundidade, com a finalidade de recolher as águas pluviais de afluência perpendicular a seu comprimento, de modo a favorecer a infiltração e o armazenamento, conforme observa-se por meio da Figura 7. Sua concepção apresenta largura e profundidade reduzidas em relação ao comprimento. Esses dispositivos podem ser utilizados em canteiros centrais e passeios públicos, ao longo do sistema viário, junto a estacionamentos, jardins, terrenos esportivos e em áreas verdes em geral.

A entrada das águas pluviais se dá tanto diretamente pela superfície do dispositivo, quanto através de um sistema de drenagem convencional. A evacuação em trincheiras de infiltração se dá por meio da infiltração da água no solo pelas paredes laterais e fundo. A descarga direta nos meios receptores configura esse dispositivo como uma trincheira de retenção.

Figura 7 - Esquema simplificado da evacuação de trincheiras de infiltração e retenção



### 2.2.2.4 Pavimentos permeáveis com estrutura de retenção e infiltração

Os pavimentos com estrutura de retenção e infiltração têm como objetivo o decréscimo das vazões do escoamento superficial e o armazenamento temporário da chuva no corpo do pavimento. Essa técnica pode reduzir os volumes que passam pela

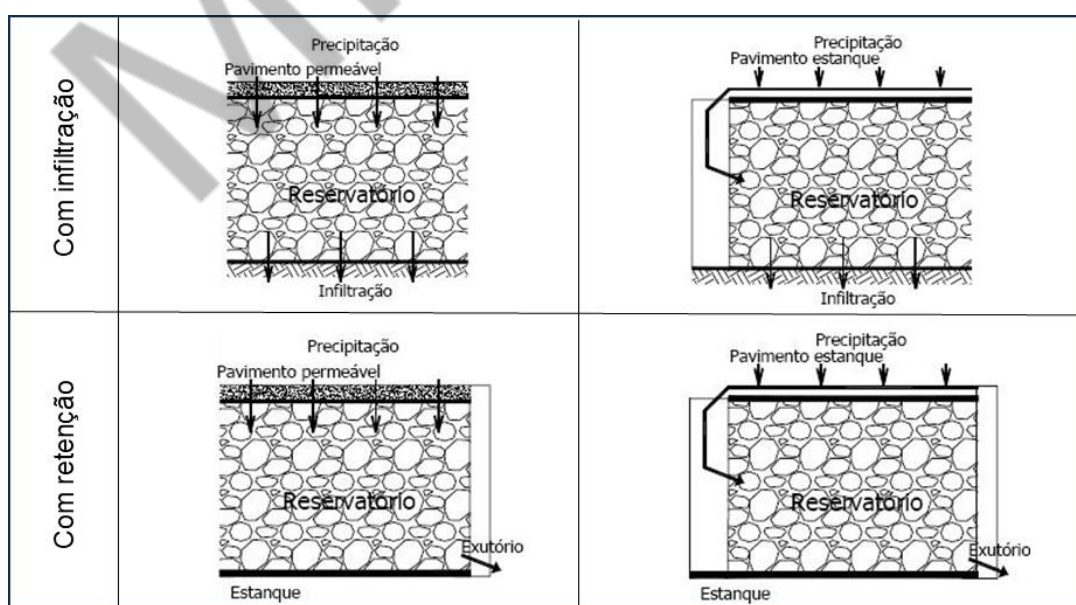


rede de drenagem convencional quando da infiltração da água no solo suporte do pavimento. O que diferencia um pavimento poroso de um pavimento com estrutura de reservação é que o primeiro é composto de revestimento drenante com um corpo impermeável, sendo seu interesse, essencialmente, melhorar a segurança rodoviária, o conforto dos condutores e reduzir os níveis sonoros. O segundo pode ou não possuir revestimento drenante, mas possui sempre corpos porosos que permitem o armazenamento da água (Azzout *et al.*, 1994).

Para o controle do escoamento superficial os pavimentos podem ter estruturas diferenciadas. Esses dispositivos podem ser dotados de revestimentos superficiais permeáveis, ou de uma estrutura porosa, ou ainda de uma estrutura porosa e de dispositivos de facilitação da infiltração (Baptista *et al.*, 2005).

A introdução das águas pluviais no pavimento pode ocorrer diretamente sobre a superfície do mesmo quando o revestimento é feito de material permeável ou por meio de difusores acoplados ao sistema de drenagem superficial, quando o revestimento é impermeável. A detenção temporária da água é efetuada no corpo do pavimento, fazendo com que o mesmo se comporte como um reservatório enterrado. A evacuação pode ser efetuada por infiltração direta no solo ou por meio de um sistema de drenos acoplados ao sistema de drenagem a jusante (Figura 8).

Figura 8 - Princípio de funcionamento dos pavimentos permeáveis (Moura, 2004).

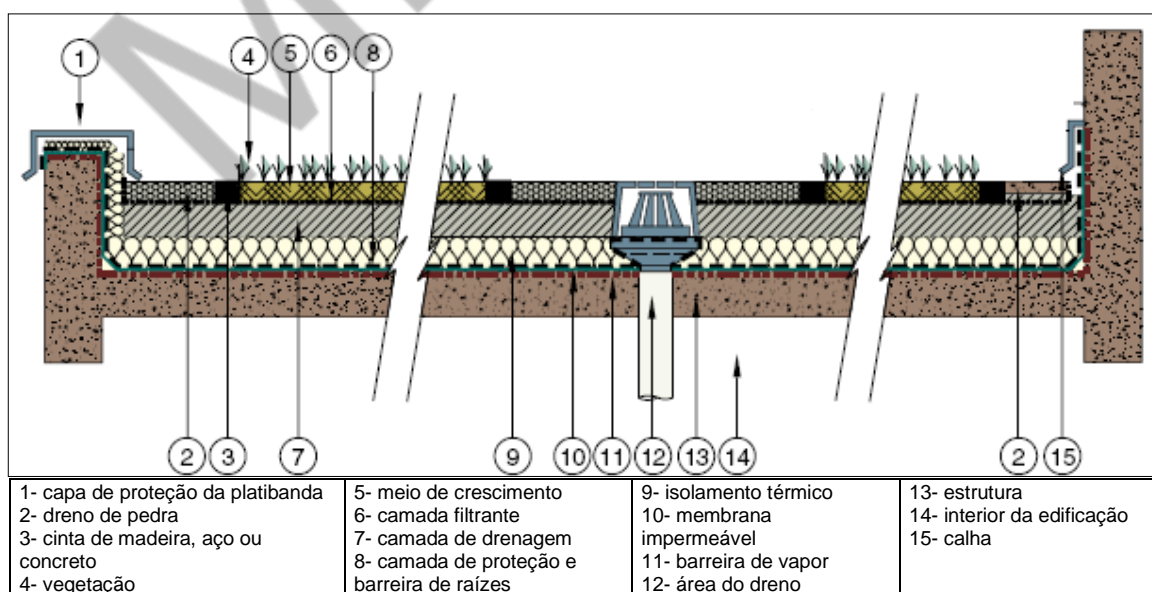


### 2.2.2.5 Telhados armazenadores

Os telhados armazenadores são dispositivos compostos de uma estrutura portante, e elementos de armazenamento com o objetivo de armazenar, temporariamente, as águas pluviais e descarregá-las a uma vazão limitada (Chocat, 1997). Esses dispositivos, representados pela Figura 9, podem ser aplicados de forma isolada a uma parcela urbana, ou a um conjunto de parcelas. Podem ser utilizados em telhados planos ou com declividades inferiores a 5%, desde que compartimentados.

Os telhados armazenadores podem, ainda, ser dotados de cobertura vegetal proporcionando proteção térmica, não requer disponibilidade de espaço adicional, podendo também, se adequar aos projetos arquitetônico e urbanístico. No entanto, a adoção dessa técnica requer a observância de critérios construtivos tanto para as obras novas, já concebidas com essa finalidade, quanto para obras já existentes, observando-se neste último caso, as limitações impostas pela estrutura da mesma. A descarga das águas armazenadas é assegurada por dois dispositivos: os dispositivos de regulação e limitadores de nível (Baptista *et al.*, 2005).

Figura 9 - Esquema de funcionamento de um telhado armazenador (GVSD, 2004 apud Milograna, 2009).



#### 2.2.2.6 Bacias de retenção e detenção

O termo bacia de retenção (Figura 10) ou detenção se aplica às obras de saneamento destinadas a armazenar temporariamente as águas pluviais quando da ocorrência das cheias, antes da sua restituição aos meios receptores, a partir de condições pré-definidas (Chocat, 1997). Segundo Baptista *et al.* (2005), as finalidades destes dispositivos são:

- O amortecimento do hidrograma de cheias no contexto urbano como forma de controle de inundações e o rearranjo das vazões nos hidrogramas de cheia;
- A redução dos volumes do escoamento superficial, quando da utilização de bacias de infiltração;
- A redução da poluição difusa de origem pluvial em contexto urbano.
- As bacias de detenção (Figura 11) podem ser:
  - Bacias a céu aberto com ou sem espelho d'água permanente. As bacias secas armazenam água apenas durante os eventos de precipitação;
  - Bacias de zonas úmidas, que são áreas úmidas artificialmente construídas, semelhantes a várzeas, capazes de armazenar água em pequenas profundidades e extensas áreas, com predominância de vegetação típica de zonas úmidas;
  - Bacias subterrâneas ou cobertas que são bacias típicas de zonas densamente urbanizadas onde há dificuldade em se encontrar espaço para a implantação de bacias a céu aberto.

As bacias secas podem ainda ser impermeabilizadas não permitindo a infiltração controlando as vazões geradas pelo escoamento pluvial. As bacias secas podem ter sua superfície vegetada ou com cobertura granular, funcionando, simultaneamente, com a infiltração das águas pluviais e com armazenamento temporário.

Reservatórios ou parques urbanos têm a mesma função das bacias de detenção com dimensões superiores. Suas grandes vantagens são a possibilidade de

acomodar as diferentes amplitudes de vazões de cheia, dentro da parte da bacia que o parque ou reservatório drena, criar um espaço ambiental agradável, reduzir o material sólido e melhorar a qualidade da água (Urbonas e Stahre, 1993; Tucci e Genz, 1995).

Figura 10 - Bacia de retenção seca em concreto (Moura, 2004).



Figura 11 - Bacia de retenção (Pompêo, 1998).



#### 2.2.2.7 Diques

Diques de proteção têm a finalidade de estabilizar as margens dos rios e proteger a população ribeirinha de alturas de água sazonais, por períodos de apenas poucos dias, ou semanas por ano (USACE, 1995). Os diques permitem a proteção localizada para uma região ribeirinha através da redução da seção de escoamento, podendo provocar o aumento da velocidade e dos níveis de inundação.



#### 2.2.2.8 Canais de desvio

Os canais de desvio são executados de forma a impedirem que um volume excedente proveniente do escoamento de uma determinada precipitação atinja uma área susceptível. Quando a vazão no canal principal alcança um determinado nível pré-estabelecido, a vazão excedente flui para o canal de desvio. Dessa forma, a vazão no canal principal é mantida, eliminando ou reduzindo os danos às propriedades a jusante.

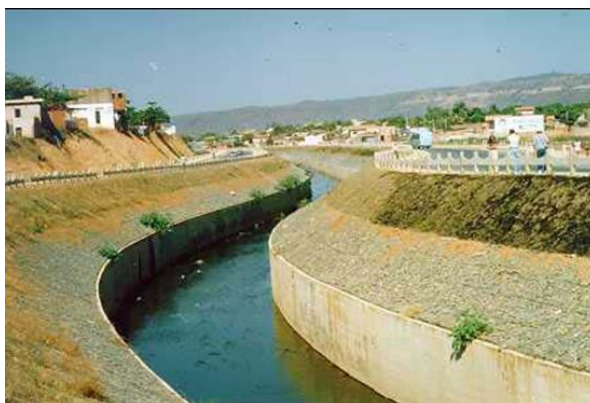
Essa medida é bem aceita quando há a necessidade de um alto grau de proteção e há disponibilidade no local, para a construção do canal ou túnel de desvio a custos racionais em função dos danos evitados (USACE, 1995).

#### 2.2.2.9 Aumento na eficiência do escoamento

Aumento na eficiência do escoamento utiliza condutos e canais (Figura 12) para drenar as áreas inundadas, tendendo a transferir enchentes de uma região para outra. Nessa categoria, podem ser citados: canalização, modificações no canal e dragagem.

A canalização amplia a capacidade do rio em transportar uma determinada vazão, pelo aumento da seção, diminuição da rugosidade ou aumento da declividade da linha de água. Quando o canal é aprofundado, a linha d'água é rebaixada evitando a inundação. A ampliação da seção produz redução da declividade da linha d'água e redução dos níveis a montante.

Figura 12 - Fotografia de canal revestido (Moura, 2004).



## 2.3 ANÁLISE DA VIABILIDADE DAS TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS ESTRUTURAIS

Antes da inserção de qualquer alternativa de controle de inundações, deve ser feito o diagnóstico da área, levando-se em consideração as limitações impostas pelo local no que diz respeito às características físicas naturais, às limitações geológicas e da rede hidrográfica, e ainda, as limitações decorrentes da legislação local em vigência. Aspectos urbanísticos e de infraestrutura e aspectos sanitários e ambientais, também, devem ser considerados.

No contexto das limitações físicas, podem ser citadas (Baptista *et al.*, 2005; Certu, 1998):

- **Relevo:** um local de relevo plano é pouco favorável à instalação de dispositivos que propiciem o escoamento superficial, mas ao mesmo tempo, podendo favorecer as medidas de armazenamento. Deve-se salientar que a declividade média geral de uma área não é determinante na escolha da técnica a ser utilizada, mas sim a declividade do local onde a mesma será inserida.
- **Profundidade do lençol freático:** a pouca profundidade do lençol inviabiliza a utilização de alternativas que propiciem a infiltração, podendo em outro caso ocorrer danos às obras por subpressão, restringindo, assim, a construção de obras enterradas.
- **A existência de um exutório permanente:** com exceção nos casos nos quais é prevista a infiltração das águas pluviais, os locais de deságue, naturais ou artificiais, devem ser identificados e verificados quanto à adequabilidade em relação ao ponto de vista da qualidade e quantidade.
- **Análise da constituição geológica do solo:** a utilização de técnicas de infiltração precede da análise da constituição geológica do solo onde será aplicada a medida em virtude da sua capacidade de infiltração. Os solos com condutividade hidráulica entre  $10^{-3}$  e  $10^{-6}$  m/s podem, *a priori*, admitir técnicas de infiltração. A inserção da medida, no entanto, requer a medida da condutividade hidráulica *in situ*.

- Avaliação da estabilidade do subsolo: se faz necessária diante do risco de dissolução em certos solos na presença de água. Nesses casos, são inviabilizadas quaisquer técnicas que privilegiem a infiltração, tendo em vista a possibilidade de problemas de estabilidade das futuras obras podendo, mesmo, levar ao desmoronamento.
- Nível operacional de água: as obras com espelho d'água permanente necessitam manter um certo nível de água, mesmo que este seja flutuante. Sendo assim, deve haver a alimentação externa constante nessas estruturas seja por fonte superficial ou profunda.
- Com relação aos aspectos urbanísticos, devem ser levados em consideração os seguintes aspectos:
- Disponibilidade de espaço: algumas técnicas requerem disponibilidade de espaço para sua inserção, principalmente quando se trata de alternativas com abrangência da macrodrenagem. Nesses casos devem-se observar as disponibilidades fundiárias e os custos das restrições ocasionadas pelo uso da área para fins de drenagem urbana. É interessante buscar soluções multifuncionais de utilização da área onde se pretende inserir a medida com usos múltiplos, tais como quadras esportivas ou espaços verdes e bacias de retenção.
- Inclinação maior que 5% não é propícia à utilização de telhados como estruturas armazenadoras. A forma dos telhados também pode inviabilizar a sua utilização para esse fim. Além da forma, a estrutura que recebe o telhado armazenador, nos casos de obras já construídas, deve ser verificada.
- A existência de redes de serviços públicos – água, telefonia, eletricidade, etc. – pode ser um fator limitador da instalação de alguns tipos de medidas se as mesmas não forem consideradas na etapa de planejamento.

No tocante aos aspectos sanitários e ambientais, devem ser avaliados os riscos de poluição das águas e dos solos, o risco de águas com fins e, o risco sanitário.

No tocante ao risco de poluição das águas, devem ser observados dois aspectos: a qualidade das águas de escoamento e a vulnerabilidade do corpo



receptor. Com relação às águas de escoamento, as características do escoamento em zona urbana estão intimamente ligadas à ocupação do solo (por exemplo, residencial, industrial) na área de drenagem, e da natureza da superfície drenada (por exemplo, telhados, arruamento). A vulnerabilidade do corpo receptor está ligada aos aspectos de uso do mesmo (fonte de água potável, irrigação, etc.) e a seu valor patrimonial (aptidão a responder por necessidades futuras).

A análise de águas com finos deve ser levada em consideração devido aos efeitos posteriores, principalmente, em superfícies drenantes e dispositivos de infiltração, devido à possibilidade de colmatção, o que demanda de controle de manutenção. Em bacias de detenção, o assoreamento é uma grande preocupação, uma vez que não tenham sido previstos mecanismos de decantação a montante.

No que diz respeito ao risco sanitário, deve ser levada em consideração a possibilidade de estagnação da água em determinadas técnicas, o que pode resultar no desenvolvimento de organismos vetores de doenças. Além dessas limitações, não devem ser excluídas aquelas que analisam os aspectos sociológicos (inserção das medidas no local, usos, gestão, etc.) e as limitações econômicas, relacionadas ao investimento na solução e manutenção.

A decisão sobre a adoção de uma técnica ou conjunto de técnicas para o controle de inundações, pode ser feito de acordo com as seguintes variáveis indicadas por CETE do Sud-Ouest (2002) apud Milograna (2009):

- Os diferentes tipos de urbanização;
- O conjunto de soluções compensatórias;
- O conjunto de limitações técnicas.

Considerando a escala física prevista para ser trabalhada neste estudo, a Tabela 3 apresenta a vocação e as possibilidades de utilização das técnicas compensatórias em relação a diferentes aspectos. Maiores detalhes sobre a aptidão das técnicas aplicadas na microdrenagem encontram-se detalhadas no Anexo A.

Tabela 3 - Vocação e possibilidades das técnicas (Baptista et al., 2005).

Vocação e possibilidades das técnicas								
Técnica	Área de drenagem controlada	Controle de vazão de pico			Controle de volumes	Recarga do lençol	Reuso direto	Controle da erosão a jusante
		TR Pequenos (até 5 anos)	TR Médios (até 30 anos)	TR Grandes (até 100 anos)				
Bacias de retenção/retenção	Grande (>16ha)	P	P	V	N	N	V	V
Bacias de infiltração	Média	P	P	V	P	P	V	P
Valas e valetas de retenção	Pequena-média	V	V	N	N	N	N	V
Valas e valetas de infiltração	Pequena-média	V	V	N	P	P	N	V
Pavimentos porosos	Pequena-média	P	V	N	V	V	N	V
Revestimentos permeáveis	Pequena-média	V	N	N	V	V	N	V
Trincheiras de retenção	Pequena (< 4ha)	P	V	N	N	N	N	V
Trincheiras de infiltração	Pequena	P	V	N	P	P	N	V
Poços de infiltração	Pequena	P	V	N	P	P	N	V
Telhados armazenadores	Pequena	P	V	N	N	N	V	V
Reservatórios individuais	Pequena	P	V	N	N	N	V	V

P: Adaptada; V: Pode ser adaptada; N: Pouco adaptada ou mesmo impossível.

## 2.4 INFRAESTRUTURA VERDE E AZUL

Após a consolidação dos conceitos sobre as tecnologias alternativas aos sistemas convencionais de drenagem de água pluvial urbana, outros conceitos, tais como LIDs, começaram a integrar as soluções para o controle do escoamento no espaço urbano. São soluções com redução no volume do escoamento superficial e

melhoria na qualidade da água de escoamento, e têm como premissa a melhoria das condições ambientais e urbanísticas integradas ao tecido urbano.

Sobretudo na segunda metade do século XX, viver nas cidades se tornou sinônimo de viver longe da natureza em muitas das grandes metrópoles. Após experimentar os reflexos das ações de um longo período, constatou-se que as cidades ofereciam oportunidades de criatividade e inovação. Após um longo período de uso de infraestruturas cinzas (obras convencionais de drenagem e aquecimento das superfícies), o uso de elementos verdes na paisagem urbana poderia trazer um maior equilíbrio no meio ambiente de maneira geral (Valente de Macedo *et al.*, 2022)

As infraestruturas verdes são compostas por um conjunto de elementos urbanos que integram funções hidráulicas, hidrológicas, paisagísticas e sociais interconectadas, de tal maneira que formam um ambiente urbano gerando benefícios ambientais e sociais. As estruturas azuis são as áreas alagadas já existentes ou a serem inseridas com múltiplos usos (Prefeitura de São Paulo, 2021).

Alguns dos elementos incluídos no rol das infraestruturas verdes e azuis já são contemplados nos itens anteriores como dispositivos de controle de escoamento.

#### **2.4.1 Vegetação**

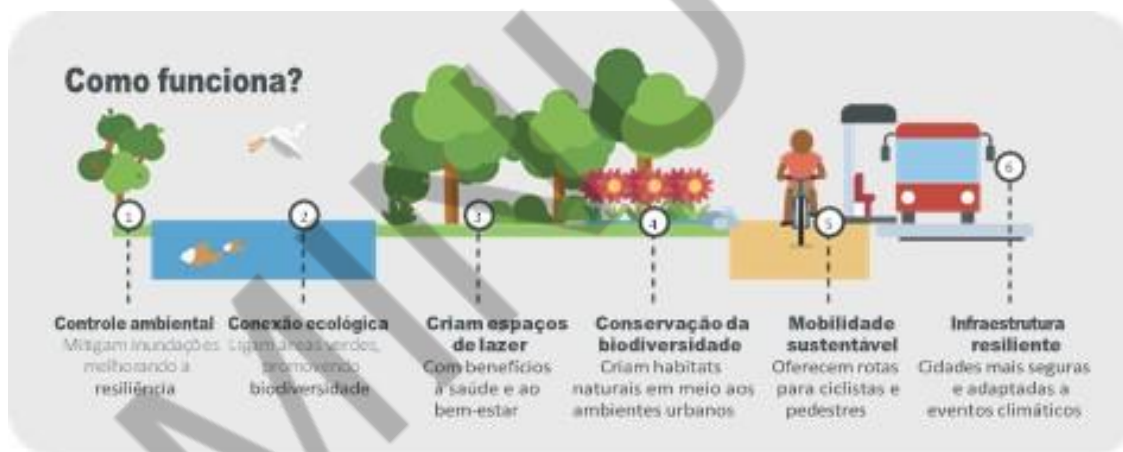
De maneira geral todo dispositivo que utiliza vegetação é uma infraestrutura verde. Toda cobertura vegetal em parques, ao longo de passeios públicos, canteiros centrais etc., distribuídos pela cidade, ou ao longo das margens dos rios e córregos urbanos se constituem em infraestruturas verdes. Esses elementos propiciam o aumento da infiltração da água no solo, da evapotranspiração e reduzem a erosão do solo, além dos benefícios ambientais sobre a redução das ilhas de calor, aumento da biodiversidade, promoção da prática de atividades ao ar livre (Prefeitura de São Paulo, 2021).

Além da vegetação natural, outros dispositivos fazem parte das infraestruturas verdes, como pode ser observado em alguns exemplos apresentados a seguir.

## 2.4.2 Parques lineares

Sistema de áreas verdes implementadas ao longo de fundos de vale e do sistema viário, de modo contínuo, a fim de acomodar e reter naturalmente as águas de chuva, servindo como áreas de lazer e mobilidade ativa são conhecidos como parques lineares. Os parques lineares ou corredores verdes multifuncionais são áreas marginais lineares com vegetação nativa do ecossistema original que podem ser associadas a infraestrutura urbana, com funções e usos, desde o convívio social e lazer, ao seu uso para o amortecimento de cheias. Um esquema de seu funcionamento pode ser visto na Figura 13.

Figura 13 – Esquema de funcionamento de parques lineares (Fonte: Fundação Grupo Boticário/Thiago Oliveira Basso).



## 2.4.3 Jardins de chuva

São depressões rasas escavadas no solo a fim de receber as águas provenientes do escoamento superficial e facilitar sua infiltração. Podem ser implantados ao longo do sistema viário, em calçadas ou em canteiros centrais.

Os jardins de chuva podem receber as águas direcionadas diretamente das superfícies para estes por aberturas em seu contorno. As águas que entram nessas estruturas podem ser integralmente drenadas, ou parcialmente evacuada por

extravasores até a rede drenagem. A atividade das plantas e micro-organismos existentes nos jardins de chuva fazem com que estes funcionem como estruturas de biorretenção.

Recomenda-se que estes elementos tenham de 15 a 25 cm de profundidade, preenchidos por solo tratado e material tratado para aumentar a permeabilidade, cobertos por vegetação de diversos portes.

Dentre as limitações, deve-se salientar a necessidade de distância mínima de 1,0 metro entre o fundo do dispositivo e nível máximo do lençol freático. A Figura 14 apresenta um esquema de montagem e funcionamento de um jardim de chuva e as Figura 15 e Figura 16 apresentam alguns casos implantados.

Figura 14 – Esquema de montagem e funcionamento de um jardim de chuva (Fonte: Fundação Grupo Boticário/Thiago Oliveira Basso).

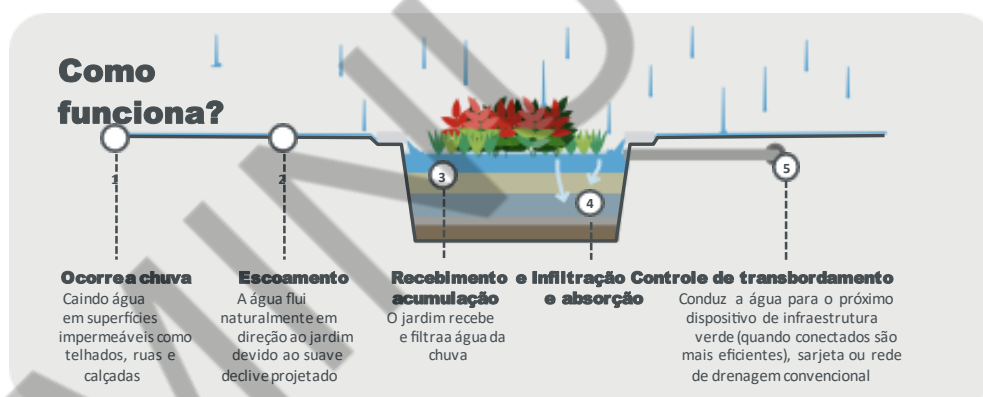


Figura 15 – Jardim de chuva no Parque Lagoa do Nado, em Belo Horizonte (Fonte: WRI Brasil/ Nereu Jr).





Figura 16 – Jardins de chuva em São Paulo (Fonte: Prefeitura de São Paulo).



#### 2.4.4 Poços de infiltração, trincheiras de infiltração e retenção, valas e valetas de retenção e infiltração (biovaletas)

Poços de infiltração, trincheiras de infiltração, valas e valetas (biovaletas) de infiltração já descritos em tópico anterior, cujos exemplos são apresentados pelas Figura 17 e Figura 18, também se configuram como infraestruturas verdes (Prefeitura de São Paulo, 2021).

Figura 17 – Modelo esquemático de poço de infiltração avaliado na Universidade Federal de Goiás/Goiânia-GO (Fonte: Reis, Oliveira e Sales, 2008).

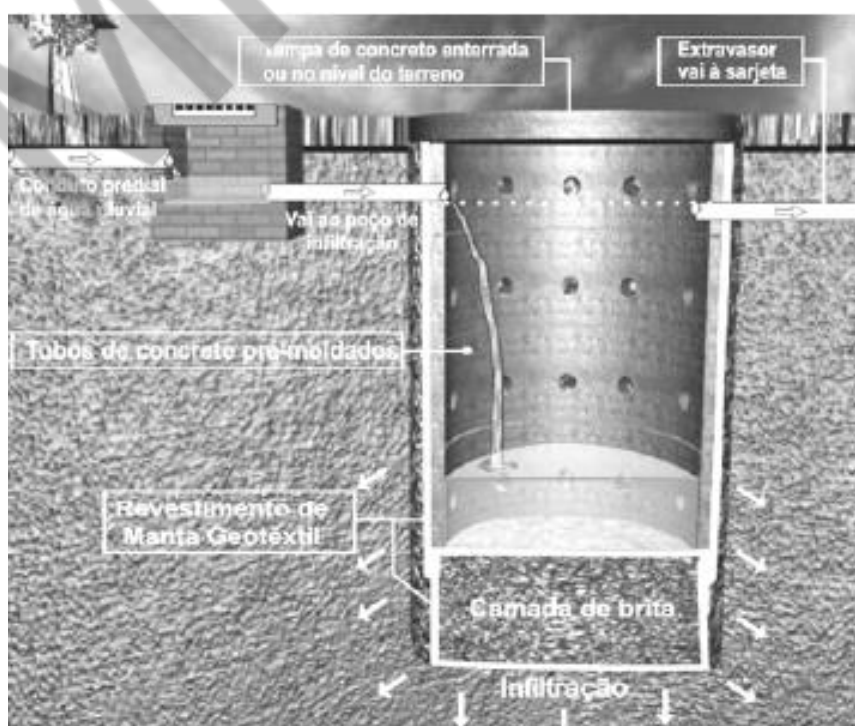




Figura 18 – Trincheira de Infiltração em área urbana (Fonte: California Stormwater Quality Association, 2003).



## 2.5 SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA (SbN)

As Soluções Baseadas na Natureza (SbN), assim como as infraestruturas verde e azul, tentam reproduzir os processos naturais por meio de projetos e ações inspirados na natureza, de modo a fortalecer e ampliar a resiliência das cidades (Serra e Comassetto, 2023).

A expressão adotada para as SbNs surgiu na União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN), no final dos anos 2000, que as definiu como “ações para proteger, gerenciar de forma sustentável e restaurar ecossistemas naturais ou modificados, que abordam os desafios sociais de forma eficaz e adaptativa, proporcionando simultaneamente benefícios ao bem-estar humano e à biodiversidade” (Lana, 2021 apud Serra e Comassetto, 2023). Além disso, esse conjunto de elementos e ações vão ao encontro do preconizado no Marco Global da Biodiversidade (United Nations, 2021) com a função de melhorar a qualidade do ar, proteger a população contra eventos extremos e melhorar a qualidade e a quantidade da água. Além disso, aumentar o acesso da população às infraestruturas verdes e azuis são também uma meta, como modo de melhorar a qualidade de vida e o bem-estar nas comunidades urbanas.

Serra e Comassetto (2023) resumem as funções das SbNs conforme a ilustração da Figura 19.

Figura 19 – Serviços ambientais proporcionados pelas SbNs (Serra e Comassetto, 2023).



### 2.5.1 Tipologias usadas nas SbNs

Longe de ser exaustiva, a lista de soluções baseadas na natureza (SbN), que se apresentam neste material, incluem algumas das já citadas, técnicas alternativas aos sistemas convencionais para escoamento das águas pluviais, e infraestruturas verdes e azuis. Outras assumem um conjunto de técnicas organizadas ou um planejamento urbanístico completo conectando o ambiente urbano de modo a conceber um espaço multifuncional e ambientalmente mais agradável e saudável. Há que se entender que essas tipologias de soluções assumem as formas mais criativas de se incorporar o verde e a água com a segurança dos demais elementos que compõem a paisagem urbana, em conexão com as águas pluviais, o foco desta análise. Assim, técnicas compensatórias já consagradas como elementos eficientes no controle do escoamento, tais como bacias de retenção e detenção, telhados verdes, poços de infiltração, entre outras, trabalham em conjunto com elementos naturais para formar um conjunto sem fim de possibilidades.

Várias tipologias de estruturas já foram ou serão apresentadas nos tópicos a seguir, podendo estas e as já mencionadas, trabalharem isoladas ou em conjunto.

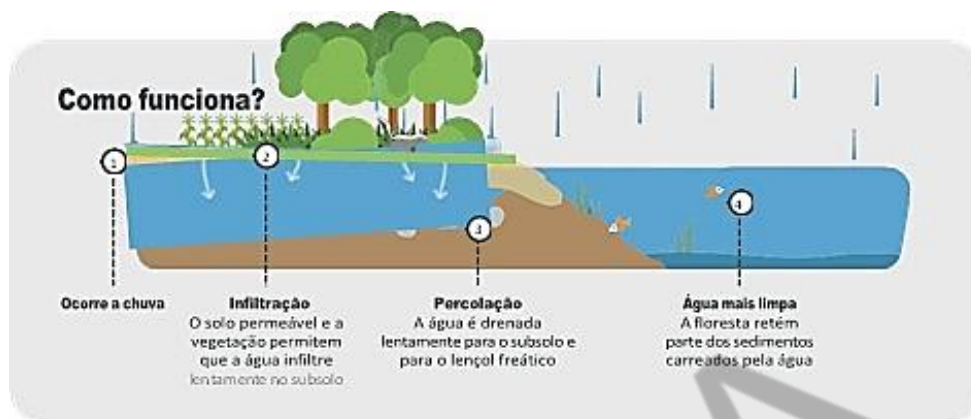
Atuam sobre o escoamento: jardim de chuva; canteiro pluvial; biovaleta (vala de infiltração); poço de infiltração; bacia de retenção; bacia de retenção; bacia de infiltração; sistema de alagado construído (*wetland* construído); pavimentos permeáveis; caminhos verdes (áreas reflorestadas); parques alagáveis; telhado verde; parques e praças multifuncionais. Além destas, são importantes as medidas de proteção de taludes e margens de rios córregos: muro de suporte de diferentes materiais; solo grampeado verde; contenção em geocélulas (Bioconexão Urbana e Fundação Grupo Boticário, S/D; Sandre *et al.*, 2024; Serra e Comasetto, 2023).

Na sequência, alguns dos principais itens mencionados anteriormente, e que ainda não foram descritos serão apresentados. Os itens descritos a seguir são compilados de vários autores e de experiências de municípios. É importante lembrar que as Soluções baseadas na Natureza vão desde as mais simples áreas ajardinadas até as mais sofisticadas reconfigurações dos espaços urbanos consolidados, com a criação de áreas de convívio social ambientalmente confortável, um ambiente urbano com menos impactos negativos relacionados às inundações e aos alagamentos, a redução da temperatura ambiente e a preservação da biodiversidade.

### **2.5.2 Restauração no entorno de mananciais**

A restauração de áreas no entorno de mananciais tem como objetivo reter sedimentos pela vegetação, a infiltração da água no solo e reduzir a velocidade superficial da água. Seu esquema de funcionamento encontra-se ilustrado na Figura 20 (Bioconexão Urbana e Fundação Grupo Boticário, S/D).

Figura 20 – Esquema de funcionamento de restauração do entorno de mananciais (Fonte: Fundação Grupo Boticário/Thiago Oliveira Basso).



### 2.5.3 Parques e praças multifuncionais

Áreas públicas que associam diferentes tipologias de infraestrutura natural (verde e azul) com infraestrutura cinza (convencional) num mesmo espaço. Esses elementos são ligados à rede pluvial conforme esquema ilustrado na Figura 21 e exemplo da Figura 22 (Bioconexão Urbana e Fundação Grupo Boticário, S/D).

Figura 21 – Esquema de funcionamento de parques e praças multifuncionais (Fonte: Fundação Grupo Boticário/Thiago Oliveira Basso).

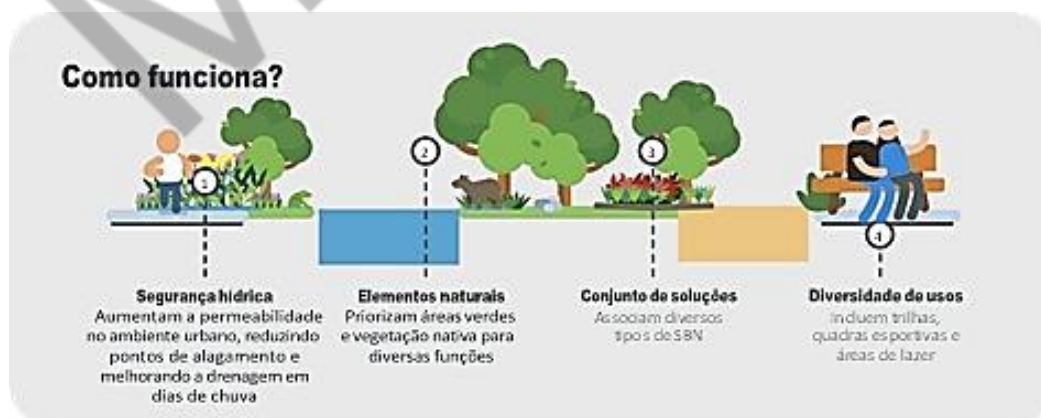




Figura 22 – Praça Conceito Consciente – Goiânia/GO (Fonte: Consciente Construtora e Incorporadora, 2012).



#### 2.5.4 Canteiro pluvial

O canteiro pluvial (Figura 23 e Figura 24) é um jardim de chuva inserido em um pequeno espaço urbano disponível com a função de coleta e absorção da água de chuva de pavimentos impermeáveis. A água em seu interior deve ser drenada em poucas horas para evitar a proliferação de mosquitos, algas e bactérias. Os canteiros podem ser estanques e conter um extravasor para controle do transbordo do dispositivo e um conduto para ligação à rede pluvial (Bioconexão Urbana e Fundação Grupo Boticário, S/D).

Figura 23 – Jardins de Chuva – São Paulo/SP (Fonte: Prefeitura de São Paulo, 2023).



Figura 24 – Jardim de Chuva – Goiânia/GO (Fonte: WRI Brasil, 2020).



### **2.5.5 Alagados construídos (wetlands construídos) para tratamento de efluentes (jardins filtrantes)**

Os alagados construídos (wetlands construídos) ou jardins filtrantes (Figuras 25 a 27) são elementos utilizados para tratamento de águas contaminadas por poluição difusa antes que estas cheguem aos corpos receptores, ou para o tratamento de efluentes, tanto domésticos quanto industriais. Ao utilizar a própria vegetação em seus sistemas como elemento de absorção da matéria orgânica, esses elementos criam um ambiente propício ao desenvolvimento de bactérias que quebram a matéria orgânica das partículas poluentes sem a aplicação de agentes químicos artificiais ou microrganismos de fora do meio (Bioconexão Urbana e Fundação Grupo Boticário, S/D).



Figura 25 – Esquema de montagem e funcionamento de um jardim filtrante (Fonte: Fundação Grupo Boticário/Thiago Oliveira Basso).

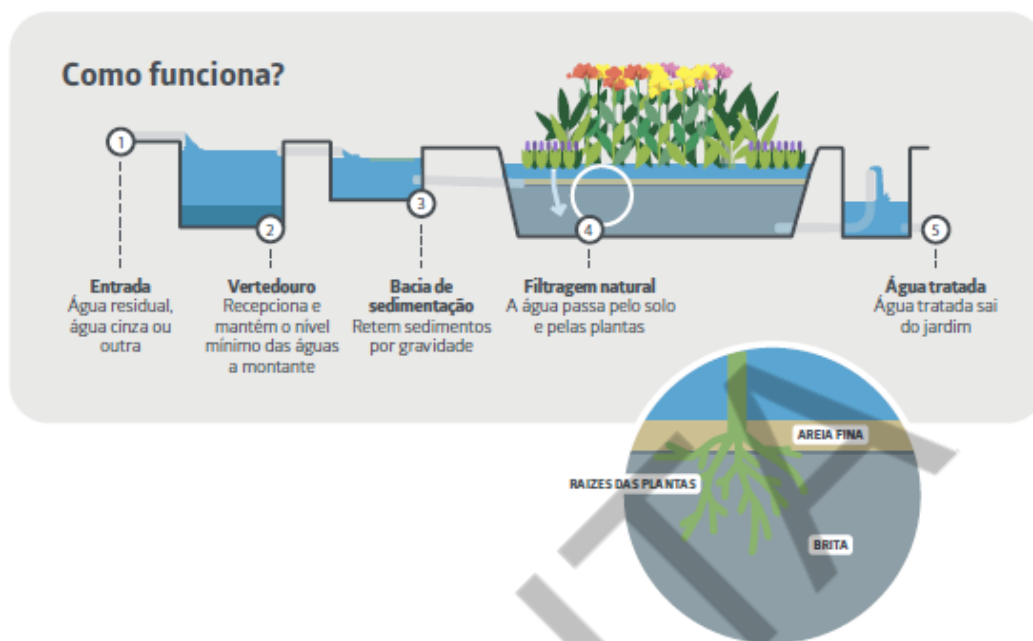


Figura 26 – Wetland (Fonte: Wetlands Construídos LTDA, 2023).



Figura 27 – Wetland da Estação Cidade Jardim - São Paulo/SP (Fonte: Construtora Coroados, S/D).



### 2.5.6 Recuperação de rios e córregos

A recuperação de cursos d'água degradados ou com extremas alterações envolve a requalificação de suas funções hidrológicas e biológicas, a fim de fazer com que os corpos hídricos, suas margens e leitos se tornem novamente um sistema saudável inserido no contexto urbano.

### 2.5.7 Restauração de encostas e contenção de taludes e margens de córregos e rios

A restauração de encostas com espécies nativas tem o potencial de estabilizar os solos de modo a reduzir os riscos de deslizamentos, controlar os processos dinâmicos de erosão e sedimentação nos corpos d'água.

Além dessas características, as ações de restauração e conservação de encostas podem se mostrar como importantes ações para reduzir os gases de efeito estufa.

Em alguns casos, para a execução das ações de restauração, pode ser necessária a estabilização do solo por meio da associação de diferentes técnicas geológicas ao plantio da vegetação.

O primeiro passo para a realização da estabilização é fazer o diagnóstico socioambiental e a caracterização urbanística e morfológica da bacia hidrográfica e do curso d'água. O próximo passo é elencar as estruturas de contenção que possam ser associadas às SbNs. Nessa etapa, verifica-se a aptidão das SbNs em relação à sua localização estratégica, tipo de solo e características hidrológicas e hidráulicas locais (Sandre *et al.*, 2024).

Nos tópicos a seguir serão apresentadas algumas tipologias de estabilização de encostas e margens com ou sem a utilização de técnicas convencionais (gabiões, enrocamento, e outras já bastante utilizadas) associadas às SbNs. Serão objeto deste tópico, técnicas menos convencionais que enfatizam o uso das infraestruturas verdes e materiais naturais para a recomposição das margens de rios e córregos e a recomposição de encostas.

#### 2.5.7.1 Muro de Suporte Vivo em Madeira Tipo Cribwall

O Muro de Suporte Vivo em Madeira Tipo Cribwall consiste em uma estrutura composta por um arranjo em camadas, com troncos de madeira na qual durante o enchimento do muro com material drenante, são inseridas estacas ou plantas lenhosas enraizadas colocadas de modo a sobressair do muro e percorrê-lo até atingir o terreno natural. Para proteção de margens fluviais, no lugar de estacas vivas utilizam-se ramos longitudinais a fim de impedir o carreamento de sedimentos. Esse tipo de medida pode ser visto na Figura 28 (Sandre *et al.*, 2024) e na Figura 29.



Figura 28 – Muro de suporte vivo em madeira tipo Cribwall (Fonte: Guajava. Adaptado de Helgard Z., 2007).

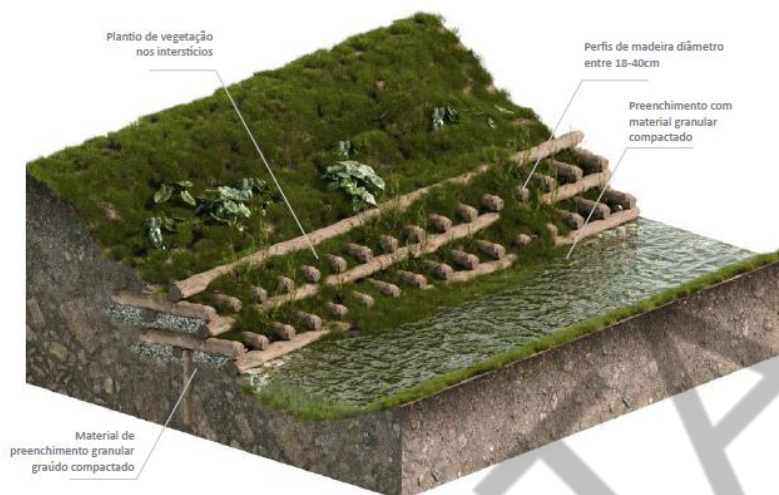


Figura 29 – Muro de suporte vivo em madeira tipo Cribwall (Fonte: Ecosalix).



#### 2.5.7.2 Muro de Suporte Vivo em Margens Fluviais

Essa técnica de estabilização se destina a margens íngremes ou subverticais de córregos e rios. Nestas cravam-se estacas de madeira na vertical e a estas são colocadas juntas pregadas e amarradas com arames ou cordas. Uma outra fiada horizontal de troncos é colocada para garantir a estabilidade da contenção, e

posteriormente plantam-se gramíneas e trepadeiras para auxiliar na retenção da camada mais superficial conforme pode ser visto na Figura 30 (Sandre *et al.*, 2024) e na Figura 31.

Figura 30 - Muro de Suporte Vivo em Margens Fluviais (Fonte: Guajava. Adaptado de Helgard Z., 2007).



Figura 31 – Muro de Suporte Vivo em Margens Fluviais (Fonte: Ecosalix).





### 2.5.7.3 Grade Viva

São estruturas de contenção compostas por grades de madeira com parede simples ou dupla, que são opções para a estabilização de terrenos altos e com declives íngremes, com uma altura e uma inclinação máxima de até 20 m e 70 graus, respectivamente. As grades são fixadas com pregos ou outros tipos de ancoragem no terreno, como estacas de madeira, de metal, amarração de plantas com treliças, sistema de raízes, e sua escolha depende do tipo do terreno e das condições locais. O enchimento pode ser feito por plantas em torrão ou transplantadas simultaneamente e/ou semeadas posteriormente à implantação das estruturas de madeira (Figura 32 e Figura 33) (Sandre *et al.*, 2024).

Figura 32 – Grade Viva (Fonte: Guajava, 2023 apud Sandre et al., 2024).





Figura 33 – Grade Viva (Fonte: Ecosalix).



#### 2.5.7.4 Solo Grampeado Verde

As contenções em solo grampeado verde são compostas por uma série de elementos, como grama, plantas, tela e grampos fixados pela injeção de uma calda de cimento. Esses elementos são instalados no solo de modo a formar uma espécie de “malha” que ajuda a conter o solo local. São uma opção mais natural e paisagisticamente agradável, eficazes em áreas com solos instáveis, pois a vegetação ajuda a absorver a água, e suas raízes criam uma malha superficial pode ajudar a evitar novos deslizamentos (Figura 34) (Sandre *et al.*, 2024).

Figura 34 – Solo Grampeado Verde (Fonte: Guajava, 2023 apud Sandre et al., 2024).



#### 2.5.7.5 Contenção em Geocélulas

A Contenção em Geocélulas é uma técnica desenvolvida para estabilizar taludes e margens fluviais evitando deslizamentos de terra. Elas são compostas por uma série de elementos, tais como geocélulas (camada colmeia, malha geossintética) em PEAD (Polietileno de Alta Densidade), preenchidos por areia, pedras, solo e plantas. A manta de geocélulas é estendida sobre o local a ser contido e ancorada com grampos ou chumbadores no solo prendendo o geossintético ao maciço (Figura 35). Elas podem, ainda, ser executadas em camadas sobrepostas, atuando como uma estrutura que foi executada após endentamento no talude, assim uma camada dá suporte à outra até que seja atingida a altura necessária (Figura 36).



Figura 35 - Contenção superficial em Geocélulas (Fonte: Guajava, 2023 apud Sandre et al., 2024).

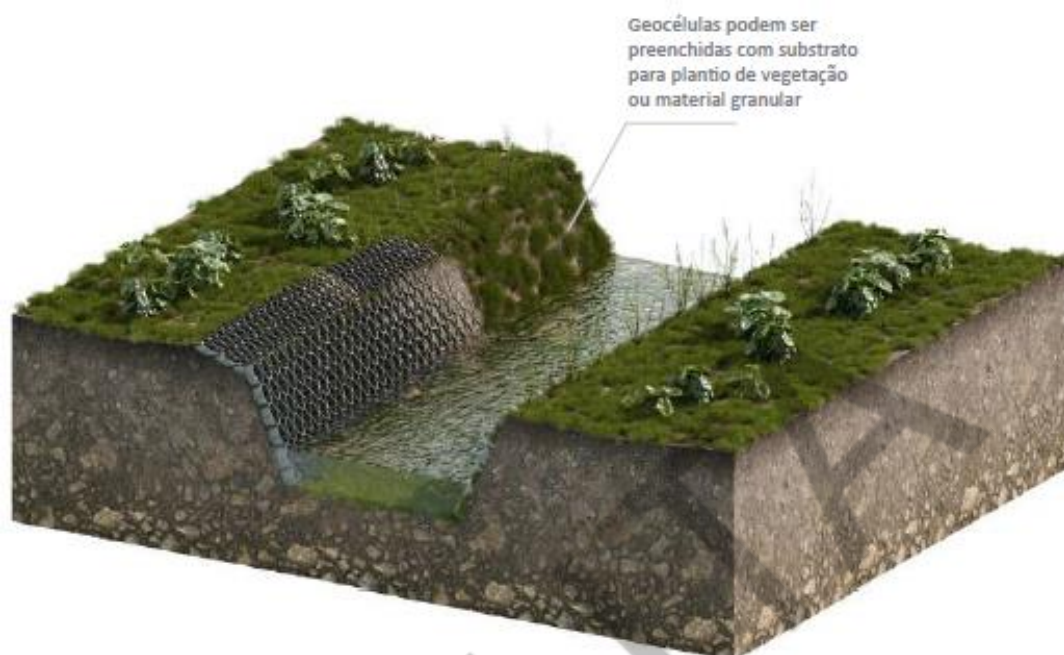


Figura 36 - Contenção estrutural em Geocélulas (Fonte: Guajava, 2023 apud Sandre et al., 2024).



A aptidão de alguns elementos usados nas SbNs pode ser analisada por meio da tabela da Figura 37.

Figura 37 – Aptidão de alguns elementos utilizados nas SbNs (Fonte: Sandre et al., 2024).

DISPOSITIVOS DE SbN		Jardim de chuva	Canteiro Pluvial com infiltração	Canteiro Pluvial sem infiltração	Biovaleta	Terraço de chuva	Escada hidráulica vegetada	Poço de infiltração	Bacia de Detenção	Bacia de Retenção	Bacia de Infiltração	Wetlands	Reservatório Anfibio	Polder Vegetado	Step Pool
PEDOLOGIA E TOPOGRAFIA	Permeabilidade Solo (condutividade hidráulica em mm/h)	Solo infiltrante (> 3,6 mm/h)													
		Solo não infiltrante (< 3,6 mm/h)													
	Declividade	0 a 5%													
		> 5%													
	Carga de sedimentos	Aporte de sólidos baixo													
		Aporte de sólidos elevado													
	Tipos de Solo (grupos hidrológicos de solos, ct. Serviço de Conservação dos Recursos Naturais-Estados Unidos (NRCS-USDA))	Grupo A Taxa de infiltração > 8 mm/h													
		Grupo B Taxa de infiltração entre 4 e 8 mm/h													
		Grupo C Taxa de infiltração entre 1,5 e 4 mm/h													
		Grupo D Taxa de infiltração < 1,5 mm/h													
LOCALIZAÇÃO	Susceptibilidade a alagamentos e inundações	Área permanentemente alagada													
		Área alagável													
		Áreas destinadas a reservação													
	Sistema viário	Calçadas													
		Rotatórias													
		Esquinas													
		Canteiro central													
	Tamanho do lote	< 100m²													
		> 100m²													
HIDROLOGIA	Sob laje	Sob laje													
	Controle de vazão/capacidade de interceptação	TR 2- 5 anos													
		TR 5- 10 anos													
		TR 10- 25 anos													
		TR 25- 100 anos													
	Proximidade ao lençol freático	< 1 m Planície Aluvial													
		> 1 m													
	Drenagem e escoamento das águas	Detenção													
		Retenção													
		Condução													
		Infiltração													

Grau de aptidão para receber dispositivos de SbN: ● Recomendado ● Possível ● Não recomendado

## 2.6 CRITÉRIOS DE ESCOLHA DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS

A seleção de técnicas compensatórias, sobretudo no contexto da gestão de águas pluviais urbanas, demanda uma análise criteriosa e multidisciplinar. Essas técnicas, que visam mitigar os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico, devem ser escolhidas com base em um conjunto de critérios que consideram as particularidades de cada local. Alguns critérios usualmente considerados são apresentados nas tabelas abaixo.

Tabela 4 - Importância relativa de restrições à implantação e operação das técnicas

Técnica	Restrições à implantação e operação das técnicas					
	Permeabilidade do solo	Declividade	Proximidade do lençol	Proximidade do leito rochoso	Restrições ao uso do solo	Aporte de sólidos
Bacia de detenção	+	+	+	++	+++	++
Bacia de infiltração	+++	+	+++	+++	+++	+++
Valas e valetas de detenção	+	++	+	++	++	++
Valas e valetas de infiltração	+++	+++	+++	+++	++	+++
Pavimentos porosos	++	+++	++	+	+	+++
Revestimentos permeáveis	++	+++	++	+	+	+++
Trincheiras de detenção	+	++	++	++	++	+
Trincheiras de infiltração	+++	+++	+++	+++	++	+
Poços de infiltração	+++	+	+++	+++	+	+
Telhados armazenadores	+	+	+	+	+	+
Reservatórios individuais	+	+	++	++	+	+

+++ : grande importância; ++ : média ou possível importância; + : importância pequena ou nula.

Tabela 5 – Lista de critérios seletivos (Azzout et al., 1995 e Barraud et al., 1999).

Critério	Classe de limitação	Incidência da classe de limitação
Comportamento do solo na presença de água	Ruim	Uso de técnicas de detenção
Vulnerabilidade da água subterrânea à água de chuva	Sim	Uso de técnicas de detenção
Capacidade de absorção na superfície do solo	Ruim ( $<10^{-7}$ m/s)	Uso de técnicas de detenção
Capacidade de absorção do solo abaixo da superfície	Ruim ( $<10^{-7}$ m/s)	Uso de técnicas de detenção
Alto nível da água do lençol freático	Aproximando-se ao nível do solo	Uso de técnicas de detenção; uso de poços de injeção e bacias molhadas
Risco de águas poluídas	Médio	Uso de dispositivos de tratamento
	Alto	Uso de técnicas de detenção e de dispositivos de tratamento
Capacidade de condução	Ruim	Impossível usar superfície permeável para infiltração ou técnicas lineares para drenagem de pavimentos
Saída permanente	Não	Problemas para drenar a área usando técnicas de detenção
Disponibilidade de espaço (ao lado de um pavimento, estacionamento ou edifício)	Não	Impossível utilizar técnicas que requerem uma área mais larga que a área a ser drenada
Risco de água com silte	Sim	Necessidade de dispositivos de tratamento e uso de revestimento à prova d'água impermeável
Tipo de tráfego	Pesado	Uso de revestimento impermeável para pavimentos permeáveis
Presença de forças cortantes	Sim	Uso de revestimento impermeável para pavimentos permeáveis
Clima de montanha	Sim	Uso de revestimento impermeável para pavimentos permeáveis, não telhado armazenador
Declividade local (parte a ser drenada, possível disponibilidade de espaço)	Leve a íngreme	Instalação de partições
Chegada contínua de água	Não	Bacias de retenção não podem ser usadas
Baixo nível da água do lençol freático	Não se aproxima do nível do solo	Bacias de retenção não podem ser usadas
Excessiva declividade do telhado	Média ( $<5\%$ )	Instalação de partições no telhado
	Excessiva ( $>5\%$ )	Não pode ser usado telhado armazenador
Edifício adequado ao armazenamento	Não	Não pode ser usado telhado armazenador



Tabela 6 - Vantagens e inconvenientes das medidas compensatórias.

Técnica	Vantagens	Inconvenientes
Bacias de Detenção	<ul style="list-style-type: none"> <li>Efeito paisagístico com a criação de zonas verdes em meio urbano (Certu, 1998);</li> <li>As bacias molhadas podem estar ligadas ao lazer e atividades náuticas (Certu, 1998);</li> <li>Uso múltiplo das bacias com utilização das águas pluviais para outros fins (irrigação de jardins, lavagem de pisos, etc.), em bacias de pequeno porte construídas em lotes urbanos (GVSD, 2004);</li> <li>As bacias secas podem ser arborizadas, instaladas em espaços verdes inundáveis;</li> <li>Técnica antiga com aplicação bem conhecida (Certu, 1998);</li> <li>Nas bacias com infiltração há a recarga do lençol, a dispensa de tubulação de descarga e exutório a jusante (Certu, 1998);</li> <li>Em períodos secos, as bacias secas podem ser utilizadas para outras finalidades, tais como a prática de esportes (vôlei, futebol, e outros) (UDFCD, 2002);</li> <li>As bacias de infiltração secas são eficientes na redução do pico da cheia, na melhoria da qualidade da água e na remoção de matéria particulada (UDFCD, 2002).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bacias alagadas - risco à segurança da população ribeirinha (Certu, 1998);</li> <li>Necessidade de grandes áreas (Certu, 1998);</li> <li>Poluição do lençol freático pelas bacias com infiltração (Certu, 1998);</li> <li>Eventuais aborrecimentos por ocasião da estagnação das águas (Certu, 1998).</li> </ul>
Telhados Armazenadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>Armazenamento imediato e temporário para uma parcela (Certu, 1998);</li> <li>Não consome espaço no solo (Certu, 1998);</li> <li>Boa integração estética a todos os tipos de habitações (Certu, 1998);</li> <li>Sua execução não necessita de técnica particular em relação às coberturas tradicionais (Certu, 1998);</li> <li>Seu processo de armazenamento não acarreta sobrecusto em relação às coberturas tradicionais (Certu, 1998);</li> <li>Redução dos níveis de calor no interior dos edifícios;</li> <li>Filtração e remoção de partículas finas do ar (Peck e Kuhn, 2001 <i>apud</i> GVSD, 2004);</li> <li>Aumento da vida útil de coberturas convencionais (GVSD, 2004).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Em obras já existentes, há a necessidade de verificação da estabilidade das estruturas;</li> <li>Há necessidade de cuidados na aplicação do material para garantia da estanqueidade.</li> </ul>

Técnica	Vantagens	Inconvenientes
Pavimentos com estrutura de reservação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inserção no meio urbano sem necessidade de espaço suplementar (Certu, 1998);</li> <li>• Redução dos ruídos pela circulação de veículos (Certu, 1998);</li> <li>• Melhoria no conforto dos usuários pela redução das poças d'água, do reflexo dos faróis, e da visibilidade da sinalização horizontal (Certu, 1998);</li> <li>• Melhoria na aderência e redução do risco de aquaplanagem (Certu, 1998);</li> <li>• Melhoria da água do escoamento devido à redução dos poluentes por decantação (Certu, 1998);</li> <li>• Alimentação do lençol freático (Azzout, 1994);</li> <li>• Efeito estético pela combinação de cores e padrões dos blocos (UDFCD, 2002);</li> <li>• Pode ser utilizado livre de drenagem do subsolo (UDFCD, 2002).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A utilização de material poroso na superfície apresenta o risco de colmatação (Certu, 1998);</li> <li>• Necessidade de manutenção regular (Azzout, 1994);</li> <li>• Estrutura tributária de obstrução do subsolo (Azzout, 1994);</li> <li>• Sensibilidade ao gelo (Azzout, 1994);</li> <li>• Custos de manutenção e restauração elevado (Azzout, 1994 e UDFCD, 2002);</li> <li>• Risco de poluição do lençol freático (Certu, 1998).</li> </ul>
Trincheiras de infiltração e retenção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Essa técnica se insere em meio urbano e ocupa pouco espaço (Certu, 1998);</li> <li>• Possui boa integração com o tecido urbano em função das diversas formas que ela pode assumir e à diversidade de materiais para composição da sua superfície (Certu, 1998);</li> <li>• É uma técnica antiga, de fácil execução (Certu, 1998);</li> <li>• Sua aplicação dispensa a utilização de sistemas clássicos de drenagem (Certu, 1998);</li> <li>• Os custos de implantação são reduzidos (Azzout, 1994);</li> <li>• Não necessita de um exutório (Azzout, 1994);</li> <li>• Permite a alimentação do lençol freático (Azzout, 1994).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Há o risco de poluição do lençol freático e de colmatação (Certu, 1998);</li> <li>• Necessidade de manutenção regular (Azzout, 1994);</li> <li>• Limitação no caso de declividade forte (Azzout, 1994);</li> </ul>

Técnica	Vantagens	Inconvenientes
Valas de Infiltração e Armazenamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Essa técnica assegura em um único sistema, as funções de retenção e regulação da vazão a jusante (Certu, 1998);</li> <li>Permite a delimitação de espaços (Azzout, 1994);</li> <li>Pode ser inserida na criação de uma paisagem vegetal e de espaços verdes (Certu, 1998);</li> <li>Suas margens podem ter usos múltiplos para lazer (Certu, 1998);</li> <li>Pode ser executado por fases segundo as necessidades de armazenamento, evoluindo de acordo com o desenvolvimento da área (Certu, 1998);</li> <li>É uma solução de baixo custo (Certu, 1998);</li> <li>É desnecessária a colocação de coletores e reduz as dimensões da rede de drenagem clássica (Certu, 1998);</li> <li>Favorece a decantação e filtração das águas (Certu, 1998);</li> <li>Favorece a alimentação do lençol freático (Certu, 1998).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Necessidade de manutenção regular (Azzout, 1994);</li> <li>Inconvenientes relacionados à estagnação da água (Certu, 1998);</li> <li>A utilização dos dispositivos sem a introdução de condutos pode ocasionar encharcamentos, ser fonte de odores indesejáveis e criação de mosquitos (Certu, 1998 e UDFCD, 2002);</li> <li>Possibilidade de colmatação (Azzout, 1994);</li> <li>Risco de acidente em período de enchimento (Azzout, 1994);</li> <li>Risco de poluição do lençol freático (Azzout, 1994).</li> </ul>

Técnica	Vantagens	Inconvenientes
Poços de Infiltração	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conceção simples (Certu, 1998);</li> <li>• Pode ser utilizado à escala de uma simples parcela até a espaços coletivos (Certu, 1998);</li> <li>• Bem adaptado em terrenos planos onde a drenagem é difícil de ser executada (Certu, 1998);</li> <li>• É uma técnica pouco onerosa (Certu, 1998);</li> <li>• Demanda pouca manutenção (Certu, 1998);</li> <li>• Se adapta a todos os tipos de uso, com exceção dos usos industriais ou aqueles que apresentem presença de finos (Certu, 1998);</li> <li>• É uma técnica que se integra ao tecido urbano e é quase imperceptível (Certu, 1998);</li> <li>• A área onde a medida é implantada pode ser utilizada para outros fins tais como lazer (Certu, 1998);</li> <li>• Complementa as outras técnicas (Certu, 1998);</li> <li>• Permite acessar camadas mais profundas do solo quando a camada superficial é impermeável sem limitações da topografia (Certu, 1998);</li> <li>• Redução dos volumes de escoamento e das dimensões da rede de drenagem clássica (Certu, 1998);</li> <li>• Alimentação do lençol freático e indiretamente dos níveis de estiagem dos rios (Certu, 1998);</li> <li>• A passagem da água pelo meio poroso assegura a filtração de material em suspensão e uma depuração bacteriológica (Certu, 1998);</li> <li>• Não necessita de exutório (Azzout, 1994).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risco de poluição do lençol freático (Azzout, 1994);</li> <li>• Risco de colmatção (Azzout, 1994).</li> </ul>

Tabela 7 – Características necessárias à inserção das técnicas compensatórias

Técnica	Característica
Bacias úmidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para satisfazer os usos secundários ligados às atividades aquáticas de lazer, deve-se garantir água de boa qualidade. Recomenda-se, nesse caso a utilização de uma rede separadora (Certu, 1998);</li> <li>Deve ser prevista a alimentação da bacia durante os períodos de seca (Certu, 1998);</li> <li>Evitar a poluição por águas pluviais contendo metais pesados e matéria orgânica, rejeitos industriais e particulares (Certu, 1998).</li> </ul>
Bacias secas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prever frequência de utilização, duração e altura de submersão pequenas (Certu, 1998);</li> <li>Prever sistema de drenagem para evacuar as águas provenientes do lençol freático e manter a capacidade mínima de armazenamento da bacia (Certu, 1998).</li> </ul>
Todos os tipos de bacia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evitar sua contaminação por resíduos (Certu, 1998);</li> <li>Gestão rigorosa (Certu, 1998);</li> <li>Prever o uso secundário da bacia para obrigar a sua manutenção (Certu, 1998);</li> <li>Limitar os riscos de poluição do lençol pela infiltração utilizando, quando necessário, sistemas de pré-tratamento (Certu, 1998).</li> </ul>
Bacias de infiltração	<ul style="list-style-type: none"> <li>Devem ter de 0,5 a 3,0m de profundidade (Daywater, 2003);</li> <li>A base deve estar todo o tempo acima do nível do lençol freático (Daywater, 2003);</li> <li>São bem ajustadas a solos com taxas de infiltração acima de 15mm/h (Daywater, 2003);</li> <li>Para a remoção de sólidos totais, taxa de infiltração necessária de 5m<sup>3</sup>/ha/m<sup>2</sup> (Daywater, 2003);</li> <li>A retenção de poluentes deve ocorrer nos primeiros 30cm (Daywater, 2003);</li> <li>Área requerida de 0,5 a 2,0% da área de contribuição (UDFCD, 2002).</li> </ul>
Bacias de retenção	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análise do balanço da água para assegurar um risco de transbordamento aceitável e um fluxo de base maior que as taxas de evaporação e infiltração (Daywater, 2003);</li> <li>Profundidade da água de 1,2 a 3,5m (UDFCD, 1999; Persson, 1999 e Larm, 1994 <i>apud</i> Daywater, 2003)</li> <li>Declividade das paredes: mínimo 1:2(vertical/horizontal) para solos estáveis; 1:3 ou 1:4 para solos no que diz respeito à segurança, manutenção e remoção de poluentes; 1:5 – 1:10 preferível (necessidade de grande área) (UDFCD, 1999; Persson, 1999; SNRA, 1998; SEPA, 1997; Hvitved-Jacobsen <i>et al</i>, 1994 e Larm, 1994 <i>apud</i> Daywater, 2003)</li> <li>Comprimento/largura: 2:1 a 3:1 (UDFCD, 2002);</li> <li>Área mínima absoluta: 160m<sup>2</sup> (mínimo 8m de largura x 20m de comprimento) (Fransson e Larm, 2000 <i>apud</i> Daywater, 2003);</li> <li>Área de drenagem: 10 a 100 ha (Lönnngren, 1995 e Schueler, 1987 <i>apud</i> Daywater, 2003)</li> <li>Permeabilidade: taxa de infiltração menor que 10<sup>-9</sup>m/s (Fransson e Larm, 2000 e UDFCD, 1999 <i>apud</i> Daywater, 2003);</li> <li>Escoadouro de emergência para chuvas de 25 – 100 anos de período de retorno e barragem dimensionada para 100 anos ou mais de período de retorno (UDFCD <i>apud</i> Daywater, 2003).</li> </ul>
Trincheiras de infiltração	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aproximadamente 20% da área de drenagem (GVSD, 2004);</li> <li>Permeabilidade do solo maior que 0,6mm/h (GVSD, 2004);</li> <li>Declividade do terreno natural de 2 ou 3% (Certu, 1998);</li> <li>Profundidade do lençol freático abaixo da base da trincheira preferencialmente de 1,0m (Azzout, 1994).</li> </ul>



### **3 PROJEÇÃO DE OBRAS NECESSÁRIAS E ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA POR BACIA HIDROGRÁFICA**

No contexto da drenagem urbana, a projeção de obras necessárias e a realização de estudos de viabilidade técnica e econômica dessas obras em escala de bacia hidrográfica são fundamentais para a gestão sustentável dos recursos hídricos e para a mitigação de riscos associados a eventos hidrológicos extremos. Este processo deve ser embasado em metodologias robustas de modelagem hidrológica e hidráulica, além de uma análise detalhada dos processos erosivos que podem impactar a integridade dos ecossistemas e da infraestrutura urbana.

A modelagem hidrológica constitui uma ferramenta essencial para a compreensão da dinâmica do ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica. Por meio da simulação de variáveis como precipitação, evapotranspiração, infiltração e escoamento superficial, por exemplo, é possível “prever” cenários confiáveis de eventos extremos, como inundações e secas, que são cruciais para subsidiar os estudos de planejamento de obras hidráulicas.

Complementar à modelagem hidrológica, a modelagem hidráulica reveste-se de fundamental importância para a análise detalhada do comportamento da água em corpos hídricos e sistemas de drenagem. Ao simular o comportamento da água em resposta a diferentes condições hidrológicas e ao quantificar com precisão as vazões e os níveis d'água em qualquer ponto do sistema, a modelagem hidráulica, em virtude de sua capacidade de representar a realidade física, possibilita a otimização das intervenções hidráulicas destinadas ao controle de cheias. Dessa forma, contribui significativamente para a gestão sustentável dos recursos hídricos e para a redução dos riscos de inundação em áreas urbanas e rurais adjacentes.

A erosão, frequentemente exacerbada por práticas inadequadas de uso do solo e pela urbanização desordenada, representa um desafio considerável para a gestão das bacias hidrográficas. A análise dos processos erosivos deve ser parte integrante do estudo de viabilidade, possibilitando a identificação de áreas vulneráveis e a proposição de medidas de controle eficazes. A mitigação da erosão é essencial para a preservação da estabilidade das encostas e para a proteção dos corpos d'água,

assim como das infraestruturas urbanas, incluindo ruas, pontes e sistemas de drenagem. O assoreamento, que é uma consequência direta dos processos erosivos, tende a reduzir a capacidade de armazenamento dos reservatórios, intensificar as inundações e comprometer a qualidade da água, resultando em aumentos nos níveis de turbidez e de concentração de sedimentos.

Dessa forma, a integração da modelagem hidrológica, hidráulica e da análise dos processos erosivos é fundamental para o projeto de obras duráveis em bacias hidrográficas. A adoção dessa abordagem integrada tende a assegurar maior confiabilidade e eficácia das obras projetadas, promovendo a resiliência da bacia hidrográfica frente às mudanças climáticas e aos desafios da urbanização.

### 3.1 MODELO HIDROLÓGICO

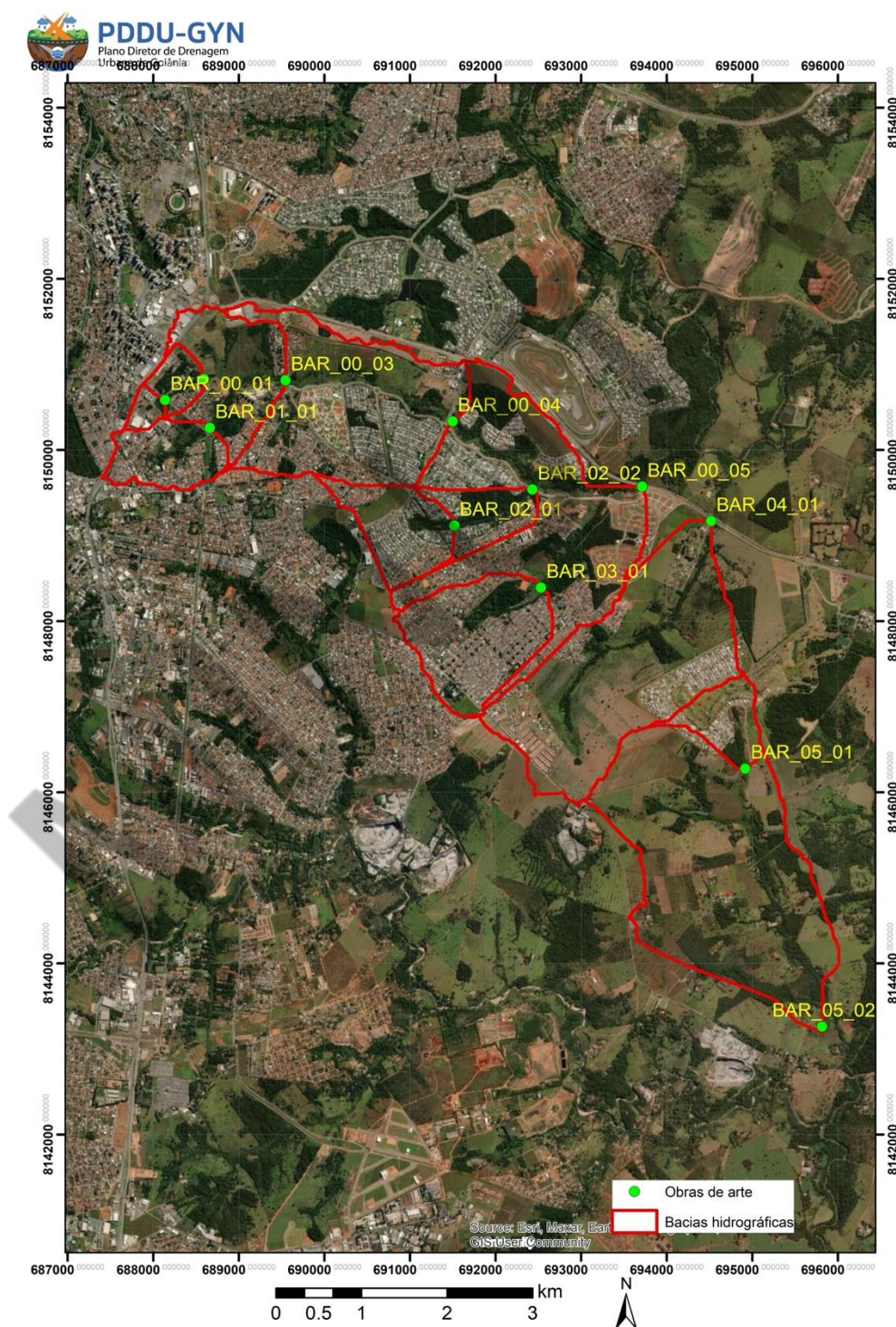
Para a caracterização inicial do modelo hidrológico foi utilizado o método da Curva Número (CN) em conjunto com o método do Hidrograma Unitário Triangular, ambos desenvolvidos pelo *National Resources Conservation Center* (antigo *Soil Conservation Service – SCS*) dos Estados Unidos. Ambas as etapas metodológicas são essenciais para a determinação do Hidrograma de Projeto de todo o curso hídrico a ser modelado.

O método da Curva Número recebe este nome em função do seu único parâmetro, a Curva Número ou simplesmente CN, obtido por meio de tabelas para cada tipo de solo, da condição de precipitação antecedente ou chuva nos dias anteriores e do uso do solo. Este modelo separa a precipitação em três componentes: excesso de precipitação ou precipitação efetiva, abstração inicial e retenção. A abstração inicial reúne a precipitação armazenada na bacia antes que se inicie o escoamento em função da interceptação vegetal ou do armazenamento nas depressões. Assim, enquanto a precipitação for inferior à abstração inicial, não há escoamento.

Para a caracterização do modelo hidrológico para o cenário de prognóstico, inicialmente foi determinada a expansão urbana esperada para todas as sub-bacias hidrográficas utilizadas na modelagem (Figura 38). Uma vez que, a expansão das áreas urbanas é um fenômeno complexo, resultante das dinâmicas socioeconômicas,

culturais e ambientais de uma região. O crescimento desordenado das cidades pode resultar em problemas para a drenagem urbana, mobilidade, meio ambiente, saúde, desenvolvimento social e econômico.

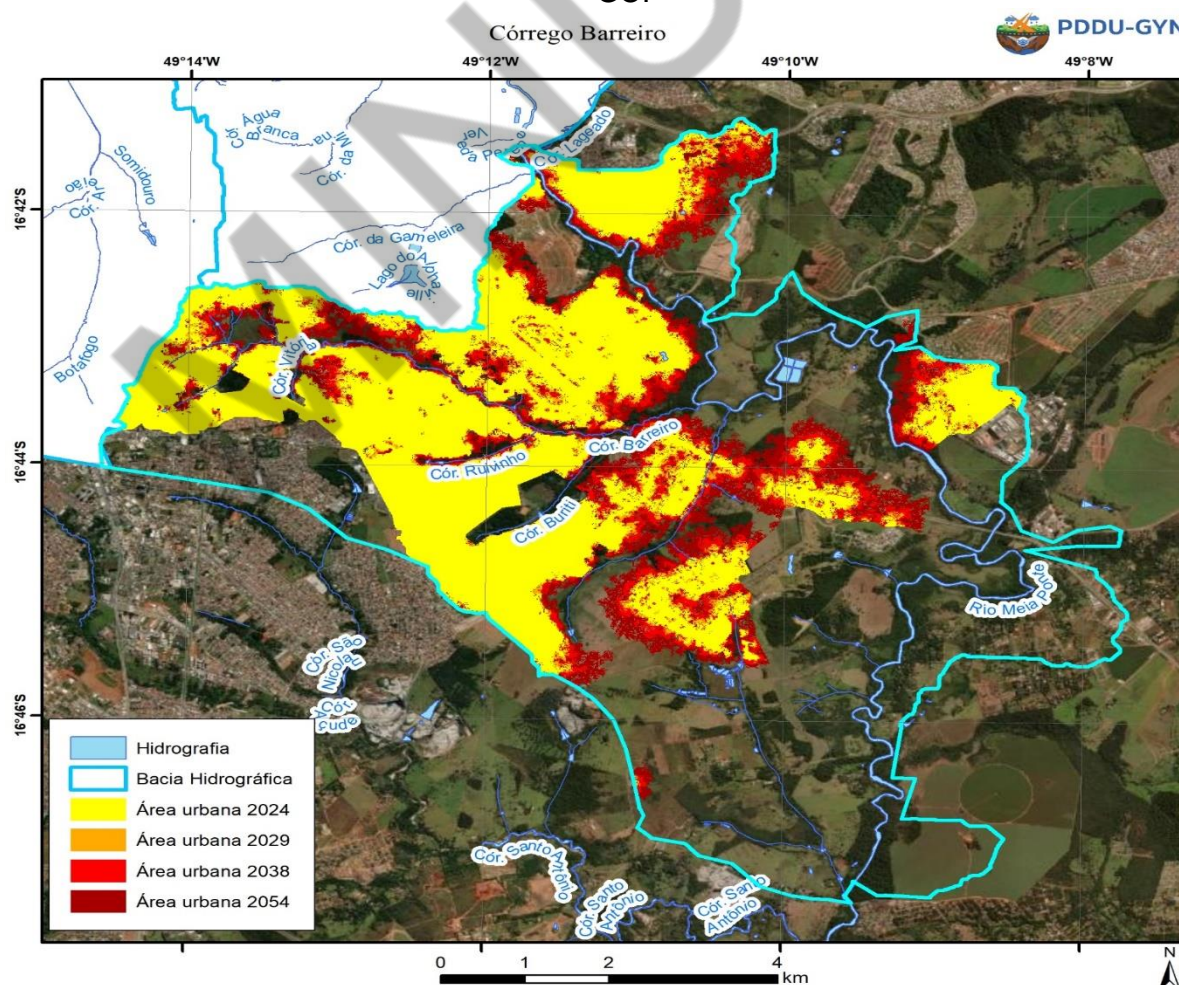
Figura 38 – Sub-bacias hidrográficas e locais das obras de arte no córrego Barreiro, Goiânia – GO.





Buscando a melhor opção para a caracterização da expansão urbana utilizou-se o programa computacional Dinâmica-EGO, desenvolvido pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), emerge como uma solução inovadora e eficaz para simular a dinâmica de expansão urbana, integrando variáveis sociais, econômicas e ambientais. As variáveis de contorno que foram utilizadas foi as bacias hidrográficas apresentadas no diagnóstico juntamente com a área urbanizada de 2016 e de 2022. Buscando melhor descrever o cenário de expansão urbana, foram ainda utilizadas as informações de empreendimentos já aprovados pela prefeitura em conjunto com as áreas destinadas a outorga onerosa. Assim foi possível caracterizar a velocidade e a área da expansão urbana. Ainda, utilizando mais algumas características da região (solos, declividade, distância do sistema viário, entre outros) como descrito na metodologia, foi possível obter o crescimento urbano para 2029, 2038 e 2054, conforme Figura 39.

Figura 39 - Cenários da expansão urbana da bacia hidrográfica do córrego Barreiro, Goiânia – GO.



Portanto, após a caracterização da expansão urbana para o horizonte de 5, 15 e 30 anos, apresentamos a Tabela 8 onde pode-se observar que a expansão atinge todas as sub-bacias, algumas em maiores proporções. Destaca-se que a expansão urbana variou de 0,00 a 0,53 km<sup>2</sup> para a expansão de 5 anos, já para a expansão de 15 anos a variação foi de 0,01 a 1,51 km<sup>2</sup>, enquanto a variação foi de 0,01 a 2,03 km<sup>2</sup> para a expansão prevista com 30 anos.

Tabela 8 – Expansão urbana para as sub-bacias hidrográficas do córrego Barreiro, Goiânia – GO.

Código	Atual	Expansão 5 anos		Expansão 15 anos		Expansão 30 anos	
	Área urb. (km <sup>2</sup> )	Área urb. (km <sup>2</sup> )	Diferença (km <sup>2</sup> )	Área urb. (km <sup>2</sup> )	Diferença (km <sup>2</sup> )	Área urb. (km <sup>2</sup> )	Diferença (km <sup>2</sup> )
BAR_00_01	0,15	0,15	0,00	0,16	0,01	0,16	0,01
BAR_00_02	0,40	0,43	0,03	0,47	0,07	0,43	0,03
BAR_00_03	2,00	2,13	0,13	2,31	0,31	2,11	0,11
BAR_00_04	4,28	4,58	0,30	5,10	0,82	5,15	0,87
BAR_00_05	9,89	10,42	0,53	11,40	1,51	11,55	1,66
BAR_01_01	0,77	0,80	0,03	0,84	0,07	0,80	0,03
BAR_02_01	0,99	1,02	0,03	1,04	0,05	1,03	0,04
BAR_02_02	1,43	1,49	0,06	1,58	0,15	1,47	0,04
BAR_03_01	1,68	1,69	0,01	1,70	0,02	1,69	0,01
BAR_04_01	1,81	2,07	0,26	2,60	0,79	3,84	2,03
BAR_05_01	0,28	0,34	0,06	0,49	0,21	0,55	0,27
BAR_05_02	0,40	0,50	0,10	0,76	0,36	2,37	1,97

Desta forma, pode-se perceber que em algumas sub-bacias houve um impacto significativo no comportamento do escoamento superficial. Assim, na área expandida em cada cenário foi previsto a implantação de dispositivos de amortecimento (poço de infiltração, trincheiras, bacias de retenção, entre outros), disponibilizando para o sistema de drenagem somente um coeficiente de escoamento superficial igual a 0,2 (C=0,2). Ainda, se considerou a implantação de dispositivos de armazenamento e infiltração (jardins de chuva, trincheira de infiltração, vales gramados, entre outros) nas vias.

Com esses cenários de expansão foi possível a determinação do CN para cada sub-bacia (Tabela 9). Sendo que, o CN sem drenagem na fonte considera somente a ampliação da urbanização, gerando assim o hidrograma de escoamento superficial sem nenhuma compensação, enquanto o com drenagem na fonte, já considera o amortecimento realizado nas vias e lotes da área expandida.



Tabela 9 – Coeficiente de escoamento da Curva Número para as sub-bacias hidrográficas do córrego Barreiro, Goiânia – GO.

Código	Atual	Expansão 5 anos		Expansão 15 anos		Expansão 30 anos	
	CN	CN (sem dren. na fonte)	CN (com dren. na fonte)	CN (sem dren. na fonte)	CN (com dren. na fonte)	CN (sem dren. na fonte)	CN (com dren. na fonte)
BAR_00_01	87,69	88,68	87,96	89,65	88,23	89,85	88,28
BAR_00_02	83,18	85,52	83,48	88,34	83,84	89,40	83,98
BAR_00_03	81,67	82,80	81,52	84,47	81,30	86,40	81,04
BAR_00_04	79,93	81,24	79,90	83,57	79,84	86,43	79,76
BAR_00_05	79,54	80,74	79,65	82,95	79,85	85,54	80,09
BAR_01_01	85,41	86,56	85,50	87,77	85,60	88,66	85,67
BAR_02_01	85,88	86,96	86,18	87,91	86,44	89,05	86,75
BAR_02_02	82,32	83,55	82,61	85,62	83,10	87,68	83,59
BAR_03_01	83,93	84,15	83,99	84,29	84,04	84,41	84,07
BAR_04_01	68,24	70,23	68,57	74,31	69,24	80,80	70,31
BAR_05_01	65,92	69,90	67,01	78,80	69,44	85,61	71,30
BAR_05_02	55,21	55,75	55,32	57,26	55,61	59,36	56,02

Após a determinação do CN de prognóstico, juntamente com o tempo de concentração (baseado no modelo hidrodinâmico) e os hidrogramas triangulares, foi realizada a análise do escoamento superficial do sistema de macrodrenagem. Assim, no Apêndice A são apresentados os hietogramas e hidrogramas de projetos para um período de recorrência (TR) de 50 anos de todas as sub-bacias hidrográficas do Capivara, considerando a expansão urbana prevista para um horizonte de 5, 15 e 30 anos. Enquanto no Apêndice B são apresentados os hietogramas e hidrogramas para a expansão urbana prevista em um horizonte de 30 anos considerando a implantação de dispositivos de armazenamento e/ou redução da vazão máxima nos lotes e vias.

### 3.2 MODELO HIDRÁULICO

Como apresentado no diagnóstico, a caracterização inicial do modelo hidrodinâmico foi utilizado o MDT de 0,1 metro de resolução da região do córrego Barreiro, obtido pelo sistema LIDAR e realizado em 2024. Assim, a modelagem hidrodinâmica de prognóstico foi realizada com base no modelo apresentado no diagnóstico (Figura 40) para os cenários de expansão urbana com e sem medidas de amortecimento das ondas de cheia apresentadas na modelagem hidrológica.

Figura 40 – Detalhamento da discretização do córrego Barreiro.



A modelagem dos cenários considerando expansão urbana para 5, 15 e 30 anos, considerando a precipitação com um período de recorrência de 50 anos, nesta análise é possível observar o impacto da expansão sem nenhum amortecimento e/ou alterações estruturais do sistema de macrodrenagem. A situação do sistema de macrodrenagem e das respectivas obras de arte, a uma ampliação da vazão escoada pelo sistema, o que acaba agravando o problema das obras de arte que já apresentavam a capacidade hidráulica comprometida. Esta situação acarreta inundações e alagamentos, comprometimento do sistema de macrodrenagem, problemas na infraestrutura viária e ainda, danos materiais e/ou perda de vidas, sendo estas relacionadas com os períodos chuvosos de alta intensidade pluviométrica. Destaca-se que o perfil longitudinal dos cursos d'água pertencentes a bacia do córrego Barreiro, são apresentados para todos os cenários de expansão (Figura 41).

Assim, com o objetivo de apresentar as planícies de inundações as quais indicam a problemática da ineficiência hidráulica das obras de arte e/ou do córrego, desta forma, a situação do córrego Barreiro em relação aos cenários estudados, é apresentado nas Figura 43 e Figura 44 o pior cenário de expansão, relativo a expansão urbana prevista para 30 anos e uma precipitação com período de recorrência de 50 anos.



Figura 41 – Perfil longitudinal da cota d'água no BAR\_00 – expansão urbana de 30 anos e TR 50 anos, sem drenagem na fonte.

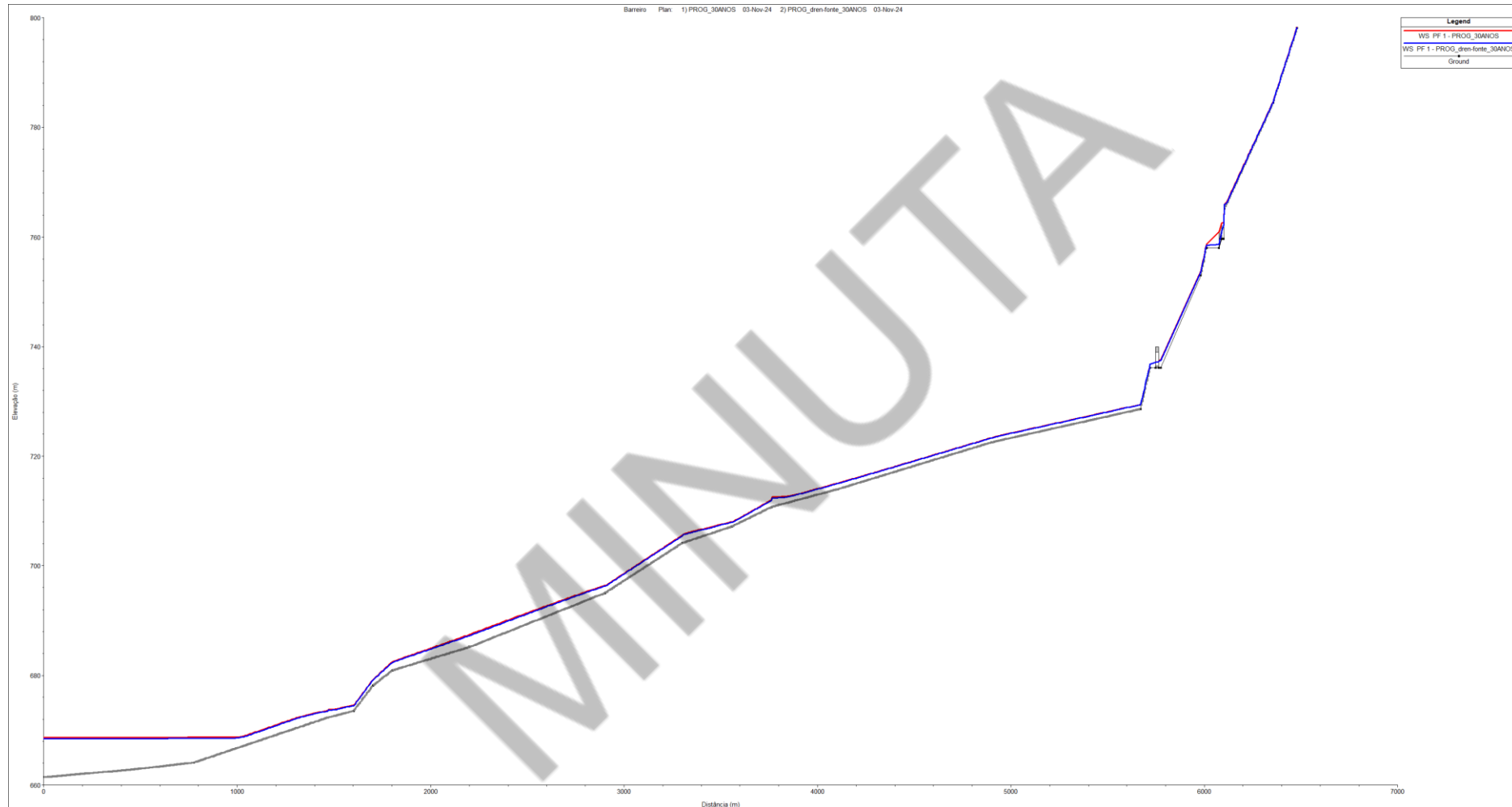


Figura 42 – Perfil longitudinal da cota d'água no BAR\_01 – expansão urbana de 30 anos e TR 50 anos, com drenagem na fonte.

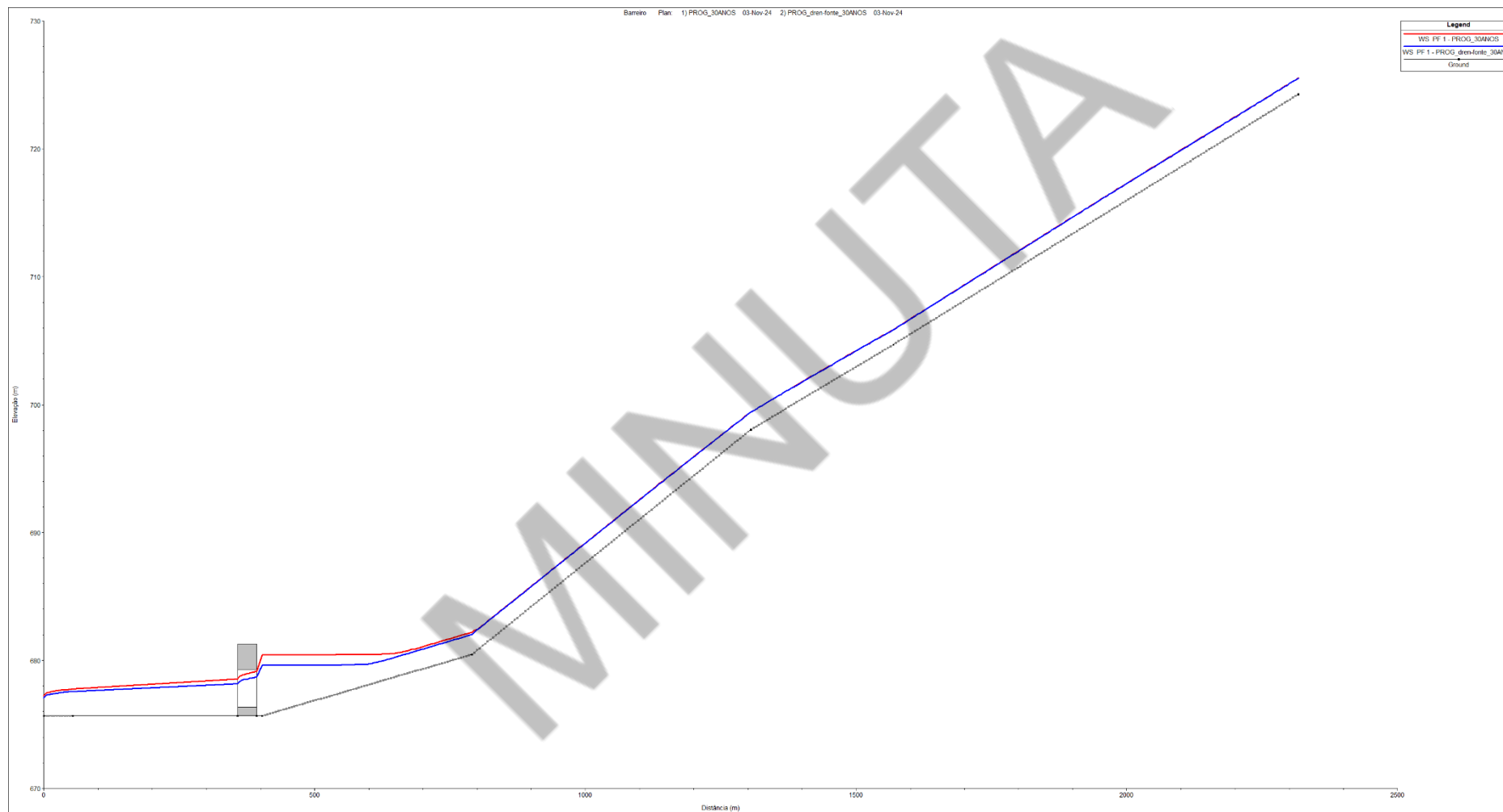




Figura 43 – Mancha de inundação simulada para o córrego Barreiro para a expansão urbana de 30 anos e TR 50 anos, sem drenagem na fonte.

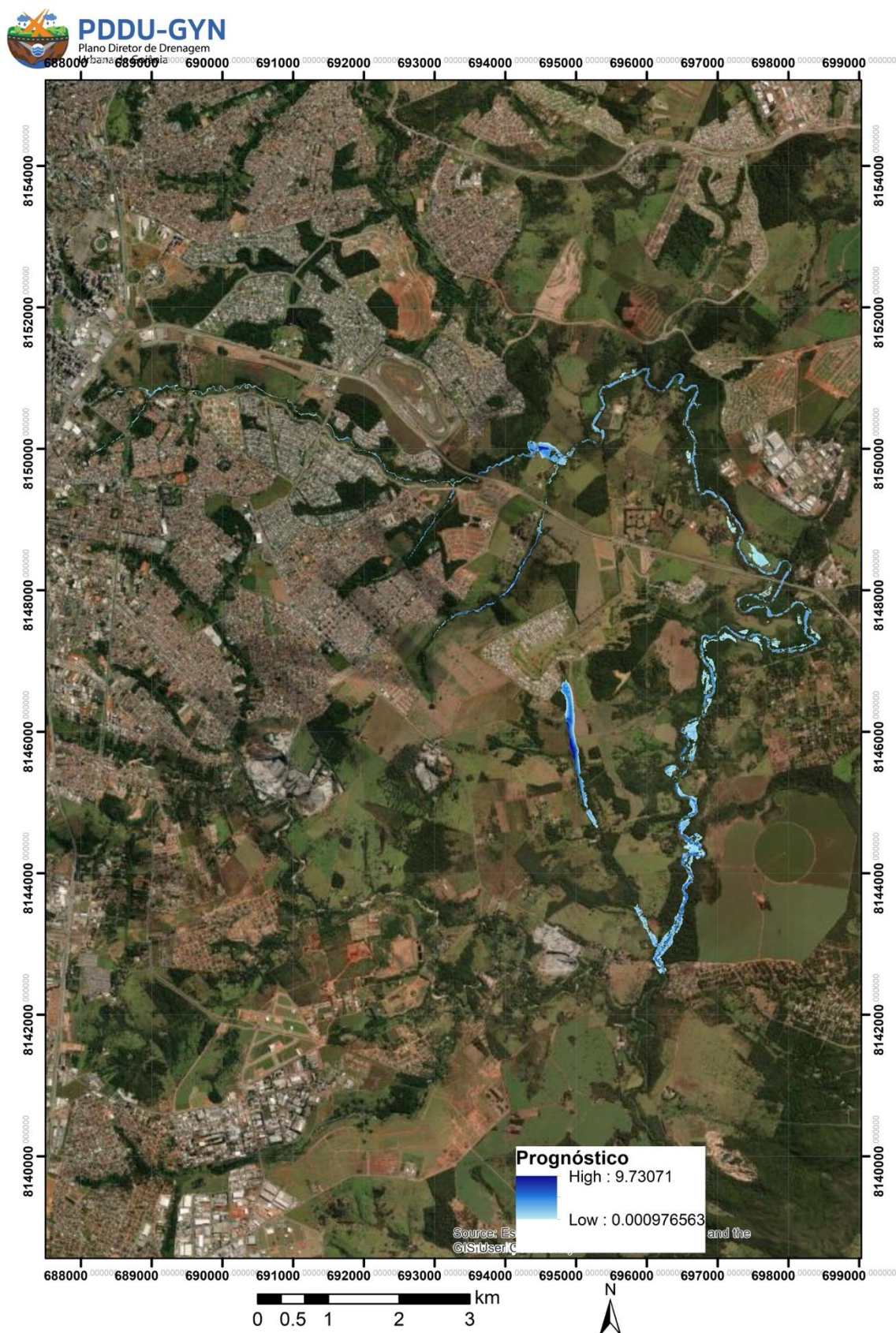
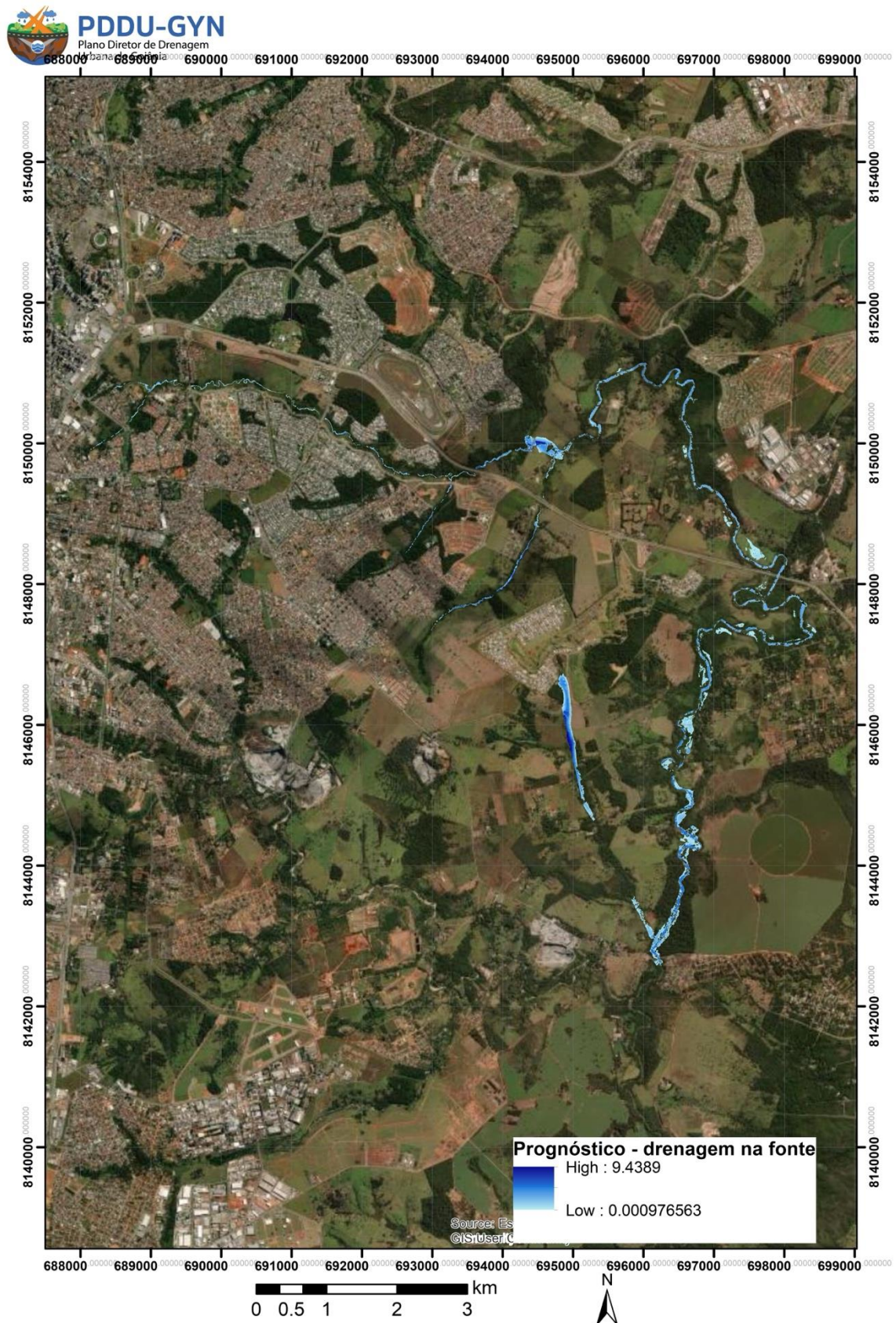




Figura 44 – Mancha de inundação simulada para o córrego Barreiro para a expansão urbana de 30 anos e TR 50 anos, com drenagem na fonte.



Após a identificação e caracterização das vazões e volumes da expansão urbana iniciou-se o processo de determinação da capacidade hidráulica das obras de arte existentes na bacia hidrográfica (Tabela 10). Assim, com base na vazão incremental de projeto, ou seja, a vazão de contribuição na seção foi possível a determinação do volume a ser armazenado nas estruturas de retenção (aplicados no sistema de macrodrenagem) a serem inseridas na região de montante de cada obra de arte. Destaca-se que foram realizadas duas caracterizações volumétricas, uma considerando apenas as estruturas aplicadas no sistema de macrodrenagem (sem drenagem na fonte) e outra para situações em que na área de expansão foram aplicadas as estruturas de drenagem na fonte.

Tabela 10 – Capacidade hidráulica e vazões máximas das obras de arte simuladas no córrego Barreiro, Goiânia – GO.

Código	TC (min)	T Increment. (min)	Capa. Hidrá (m³/s)	Vazão (s. dren. fonte) (m³/s)	Vazão (c. dren. fonte) (m³/s)	Dif. (sem) (capac - vazão)	Dif. (com) (capac - vazão)
BAR_00_01	1,69	0,00		0,22	0,05		
BAR_00_02	15,90	14,21	1,16	8,09	5,25	6,93	4,09
BAR_00_03	374,88	358,98	32,82	11,33	9,62	-21,48	-23,20
BAR_00_04	392,16	17,28		24,68	20,12		
BAR_00_05	408,65	16,49		51,89	43,93		
BAR_01_01	12,58	0,00		13,80	10,60		
BAR_02_01	10,11	0,00		17,52	14,06		
BAR_02_02	24,82	14,71	13,09	25,34	19,37	12,25	6,28
BAR_03_01	15,50	0,00		21,84	21,24		
BAR_04_01	39,05	23,55		41,00	21,24		
BAR_05_01	13,20	0,00		8,17	1,61		
BAR_05_02	68,96	55,77		11,95	8,40		

Buscando melhor apresentar as informações relativo à determinação dos volumes a serem armazenados principalmente nas seções onde a necessidade do armazenamento (diferença é negativa apresentada na Tabela 10) são apresentados os hidrogramas de pré e pós-implantação das estruturas de armazenamento a montante de cada obra de arte. Sendo que o Apêndice C referentes ao armazenamento aplicado no sistema de macrodrenagem para o cenário de expansão urbana de 30 anos e TR 50 anos sem considerar nenhuma estrutura de



armazenamento na fonte. Enquanto no Apêndice D é referente ao cenário que considera as estruturas de amortecimento aplicados na fonte.

Portanto, para apresentação da projeção e viabilidade das obras necessárias para cada sub-bacia foi realizada uma composição de custo, a qual considera que o reservatório terá uma profundidade de até 2 metros de altura sendo composto de 50% de material de primeira categoria, e 50% de segunda categoria sempre com escavadeira hidráulica, ou seja, sem considerar a necessidade de execução de detonação. Ainda, foi considerado a construção de pavimentação com bloco de concreto sextavado no entorno do dispositivo de reservação, considerando a aplicação de manta geotêxtil em toda a estrutura. Desta forma, o custo aproximado do m³ a ser armazenado foi de R\$ 110,00, sendo necessário a implantação de um sistema de gradeamento na alimentação do reservatório a qual possui um custo aproximado de R\$ 395,00.

Com base, nos hidrogramas apresentados e na composição dos custos é foi possível determinar os volumes a serem armazenados a montante de cada obra de arte. Desta forma, se observa o aumento dos volumes a serem armazenados conforme ocorre a expansão urbana, ou seja, para o cenário onde não há aplicação de drenagem na fonte (Tabela 11) os volumes a serem armazenados a montante de cada obra de arte totalizaram 8.629,58 m³ para a expansão de 5 anos e um custo de R\$ R\$ 950.043,41, para o cenário de 15 anos o volume foi de 13.230,27 m³ e um custo de R\$ 1.456.119,33, enquanto na expansão de 30 anos o custo foi de R\$ 1.946.367,23 para um volume de 17.687,07 m³.

Tabela 11 – Volume de armazenamento (sem drenagem na fonte) e custos das obras a serem implantadas no córrego Barreiro, Goiânia – GO.

Código	Expansão 5 anos		Expansão 15 anos		Expansão 30 anos	
	Volume (m³)	Custo (R\$)	Volume (m³)	Custo (R\$)	Volume (m³)	Custo (R\$)
BAR_00_01	0,00		0,00		0,00	
BAR_00_02	4.041,64	444.975,24	5.547,61	610.632,18	6.200,48	682.447,56
BAR_00_03	0,00		0,00		0,00	
BAR_00_04	0,00		0,00		0,00	
BAR_00_05	0,00		0,00		0,00	
BAR_01_01	0,00		0,00		0,00	
BAR_02_01	0,00		0,00		0,00	
BAR_02_02	4.587,94	505.068,17	7.682,66	845.487,15	11.486,59	1.263.919,67
BAR_03_01	0,00		0,00		0,00	



Código	Expansão 5 anos		Expansão 15 anos		Expansão 30 anos	
	Volume (m³)	Custo (R\$)	Volume (m³)	Custo (R\$)	Volume (m³)	Custo (R\$)
BAR_04_01	0,00		0,00		0,00	
BAR_05_01	0,00		0,00		0,00	
BAR_05_02	0,00		0,00		0,00	
<b>Total</b>	<b>8.629,58</b>	<b>R\$ 950.043,41</b>	<b>13.230,27</b>	<b>R\$ 1.456.119,33</b>	<b>17.687,07</b>	<b>R\$ 1.946.367,23</b>

Considerando o cenário onde há aplicação de drenagem na fonte (Tabela 12), se observa também o aumento dos volumes a serem armazenados conforme ocorre a expansão urbana contudo em menores volumes quando comparado ao cenário sem aplicação de drenagem na fonte. Os volumes a serem armazenados a montante de cada obra de arte totalizaram 6.519,83 m³ para a expansão de 5 anos e um custo de R\$ 717.971,13, para o cenário de 15 anos o volume foi de 7.271,03 m³ e um custo de R\$ 800.603,35, enquanto na expansão de 30 anos o custo foi de R\$ 877.840,07 para um volume de 7.973,18 m³.

Destacando a necessidade de pensar nas aplicações de dispositivos verdes e/ou compensatórios na fonte geradora do escoamento superficial, uma vez que a economia gerada ao município pode chegar a aproximadamente 1 milhão de reais. Contudo, deve-se levar em consideração que a implantação dos amortecimentos deve ser realizada sempre no sentido do escoamento, ou seja, sempre de montante para jusante para que o mesmo impacte corretamente no sistema de macrodrenagem.

Tabela 12 – Volume de armazenamento (com drenagem na fonte) e custos das obras a serem implantadas no córrego Barreiro, Goiânia – GO.

Código	Expansão 5 anos		Expansão 15 anos		Expansão 30 anos	
	Volume (m³)	Custo (R\$)	Volume (m³)	Custo (R\$)	Volume (m³)	Custo (R\$)
BAR_00_01	0,00		0,00		0,00	
BAR_00_02	3.127,96	344.471,10	3.281,48	361.357,86	3.340,05	367.800,12
BAR_00_03	0,00		0,00		0,00	
BAR_00_04	0,00		0,00		0,00	
BAR_00_05	0,00		0,00		0,00	
BAR_01_01	0,00		0,00		0,00	
BAR_02_01	0,00		0,00		0,00	
BAR_02_02	3.391,86	373.500,03	3.989,55	439.245,49	4.633,14	510.039,95
BAR_03_01	0,00		0,00		0,00	
BAR_04_01	0,00		0,00		0,00	
BAR_05_01	0,00		0,00		0,00	
BAR_05_02	0,00		0,00		0,00	
<b>Total</b>	<b>6.519,83</b>	<b>R\$ 717.971,13</b>	<b>7.271,03</b>	<b>R\$ 800.603,35</b>	<b>7.973,18</b>	<b>R\$ 877.840,07</b>

Assim, com o objetivo de apresentar as planícies de inundações as após a implantação dos dispositivos de armazenamento, para o cenário (30 anos de expansão urbana) sem a aplicação dos dispositivos de drenagem na fonte (Figura 45), e para o mesmo cenário de expansão considerando a aplicação de dispositivos na drenagem na fonte (Figura 46). Em ambas as análises pode-se perceber que não há mais a incidência de planícies de inundações que excedem a calha do Córrego Barreiro, o que indica a proposição adequada (posição e volume) dos sistemas de amortecimento.

Figura 45 - Planície de inundação para uma expansão de 30 anos sem drenagem na fonte e amortecimento no sistema de macrodrenagem.

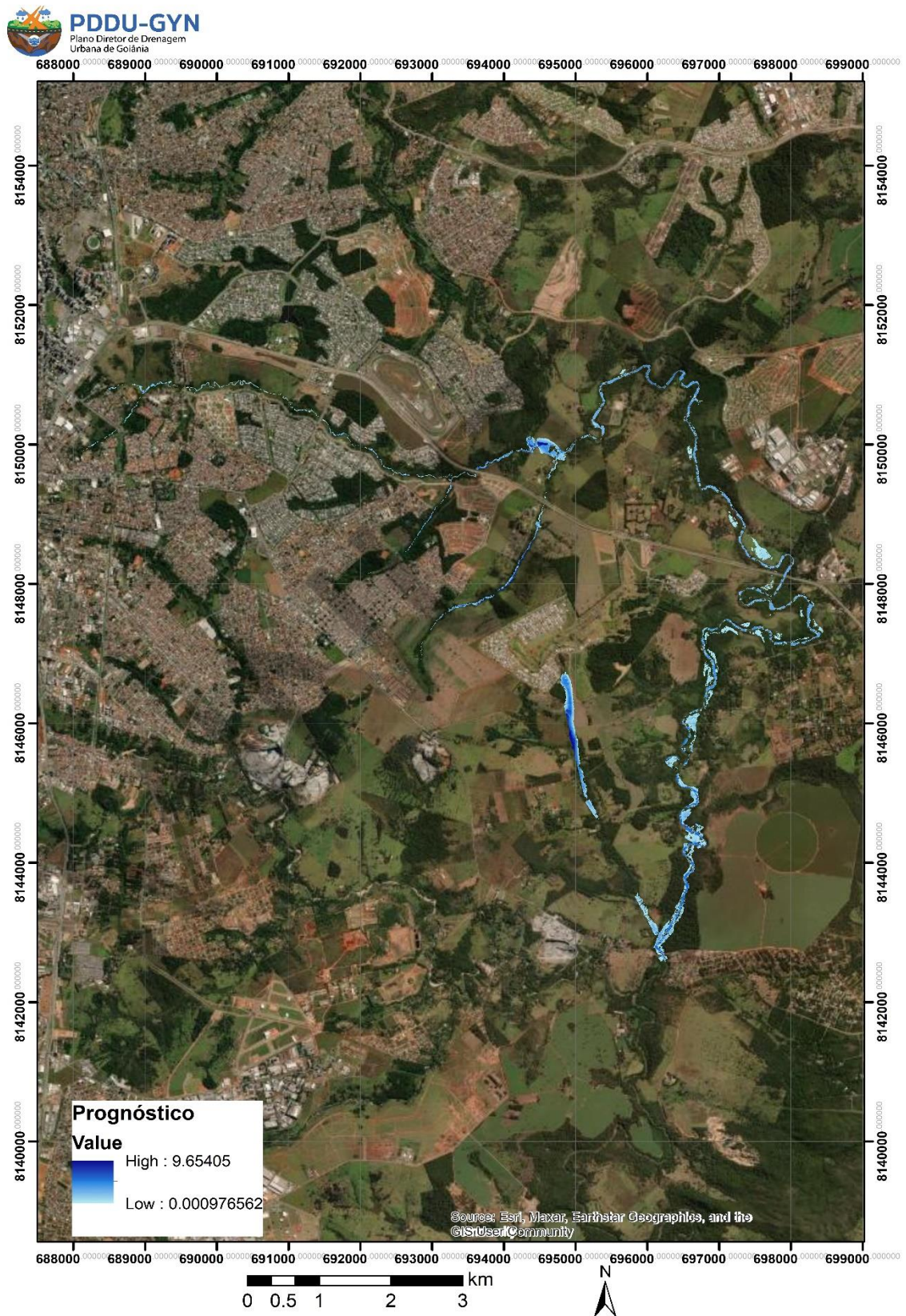
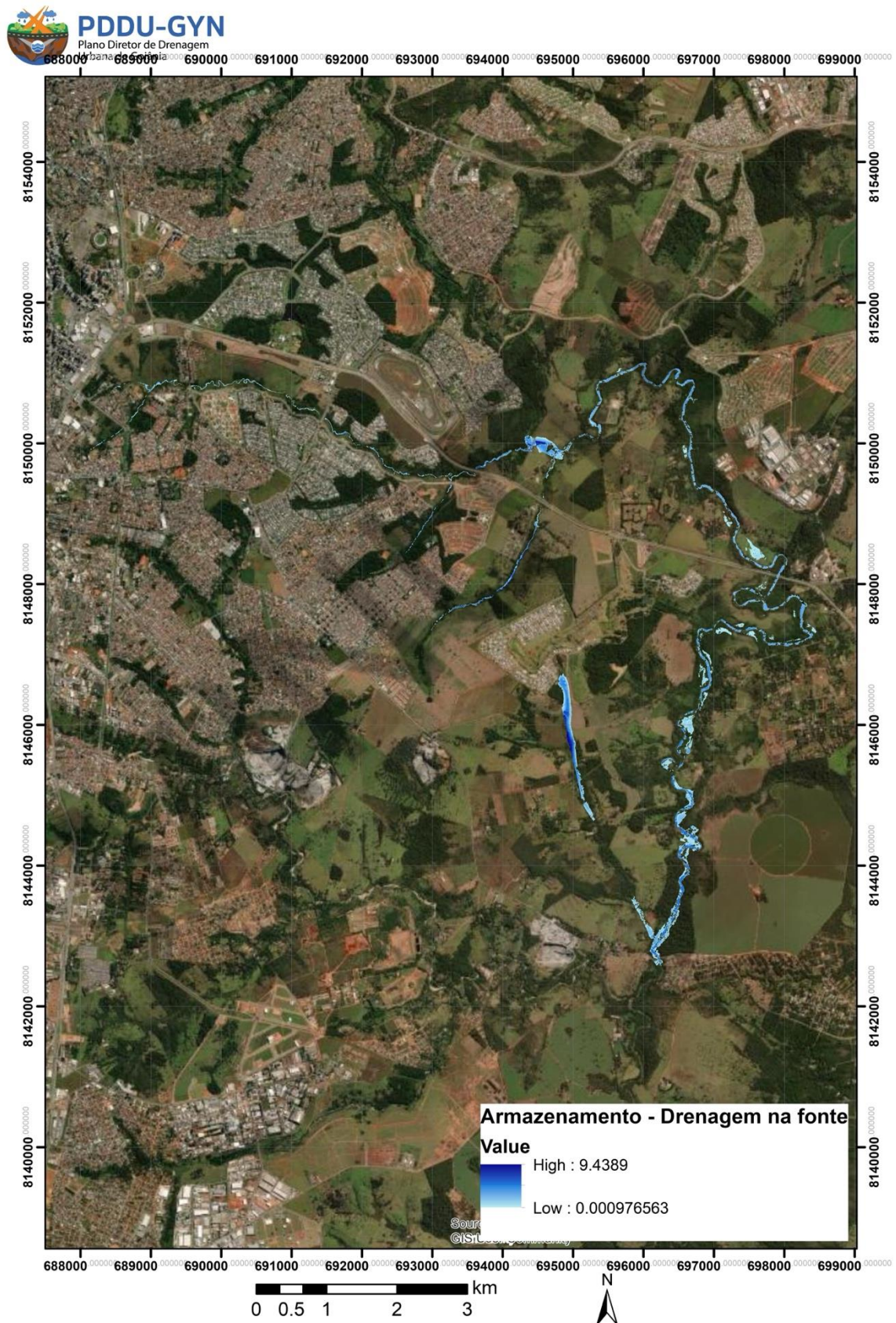




Figura 46 - Planície de inundação para uma expansão de 30 anos com drenagem na fonte e amortecimento no sistema de macrodrenagem.





### 3.3 DETALHAMENTO DAS ESTRUTURAS

O Córrego Barreiro apresenta grande parte de suas margens ocupadas, predominantemente de forma ordenada, sendo que uma extensa área é composta por condomínios fechados de alto padrão. Para viabilizar o acesso a esses empreendimentos, foi construída uma via marginal à direita do curso d'água, estendendo-se por quase todo o seu comprimento.

Nos condomínios mais recentes, foram implementadas estruturas de armazenamento pluvial em conformidade com a legislação vigente. Entretanto, tais dispositivos mostram-se insuficientes para a mitigação de cheias mais severas. O canal do córrego está bem definido e encaixado, embora apresente pontos localizados de erosão. A recomposição da vegetação ripária é essencial para a contenção dos processos erosivos, visto que a cobertura vegetal atual ao longo das margens consiste predominantemente em gramíneas de baixa capacidade de estabilização do solo.

As pontes e bueiros existentes atuam como elementos de retenção temporária, e o córrego apresenta poucos pontos de extravasamento além dos limites da calha, a qual, conforme mencionado, encontra-se bem delimitada. O Córrego Barreiro não possui afluentes significativos em nenhuma de suas margens, sendo que suas contribuições hídricas ocorrem de forma praticamente contínua ao longo de seu curso.

Além do Córrego Barreiro, a região contempla dois outros córregos que são afluentes da margem direita do Rio Meia Ponte. O Córrego São José e um Córrego Sem Nome que drena principalmente a região do Residencial Goiânia Golfe Club (Figura 47).

Para avaliar o potencial de armazenamento e a eficácia das medidas de controle do escoamento em nível local, abrangendo lotes e vias urbanas, foi considerado um cenário prospectivo que identifica áreas estratégicas para a instalação de reservatórios e analisa seus impactos diretos no comportamento hidrológico da bacia.

Na modelagem das dinâmicas de escoamento e na análise dos efeitos das estruturas de drenagem propostas, utilizou-se o software HEC-RAS 6.6, uma

ferramenta hidrodinâmica amplamente reconhecida para a simulação de escoamentos em canais naturais e artificiais. O estudo baseou-se em um cenário de ocupação projetado para os próximos 30 anos, considerando a expansão urbana e a implementação de medidas de controle do escoamento superficial, possibilitando a antecipação de desafios e oportunidades decorrentes do crescimento da região.

A simulação dos escoamentos foi conduzida por meio de uma abordagem transiente, que permite representar com maior fidelidade as variações temporais dos hidrogramas e a resposta dinâmica das estruturas de armazenamento a diferentes eventos pluviométricos. Tal metodologia possibilitou a estimativa da atenuação dos picos de vazão, evidenciando a eficácia das intervenções propostas na redução do risco de inundações.

Como a bacia só possui um ponto de extravasamento na parte de nascente na Vila Alto da Glória, foi proposta apenas uma alteração de travessia (Figura 48).

Figura 47 - Região do Córrego Barreiro com os Córregos principais córregos que compõem.



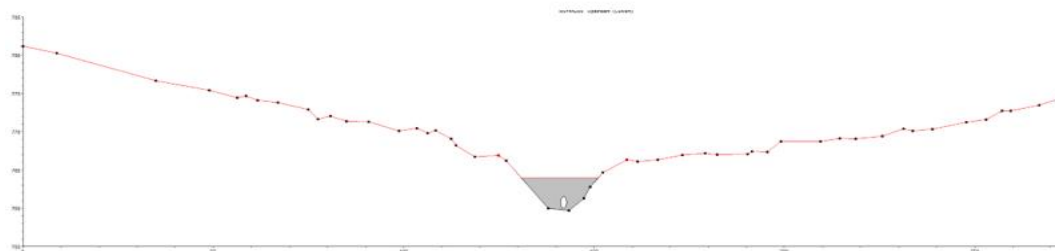


Figura 48 - Região do Córrego Barreiro com os Córregos principais córregos que compõem.



A estrutura 1, a qual é a alteração da travessia do Córrego Barreiro na Rua R-102 (BAR\_00\_01), sendo que, travessia conta atualmente com 2 bueiros um de 1,2m de diâmetro e outro com 0,6 m, essa configuração seria mudada para uma tubulação de 1,5 m com, mas deverá ser feita uma alteração do greide da pista passando da cota 762,0m para a 764,0m. Isso permitirá também uma retenção (Figura 49).

Figura 49 - Localização da Estrutura 1 - Alteração da travessia do Córrego Barreiro na Rua R-102 (BAR\_00\_01).



### 3.4 PONTOS DE ALAGAMENTOS E EROSÕES

Esta seção possui como objetivo principal apresentar a metodologia empregada para o mapeamento e cadastro dos pontos de alagamentos e de erosões presentes na rede de macrodrenagem e seus resultados, apresentando as potenciais medidas estruturais e não estruturais que podem ser consideradas para cada caso, além dos orçamentos para recuperação das erosões, contribuindo para a gestão da drenagem urbana.

#### 3.4.1 Base metodológica do levantamento e cadastro dos pontos de alagamentos

Para a elaboração dos mapas com as áreas potencialmente disponíveis para implantação de obras hidráulicas para melhoramento do sistema de drenagem pluvial urbana do município de Goiânia (captação, escoamento, armazenamento e infiltração) foi utilizado o mapeamento elaborado por Moreira *et al.*, (2021), que utilizaram as Ortofotos do ano de 2011 e 2016, ambas com resolução espacial de 10,0 cm para avaliação das áreas impermeáveis.

Para desenvolver o mapeamento, Moreira *et al.* (2021) utilizaram técnicas de geoprocessamento como classificação orientada a objeto (GEOBIA). Foram classificadas as superfícies, como: vegetação (rasteira e arbórea), hidrografia, áreas impermeabilizadas intraquadra, calçadas e vias e solo exposto.

Assim, o estudo buscou identificar áreas livres para possivelmente implantar obras hidráulicas destinadas a melhorar a drenagem, armazenamento e infiltração de água pluvial. Para isso, foram consideradas apenas áreas impermeáveis, excluindo-se as hidrografias. Em seguida, essas áreas foram cruzadas com a localização de pontos de alagamentos relacionados a problemas de microdrenagem em cada bacia hidrográfica.

Com os pontos de alagamentos definidos, utilizou-se a função de *buffer* do software QGIS para delimitar uma zona de influência de 1,0 km ao redor desses



pontos de alagamento. O resultado do *buffer* foi então aplicado ao recorte de um mapa *raster* com base no estudo de Moreira *et al.* (2021), deixando somente as áreas disponíveis para implantação de obras hidráulicas dentro da área de interesse. Finalmente, foram selecionadas apenas os fragmentos de áreas com mais de 2,0 km<sup>2</sup> para a proposição de medidas estruturais.

As medidas de intervenção não estruturais envolvem ações que contribuam para o entendimento e conscientização sobre a problemática em questão e que não envolvam necessariamente atuações de âmbito técnico da engenharia. Isso se deve pelo fato de que as soluções para drenagem pluvial urbana que envolvam apenas medidas estruturais podem se mostrar insuficientes.

A drenagem pluvial urbana possui ainda uma característica que torna a conscientização ainda mais importante que é o fato de a mesma não ser visível, passando, portanto, despercebidas. Sendo lembradas apenas em situações de alagamentos e enchentes.

Para Righetto (2009), as medidas não estruturais possuem excelente capacidade para a redução dos problemas de drenagem urbana. Contudo, o autor ressalta que são necessários esforços de conscientização da população, legislação apropriada, além da fiscalização de questões como o uso do solo e de ocupação dos espaços urbanos.

De modo geral, as medidas não estruturais integram o cenário da gestão das águas pluviais nas sub-bacias que formam o território urbano de uma cidade, tendo como foco não apenas os problemas de enchentes e inundações, como também aspectos mais amplos, como a qualidade de vida, o bem estar, a paisagem urbana e o meio ambiente urbano (Righetto, 2009).

Neste prognóstico são discutidas as seguintes medidas não estruturais no que se refere aos pontos de alagamentos: educação ambiental, manutenção dos dispositivos de infiltração de água nas vias, controle de ligações, conexão ou interconexões ilegais de esgoto no sistema de drenagem pluvial urbano, análise das principais leis, aspectos jurídicos que regem os sistemas de controle e manejo das águas pluviais.

No contexto da conscientização ambiental, a educação aparece como uma ferramenta essencial para que a população compreenda a importância da drenagem pluvial urbana no contexto global da infraestrutura da cidade. No desenvolvimento do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Goiânia (PDDU-GYN), a educação ambiental desempenha um papel central, buscando aproximar a comunidade dos projetos em andamento para a sociedade. Diversas ações foram implementadas para incentivar a participação e interação da população nesse processo de educação ambiental.

No que se refere a manutenção das estruturas hidráulica e componentes do sistema de drenagem pluvial urbana, as bocas de lobo são as principais vias de entrada para as águas das chuvas, conduzindo-as ao seu destino correto: córregos, rios e ribeirões. Quando obstruídas, essas estruturas impedem o fluxo adequado de água, contribuindo para enchentes e alagamentos.

Diante disso, é fundamental implementar um programa de manutenção dos dispositivos de infiltração de água no solo e drenagem das vias públicas. Esse programa deve incluir, além da desobstrução das bocas de lobo, a varrição das ruas, a coleta de resíduos sólidos e a manutenção dos canais e cursos d'água.

Outra medida essencial a ser implantada é a fiscalização rigorosa das conexões ilegais de esgoto, que ocorrem quando o esgoto residencial ou de outros tipos são desviados para os sistemas de drenagem pluvial urbana. Esses sistemas foram projetados exclusivamente para receber águas pluviais e conduzi-las para rios e córregos. No entanto, com as conexões ilegais, além da água da chuva, o esgoto também acaba sendo despejado nos corpos hídricos sem o devido tratamento.

Esse problema, então, deixa de ser apenas uma questão de alagamentos e enchentes e passa a incluir a poluição dos recursos hídricos, afetando a qualidade da água, gerando uma série de impactos ambientais e de saúde pública.

### **3.4.2 Base metodológica do levantamento e cadastro dos pontos de erosões**

A erosão do solo é um problema global que se intensifica em regiões tropicais, como o Brasil (FAO, 2019). Esse processo se manifesta de diversas formas, afetando

tanto áreas agrícolas quanto urbanas. Em áreas urbanas brasileiras, as erosões se tornaram um problema crescente que resulta em sérios impactos ambientais e sociais.

A alta incidência de feições erosivas, expressas como erosão laminar e de sulcos ou ravinas nas vias públicas e nas áreas de preservação permanente, resultam das precárias condições de infraestrutura, projetos de drenagem pluvial mal concebidos, ou mesmo, pela ocupação de áreas naturalmente adversas.

Para mitigar esses efeitos, diversas medidas estruturais podem ser adotadas, visando controlar e prevenir os processos erosivos do solo. Tais medidas são fundamentais também, para a preservação do ambiente urbano e a proteção das infraestruturas.

Para a definição das medidas estruturais, a metodologia empregada considerou:

- A identificação e mapeamento de processos erosivos lineares e fluviais para a área urbana de Goiânia considerou as recomendações apresentadas por Oliveira et al. (2013); Boardman (2016); Batista et al. (2017); Knierin et al. (2018); Karydas e Panagos (2020), já adaptadas no âmbito do projeto Qualidade Ambiental das Paisagens do município de Goiânia, em execução no Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física (LABOGEF/IESA/UFG);
- Utilizou-se como base para o mapeamento: a) endereço de feições erosivas do Cadastro de Processos Erosivos Lineares do ano de 2008 (AMMA, 2007; Faria, 2008); b) imagens de satélite de alta resolução disponibilizadas no Google Earth; c) imagem do levantamento fotogramétrico (Ortomosaico), realizado pela equipe do PDDU; d) validação em campo (amostragem parcial); e) definição de chave de classificação para classificação de erosões lineares e fluviais;
- O reconhecimento e a identificação, delimitação e quantificação visual de feições erosivas lineares nas bacias hidrográficas considerou aspectos de formas, tonalidades, texturas e sombras. Inicialmente o reconhecimento das feições erosivas lineares foi direcionado para os endereços disponibilizados pelo cadastro de erosões. Posteriormente, adotando o mesmo critério de reconhecimento visual realizou-se a inspeção nas áreas de preservação permanente e áreas de solos

expostos. A inspeção direcionada para essas áreas considerou a literatura sobre o tema para o município de Goiânia (Carneiro, Faria e Soares Neto, 2017; Cavalcanti, 2019; Nicolau, 2020);

- O reconhecimento visual de feições erosivas fluviais na imagem do levantamento fotogramétrico, foi realizado mediante o reconhecimento direcionado para as margens dos canais de drenagem com foco do analista/intérprete em parâmetros associados à textura, tonalidade e sombreamento áreas com exposição de solo (textura e tonalidade - avermelhada ou esbranquiçada), altura do talude (evidência de sombreamento);
- Levantamento dos parâmetros quantitativos das erosões (área, altura e volume) por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), em duas etapas. A primeira ocorreu via vetorização dos ortomosaicos dos voos realizados sobre a macrodrenagem de Goiânia, sendo gerados os arquivos shapefiles;
- Para o cálculo do volume das erosões, foi utilizado o Modelo Digital do Terreno (MDT), obtido a partir do levantamento pelas aeronaves remotamente pilotadas (ARPs). Os shapefiles utilizados são do tipo polígono e, com base na área desses polígonos, são extraídas as máscaras do arquivo raster, gerando arquivos raster específicos para cada ponto de erosão. Em seguida, é realizado o cálculo do volume das células, utilizando a maior cota presente em cada arquivo raster. Com esse novo produto, as características físicas das erosões e principalmente o volume erodido, foram então calculados usando a ferramenta Zonal Statistics. Erosões lineares distintas, do mesmo lado (margem do rio) e afastadas de até 5,0 m foram consideradas uma mesma erosão linear; e
- Elaboração de orçamentos estimados para a recuperação de processos erosivos nas margens dos cursos hídricos com base nas bases dados SINAPI e GOINFRA, mês de setembro, ano 2024, desonerado, para o estado de Goiás.

As medidas não estruturais de controle de erosão urbana são abordagens fundamentais para a prevenção e mitigação dos impactos da erosão em áreas urbanizadas. Essas técnicas focam na gestão do uso do solo, conscientização pública e práticas de planejamento que devem ter abordagem integrada para contribuir para



a preservação ambiental e a sustentabilidade das cidades e podem estar integradas a técnicas de soluções baseadas na natureza.

O planejamento urbano desempenha um papel fundamental na prevenção da erosão. As características geomorfológicas das áreas de fundo de vale devem ser consideradas e garantida a sua preservação com a manutenção dos limites estabelecidos para as áreas de preservação permanente, onde predominantemente foram mapeados os processos erosivos lineares e fluviais.

Nas áreas de preservação permanente, devem ser restabelecidas vegetação ciliar que tem importante papel na mitigação do efeito “*splash*”, retenção de água para garantia de infiltração, bem como estabilização do solo.

A participação social nos processos de planejamento, bem como na implantação das técnicas não estruturais é essencial para garantir a legitimidade das decisões e o engajamento da comunidade. Portanto, programas de conscientização voltados para a população, como *workshops* e campanhas educativas, são essenciais para informar os cidadãos sobre as causas e consequências da erosão, bem como a promoção de informações e estímulo à ampliação das áreas verdes e áreas de recarga, como jardins e poços de infiltração.

A gestão de águas pluviais é outra abordagem relevante. Implementar sistemas de drenagem sustentáveis, como jardins de chuva e pavimentos permeáveis, ajuda a controlar e minimizar o escoamento superficial e a melhorar a infiltração de água no solo.

Essas medidas não estruturais, quando integradas a políticas públicas e ações comunitárias, podem oferecer soluções eficazes para o controle da erosão urbana. O envolvimento da comunidade e a colaboração entre diferentes setores são essenciais para garantir a eficácia dessas estratégias.

É importante destacar que em Goiânia, diversos processos erosivos lineares e também fluviais foram corrigidos com adoção de técnicas não estruturais que envolveram principalmente a revegetação do solo no local e entorno do processo erosivo e a gestão das águas pluviais a montante das estruturas de lançamentos.

Para a definição das medidas não estruturais, a metodologia empregada considerou:

- Cadastro dos processos erosivos para o município de Goiânia a partir do software MAPER;
- Trabalho de campo em erosões cadastradas para avaliação das condições a montante de estruturas de lançamento de águas pluviais;
- Mapeamento de risco e vulnerabilidade, por meio de sistemas de informação geográfica (SIG), áreas propensas à erosão, considerando fatores como relevo, cobertura vegetal, tipos de solo e uso da terra e locais de instalações de estruturas de lançamento de águas pluviais;
- Proposta de revisão sobre o zoneamento e o ordenamento territorial delimitando as áreas de proteção e faixas de preservação permanente ao longo das margens dos cursos hídricos, orientando o uso do solo e reduzindo o impacto de atividades como a agricultura intensiva e a construção civil em locais sensíveis;

Esses critérios são geralmente reforçados pelas legislações, como o Código Florestal Brasileiro e outras;

- Proposta de classificação quanto ao nível de urgência na qual se encontra os processos erosivos fluviais e laminares, sendo: a) Prioridade 1: risco de comprometimento de infraestruturas e residências, riscos ambientais com assoreamento de corpo hídrico e b) Prioridade 2: riscos ambientais com assoreamento de corpo hídrico;

As erosões classificadas com Prioridades 1 e 2 podem ser localizadas, visualizadas e analisadas no software MAPER, sendo que erosões classificadas como Prioridade 1 são identificadas pelo símbolo de “!!” e Prioridade 2 com “!”;

O MAPER foi desenvolvido pela equipe de Meio Ambiente, Processos Erosivos e Qualidade da Água do PDDU – GYN para cadastrar, monitorar, avaliar, relatar e subsidiar tomadas de decisões frente aos dados relativos à drenagem urbana (erosões, pontos de alagamentos, obras de arte, estruturas

de infiltração e qualidade da água) levantados na fase de diagnóstico e monitoramento da elaboração do PPDU – GYN; e

- Conscientização ambiental é também um aspecto central de proposição de medida não estrutural, promovendo a educação da população local por meio de oficinas, palestras e campanhas, incentivando práticas sustentáveis e criando uma cultura de preservação, monitoramento e atenção às informações climáticas locais disponíveis.

### **3.4.3 Pontos de alagamentos e erosões na bacia hidrográfica do córrego Barreiro**

A bacia hidrográfica do córrego Barreiro, com área total de 65,22 km<sup>2</sup>, apresenta um grau de urbanização relativamente baixo, com aproximadamente 27,63% (18,02 km<sup>2</sup>) de seu território ocupado por áreas construídas.

A bacia está localizada em área periférica de Goiânia, com extensas áreas rurais e, atualmente, a capacidade de acumulação hídrica e a intensidade de escoamentos superficiais são baixas, mas podem se intensificar com o avanço da urbanização devido à impermeabilização do solo. As áreas com elevado potencial de acumulação hídrica concentram-se nas proximidades da rede de drenagem e os locais com comprimentos de rampa elevados (probabilidade acentuada de escoamento superficial) estão associados aos cursos d'água e áreas declivosas, geralmente não urbanizadas. A região também apresenta muitas estruturas de lançamento distribuídas nos corpos hídricos.

#### **3.4.3.1 Medidas estruturais (Pontos de alagamentos)**

As medidas estruturais compõem uma variedade de estruturas, cuja finalidade é a de deter e/ou transportar os deflúvios gerados na bacia hidrográfica e também de propiciar a infiltração localizada (Righetto, 2009). Por sua vez, Tucci (1997) descreve

que as medidas estruturais são obras de infraestrutura implementadas para reduzir os riscos de alagamentos e enchentes.

Righetto (2009) classifica os tipos de medidas estruturais em função das categorias funcionais Tabela 13.

Tabela 13 – Classificação medidas estruturais.

Categoria	Tipo
Detenção do escoamento	Bacia de detenção ou de atenuação de cheia Bacia de retenção com infiltração
Área inundável	Terreno adaptado a alagamento
Vegetação	-
Dispositivos de infiltração	Vala de infiltração Bacia de infiltração Pavimento poroso
Filtros orgânicos e de areia	Filtro superficial de areia Filtro subterrâneo

Dessa forma, realizando o levantamento de áreas disponíveis próximas aos pontos de alagamentos monitorados e demonstrados na etapa de diagnóstico (Etapa 1) que ocorrem nas regiões que envolvem a microdrenagem dentro da bacia hidrográfica do córrego Barreiro (1 ponto de alagamento), é possível identificar áreas livres possíveis de serem utilizadas para implantação de medidas estruturais. Foram priorizadas áreas públicas ou áreas de preservação permanentes (Figura 50 e Tabela 14).



Figura 50 – Áreas livres próximas aos pontos de alagamentos decorrentes da microdrenagem propostas bacia hidrográfica do córrego Barreiro (Ponto 1).



Tabela 14 – Identificação das áreas livres propostas para implantação de medidas estruturais

Identificação	Localização	Área aproximada (m²)
1	Área particular	30.572

Analizando as áreas livres, dos parques, bosques, jardins, área permeáveis disponíveis e APPs (Tabela 14) levantou-se propostas para estudos de viabilidade econômica de medidas estruturais a serem implantadas visando o melhoramento da drenagem pluvial urbana nas áreas em questão que já sofrem com problemas relacionados a microdrenagem e consequentes pontos de alagamentos.

Cabe apontar inicialmente que a adoção de medidas dentro dos lotes residenciais também deve ser levada em consideração, como: poços de infiltração individuais, telhados verdes e pisos permeáveis.

No tocante as áreas livres destacadas neste prognóstico (Figura 50), a Tabela 15 ilustra as possíveis propostas de medidas estruturais a serem implementadas.

Tabela 15 – Identificação das áreas livres propostas para implantação de medidas estruturais.

Identificação	Localização	Medida estrutural - Categoria	Medida estrutural - Tipo
1	Área particular	Dispositivo de -nfiltração	Poços de infiltração e Valas de infiltração

Os poços de infiltração são estruturas projetadas, do tipo enterradas, sendo cavidades ou escavações verticais, revestidas ou não, que facilita a infiltração das águas pluviais no solo. Sua execução envolve as etapas de estudo do solo para determinação do coeficiente de permeabilidade (k), escavações, revestimento (paredes de tijolos, concreto com furos, pneus ou qualquer outro tipo de material resistente que suporte a pressão externa do solo), preenchimento ou não, sistema de drenagem e acabamento.

O topo do poço de infiltração é tapado com um material permeável ou colocado de forma a permitir a infiltração da água pluvial pelas laterais. Os mesmos podem ser vistos como uma forma de diminuir os picos de vazão que possam acontecer e que

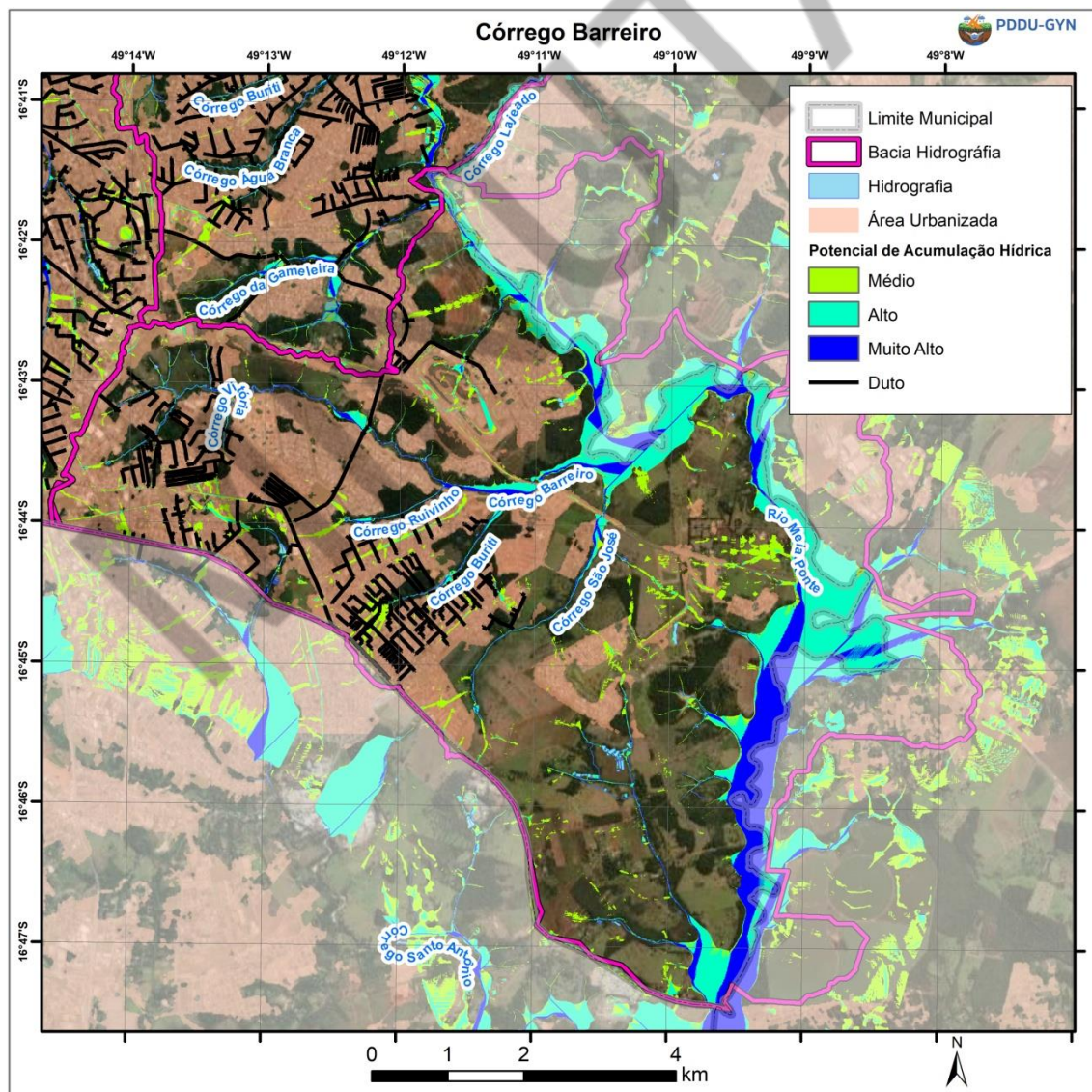


sobrecarregam os sistemas de drenagem pluviais existentes, recarregar o lençol freático e melhorar a qualidade da água.

Outro fato importante é que a bacia hidrográfica do córrego Barreiro, apresenta poucas áreas com potencial médio de acumulação hídrica. As áreas com potenciais mais elevados estão nas proximidades da rede de drenagem. Os locais com potencial de acumulação hídrica possuem rede de microdrenagem nas proximidades.

Em relação as áreas com áreas com potenciais de acumulações hídricas, a Figura 51 ilustra o fato e a distribuição espacial dos dutos na bacia hidrográfica.

Figura 51 – Distribuição espacial dos dutos da rede de microdrenagem e o potencial de acumulação hídrica.



#### 3.4.3.2 Medidas não estruturais (Pontos de alagamentos)

As medidas de intervenção não estruturais envolvem ações que contribuam para o entendimento e conscientização sobre a problemática em questão e que não envolvam necessariamente atuações de âmbito técnico da engenharia. Isso se deve pelo fato de que as soluções para drenagem urbana que envolvam apenas medidas estruturais se mostraram insuficientes.

A drenagem urbana possui ainda uma característica que torna a conscientização ainda mais importante que é o fato de a mesma não ser visível, passando, portanto, despercebidas. Sendo lembradas apenas em situações de alagamentos e enchentes.

Para Righetto (2009), as medidas não estruturais possuem excelente capacidade para a redução dos problemas de drenagem urbana. Contudo, o autor ressalta que são necessários esforços de conscientização da população, legislação apropriada, além da fiscalização de questões como o uso do solo e de ocupação dos espaços urbanos.

De modo geral, as medidas não estruturais integram o cenário da gestão das águas pluviais nas sub-bacias que formam o território urbano de uma cidade, tendo como foco não apenas os problemas de enchentes e inundações, como também aspectos mais amplos, como a qualidade de vida, o bem estar, a paisagem urbana e o meio ambiente urbano (Righetto, 2009).

Neste prognóstico são discutidas as seguintes medidas não estruturais: educação ambiental, manutenção dos dispositivos de infiltração nas vias, controle de conexão ilegal de esgoto, análise legal das leis que regem as construções civis e a drenagem pluvial urbana.

##### **3.3.3.2.1 Educação Ambiental**

No âmbito da conscientização, a educação ambiental aparece como uma ferramenta indispensável para que a população entenda a importância da drenagem pluvial urbana.



Na construção do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Goiânia - PDDU-GYN a educação ambiental está presente, com o intuito de aproximar a população dos produtos que estão sendo desenvolvidos para a cidade. Para que participem e interajam nesse processo diversas ações foram lançadas. Entre as ações do PDDU - GYN está o projeto: O Mar Começa Aqui, que tem como objetivo conscientizar a população sobre a importância das bocas de lobo, alertando como os resíduos sólidos que são lançados indevidamente causam diversos danos ao interromper a passagem das águas pluviais.

O lançamento do projeto se deu no dia 22 de março de 2024, Dia Mundial da Água. A campanha integra as atividades de educação ambiental do PDDU-GYN e é respaldada por parceiros como a Secretaria de Infraestrutura Urbana de Goiânia (Seinfra), Secretaria de Cultura de Goiânia (Secult), Marinha do Brasil, a Associação Goiana de Artistas Visuais (AGAV) e outras entidades envolvidas no projeto. Tem como objetivo geral conscientizar a população goianiense sobre a importância de descartar corretamente os resíduos, para evitar que o lixo jogado nas ruas chegue aos bueiros e bocas de lobo, obstruindo o escoamento da água, provocando alagamentos e poluindo, por fim, rios e mares. As bocas de lobo são as principais portas de entrada para as águas das chuvas e são elas que conduzem tais águas para seu destino correto: os córregos, os rios, ribeirões e o oceano. Levar essa informação de forma clara para a população é a missão da campanha.

#### **3.3.3.2.2 Manutenção de dispositivos de infiltração nas vias**

As bocas de lobo são as principais portas de entrada (coleta) para as águas pluviais e são elas que as conduzem para seu destino final e correto: os córregos, os rios, ribeirões e o oceano. Com isso, se as mesmas estiveram obstruídas, a entrada das águas pluviais é prejudicada podendo ocasionar ou maximizar os alagamentos e enchentes.

Diante disso, é fundamental desenvolver um programa de manutenção que inclua a limpeza e desobstrução das bocas de lobo, dispositivos de infiltração e sistemas de drenagem nas vias urbanas. Esse programa deve abranger não apenas

a desobstrução das bocas de lobo, mas também a varrição das ruas, a coleta de resíduos sólidos e a manutenção dos canais e cursos d'água.

Destaca-se o trabalho realizado pela equipe técnica do PDDGYN que levantou todas as obras de arte e bacias de retenção/infiltração no perímetro urbano de Goiânia. Esses dados podem e devem ser utilizados para subsidiar a coordenação dos trabalhos e a gestão e manejo das águas pluviais urbanas por meio do mapeamento e estarão acessíveis para toda a população por meio de um aplicativo web denominado de MAPER.

Esse aplicativo facilitará todo o processo de monitoramento histórico desse tipo de problema hidrológico sendo possível visualizar a localização de todo o sistema de macrodrenagem da cidade.

#### **3.3.3.2.3 Controle de conexão ilegal de esgoto**

Outra medida que deve ser implantada visa a fiscalização em relação ao controle de conexões ilegais de esgoto ao sistema de drenagem pluvial. Isso acontece quando é realizada uma ou mais ligações de esgoto residenciais nos sistemas de drenagem pluvial.

Os mesmos foram dimensionados para receber apenas água pluvial para transportá-las para os córregos, ribeirões e rios. No entanto, quando há conexão ilegal de esgoto não tratado ao sistema de drenagem pluvial, este é despejado nos corpos hídricos.

Com isso o problema deixa de ser relacionado a alagamentos e enchentes e passa a ser de qualidade da água, ou seja, poluição dos corpos hídricos podendo acarretar em diversos problemas ambientais e de saúde pública.

### 3.4.3.3 Medidas estruturais (Erosões)

A adoção de medidas efetivas de controle preventivo e corretivo da erosão depende da dinâmica do funcionamento hídrico sobre o terreno, devendo considerar também a dinâmica do uso do solo, suas propriedades físicas e químicas, bem como as condições climáticas, em áreas urbanas, em especial a interferência antrópica (Salomão, 1999).

No entanto, diante dos levantamentos de campo realizados pela equipe de Topografia do PDDU - GYN, tomando por base o ortomosaico elaborado para o córrego Barreiro e metodologia de mapeamento proposta no diagnóstico, foi possível identificar as principais feições erosivas fluviais e lineares ao longo deste curso hídrico por meio de técnicas de geoprocessamento. Foram registradas 76 erosões fluviais, correspondendo a aproximadamente 6,54 km de áreas afetadas por processos erosivos fluviais no córrego Barreiro (Apêndice E), sendo identificada apenas 3 erosões lineares (Apêndice F).

Do ponto de vista da interferência antrópica entre drenagem pluvial urbana e a desenvolvimento de processos erosivos, é possível afirmar que o processo de erosão linear identificado no córrego Barreiro, por meio de técnicas de geoprocessamento, foi causado principalmente pelas estruturas de lançamento de águas pluviais provenientes da microdrenagem pluvial urbana (Apêndice F).

A afirmação anterior pode ser justificada ainda tomando por base os seguintes dados do diagnóstico, ou seja, a bacia hidrográfica do córrego Barreiro possui área de 65,22 km<sup>2</sup>, sendo que a área urbanizada impermeabilizada da referida bacia hidrográfica em Goiânia é de 18,02 km<sup>2</sup>, ou seja, 27,63%.

Outro fato é que em toda a bacia hidrográfica do córrego Barreiro, considerando seus afluentes como o córrego Buriti, existem 50 estruturas de lançamento de águas pluviais das quais 3 (três) apresentam esse cenário (Apêndice F).

Assim, as estruturas de lançamento das águas pluviais favorecem o acúmulo e o aumento da velocidade da água em pontos únicos e específicos do curso hídrico ocasionando e potencializando a formação de processos erosivos nas margens.

No Apêndice F são demonstrados os locais (coordenadas e endereços próximos), extensão e visualização do processo erosivo na época dos levantamentos de dados para o diagnóstico considerando a bacia hidrográfica em questão.

Diante disso torna-se necessário a adoção de medidas estruturais. De acordo com Carvalho (2006), as medidas estruturais são aquelas de cunho corretivo, de alto custo e frequentemente ocasionam impactos ambientais, como por exemplo obras de engenharia, drenagem, proteção da superfície e margens dos cursos hídricos e instalação de muros de arrimos ou gabiões para contenção das margens.

Dessa forma, com base na identificação e mapeamento de processos erosivos lineares e fluviais para a área urbana de Goiânia na etapa de diagnóstico, a equipe do PDDU – GYN estimou os custos para a recuperação dos processos erosivos nas margens dos cursos hídricos.

A estimativa de custos (pré-orçamento) para recuperação das margens dos cursos hídricos considerou os principais parâmetros quantitativos das erosões (comprimento, altura, área e volume) além de, utilizar a base de dados de composições de custos do Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil da Caixa Econômica Federal (SINAPI – CAIXA), mês de setembro, ano 2024, desonerado, para o estado de Goiás (Apêndice G) e seu resumo na Tabela 16.

Tabela 16 – Resumo dos custos para recuperação das margens do córrego Barreiro.

Identificação da erosão	Custo estimado (R\$)
BAR1	358.888,74
BAR2	2.231.708,07
BAR3	-
BAR4	911.129,08
BAR5	896.630,17
BAR6	857.051,34
BAR7	1.161.405,19
BAR8	102.527,07
BAR9	1.166.019,03
BAR10	1.724.519,06
BAR11	231.662,24
BAR12	157.593,99
BAR13	2.944.135,27
BAR14	2.716.848,17
BAR15	1.170.767,99
BAR16	1.935.824,44
BAR17	1.658.813,97
BAR18	314.727,14
BAR19	1.822.867,29
BAR20	3.687.641,29



BAR21	822.235,54
BAR22	1.544.507,98
BAR23	594.178,66
BAR24	1.377.020,71
BAR25	911.933,14
BAR26	294.759,91
BAR27	2.220.698,88
BAR28	223.380,45
BAR29	304.007,09
BAR30	75.655,38
BAR31	122.389,12
BAR32	24.467,32
BAR33	131.818,55
BAR34	224.216,65
BAR35	133.992,54
BAR36	144.648,71
BAR37	169.797,14
BAR38	147.416,85
BAR39	2.481.635,34
BAR40	899.501,77
BAR41	3.367.506,10
BAR42	473.556,55
BAR43	156.271,19
BAR44	107.171,34
BAR45	209.280,30
BAR46	1.224.216,39
BAR47	573.549,33
BAR48	1.642.788,25
BAR49	258.260,36
TOTAL	46.911.621,09

Para as estimativas de custos (pré-orçamento) para recuperação das margens dos cursos hídricos não foram considerados os materiais e serviços de: administração e canteiros das obras, determinação de parâmetros de resistência dos solos de aterro e fundação, que deverão ser obtidos por meio de ensaios específicos do solo, ensaios de campo e laboratório a fim de verificar e confirmar as características dos solos e o nível freático.

Ainda com relação as estimativas de custos (pré-orçamento) para recuperação das margens dos cursos hídricos, ressalta-se que a solução técnica mais indica para a maioria dos casos, foi a recuperação das margens dos cursos hídricos por meio da execução de muros de contenção do tipo gabião caixa, sendo utilizado também a proteção do leito com gabião tipo saco (colchão) para algumas situações de processos erosivos mais complexos e que possuíam maiores alturas ( $\geq$  que 8,0 m de altura).

Sendo assim, os projetos de recuperação das margens dos cursos hídricos devem ainda seguir os seguintes critérios técnicos: os solos utilizados como reaterro não deverão apresentar matéria orgânica e outras impurezas, e deverão apresentar expansividade Inferior a 20% (ensaio CBR), o aterro deverá ser compactado em camadas com espessura máxima acabada de 25 cm, até atingir o grau de compactação mínimo de 98% em relação à energia normal de compactação, e desvio de umidade máximo de 2%. Junto à face, com largura mínima de 1,0 m, a compactação deve ser executada por meio do uso de placas vibratórias ou sapos mecânicos, para evitar danos pela proximidade do rolo compactador.

Com relação a execução dos muros com gabiões a face, colocação dos gabiões e a execução do aterro devem ser simultâneas, ou seja, o levantamento do muro deve ser efetuado concomitantemente com a execução do aterro, a topografia do terreno natural e as cotas de projeto deverão ser confirmadas para locação da estrutura proposta, as escavações próximas à estrutura proposta não deverão comprometer a integridade da mesma e previsão de cobertura vegetal dos taludes expostos para proteção contra arastes superficiais ou manta geotêxtil.

Por fim, todas as informações sobre os locais e as principais características das erosões identificadas, cadastradas, avaliadas e monitoradas desde os estudos de Sales (2002), AMMA (2007) e Farias (2008) até o fim da elaboração do PDDU – GYN estarão acessíveis para toda a população por meio de um aplicativo *web* denominado de MAPER. Esse aplicativo facilitará todo o processo de monitoramento histórico desse tipo de problema geotécnico.

#### 3.4.3.4 Medidas não estruturais (Erosões)

As medidas não estruturais de controle de erosão urbana são abordagens fundamentais para a prevenção e mitigação dos impactos da erosão em áreas urbanizadas. Essas técnicas focam na gestão do uso do solo, conscientização pública e práticas de planejamento que devem ter abordagem integrada para contribuir para a preservação ambiental e a sustentabilidade das cidades e podem estar integradas a técnicas de soluções baseadas na natureza.

O planejamento urbano desempenha um papel fundamental na prevenção da erosão. As características geomorfológicas das áreas de fundo de vale devem ser consideradas e garantida a sua preservação com a manutenção dos limites estabelecidos para as áreas de preservação permanente, onde predominantemente foram mapeados os processos erosivos lineares e fluviais.

Nas áreas de preservação permanente, devem ser restabelecidas vegetação ciliar que tem importante papel na mitigação do efeito “*splash*”, retenção de água para garantia de infiltração, bem como estabilização do solo.

A participação social nos processos de planejamento, bem como na implantação das técnicas não estruturais é essencial para garantir a legitimidade das decisões e o engajamento da comunidade. Portanto, programas de conscientização voltados para a população, como *workshops* e campanhas educativas, são essenciais para informar os cidadãos sobre as causas e consequências da erosão, bem como a promoção de informações e estímulo à ampliação das áreas verdes e áreas de recarga, como jardins e poços de infiltração.

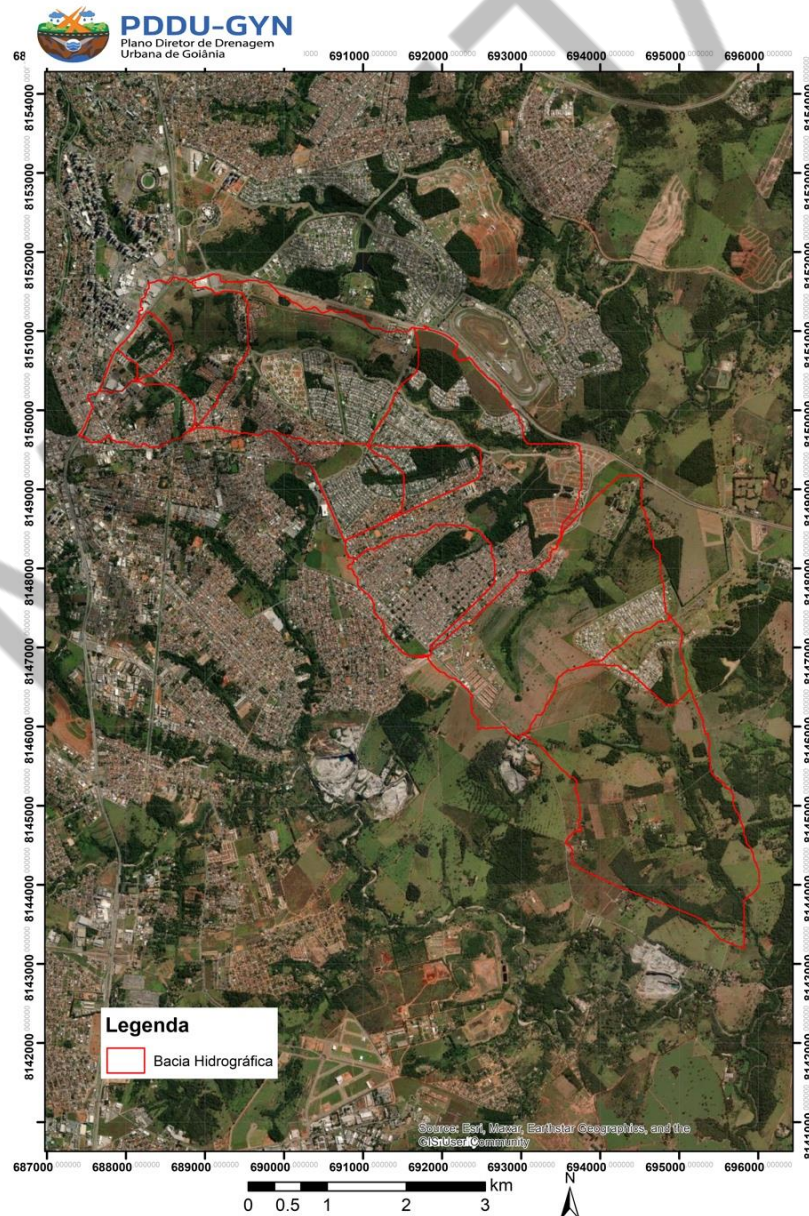
Essas medidas não estruturais, quando integradas a políticas públicas e ações comunitárias, podem oferecer soluções eficazes para o controle da erosão urbana. O envolvimento da comunidade e a colaboração entre diferentes setores são essenciais para garantir a eficácia dessas estratégias.

É importante destacar que em Goiânia, diversos processos erosivos lineares e também fluviais foram corrigidos com adoção de técnicas não estruturais que envolveram principalmente a revegetação do solo no local e entorno do processo erosivo e a gestão das águas pluviais a montante das estruturas de lançamentos.

#### 4 COMPATIBILIZAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS, ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Para a determinação das interferências dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário com o sistema de macrodrenagem, foi realizado o levantamento dos condutos que passam ou apresentam alguma interferência na capacidade hidráulica dos rios, ribeirões e córregos. Dessa forma é possível observar na Figura 52 que no córrego Barreiro não há a presença de pontos de interferência.

Figura 52 - Mapa de interferência da bacia do córrego Barreiro.





## 5 FONTES DE RECURSOS E FINANCIAMENTOS

Até recentemente, o financiamento da drenagem urbana nos municípios era feito por dotações orçamentárias ou no caso da declaração de situação de emergência ou de calamidade pública, quando da ocorrência de desastres naturais, era liberado, a fundo perdido, verba do Governo Federal para os municípios.

Com a inclusão da drenagem e manejo de águas pluviais urbanas como um dos eixos do saneamento básico, fontes de financiamento do setor se tornaram uma preocupação, uma vez que não havia, na maioria dos municípios, uma fonte de recursos pré-determinada para ser aplicada neste sistema.

Dos quatro eixos do saneamento básico, a drenagem e o manejo de águas pluviais é o mais carente de informações e de investimentos. Várias são as explicações para esse fato: no planejamento das cidades houve um subdimensionamento do crescimento destas, com consequências diretamente ligadas ao proporcional crescimento de áreas impermeáveis e a introdução de redes de microdrenagem; a obsolescência das redes instaladas (ou mesmo a ausência destas) por ausência de dados hidrológicos atualizados ou pela simplificação excessiva das variáveis usadas nos modelos hidrológicos para determinação das vazões de escoamento; a ausência, em muitos casos, de interesse político no investimento nas redes de micro e macrodrenagem uma vez que estas permanecem inoperantes a maior parte do tempo e o investimento na sua implantação é alto; e entre tantos outros que aqui não cabe enumerar, a pressão econômica pela ocupação de áreas de nascentes e recarga que possuem alto valor imobiliário. O resultado de tantos anos de descaso e de falta de planejamento e investimentos é o panorama que se apresenta: a cada ano o aumento do número de pontos de alagamentos, a magnitude das inundações, a elevação dos níveis de cheia dos rios, aumento da população em áreas de risco, dos pontos de erosão e o completo colapso da rede de drenagem.

A preparação desse sistema de maneira adequada requer altos investimentos e, muito provavelmente será necessário buscar recursos em mais de uma fonte. Este item tem como finalidade relacionar as possíveis fontes de recursos que a gestão municipal pode utilizar para financiar a adequação do sistema.

## 5.1 PRINCIPAIS FONTES FINANCIADORAS DE SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA NO BRASIL

### 5.1.1 Bancos comerciais e de fomento nacionais (TONETO JR e CICOGNA, 2021)

Esses bancos possuem linhas de crédito provenientes direcionadas ao setor e distribuídas pela Caixa Econômica Federal, BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), Ministério das Cidades, e ainda recursos oriundos do FGTS (Fundo de Garantia por Tempo de Serviço)

Segundo os autores podem ser citadas as seguintes linhas de financiamento aplicáveis:

- **CAIXA FINISA - Programa Financiamento à Infraestrutura e ao Saneamento**

O FINISA é um projeto da Caixa Econômica Federal (CEF) voltado ao setor público para o financiamento da infraestrutura e saneamento voltados para os municípios, estados e Distrito Federal (CEF, 2024). São projetos elegíveis, entre outros, os destinados a obras de saneamento. A fonte de recursos é proveniente CEF (TONETO JR e CICOGNA, 2021; CEF, 2024).

- **CAIXA ECONÔMICA FEDERAL – Novo PAC Desenvolvimento e Sustentabilidade**

Em agosto de 2023 entrou em vigor uma nova modalidade do PAC (Plano de Aceleração do Crescimento) com vários eixos de prioridades de ações, sendo que alguns atendem regiões específicas do país.

Para a região Centro-Oeste pode ser utilizado o eixo Água para Todos – Revitalização de bacias hidrográficas. Os projetos devem se referir ao uso sustentável do solo e da água, a harmonia entre o desenvolvimento socioeconômico e meio ambiente saudável, com especial atenção aos recursos hídricos à prevenção da erosão, ao combate à poluição, e à recuperação de rios e aquíferos. (CEF, 2024)

- **Programa Avançar Cidades - Saneamento – Ministério das Cidades**

O Objetivo do programa Avançar Cidades é o de alavancar a melhoria da infraestrutura de saneamento básico no país. O projeto, com seleção contínua, “está sendo implementado por meio de processo de seleção pública de empreendimentos com vistas à contratação de operações de crédito para financiar ações de saneamento básico ao setor público.” (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2024)

O público-alvo são as Prefeituras Municipais, os Governos Estaduais, o Distrito Federal e prestadores de serviços constituídos na forma de empresa pública ou sociedade de economia mista.

São projetos elegíveis aqueles que envolvem os quatro eixos do saneamento básico, discretizando a drenagem e o manejo de águas pluviais urbanas e preservação e recuperação de mananciais.

Os recursos deste programa são os do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS) ( TONETO JR e CICOGNA, 2021).

- **Programa Saneamento para Todos – Bancos Comerciais**

Este programa tem como meta “promover a melhoria das condições de saúde e da qualidade de vida da população urbana e rural por meio de investimentos em saneamento, integrados e articulados com outras políticas setoriais, visando à universalização e melhoria dos serviços públicos de saneamento básico”(CICOGNA et al., 2022).

Nesse caso o público-alvo são as entidades privadas e sociedades de propósito específico. O manejo de águas pluviais está contemplado somente para os mutuários de entidades privadas, e os recursos são os do FGTS (CICOGNA et al., 2022).

- **BNDES Finem - Saneamento ambiental e recursos hídricos**

O objetivo do Finem é a universalização do saneamento e a recuperação de áreas ambientalmente degradadas.

Podem solicitar os recursos Empresas sediadas no País, Fundações, associações e cooperativas; e Entidades e órgãos públicos. Os investimentos alcançam os seguintes eixos: Abastecimento de água; esgotamento sanitário;

efluentes e resíduos industriais; resíduos sólidos; gestão de recursos hídricos (tecnologias e processos, bacias hidrográficas); recuperação de áreas ambientalmente degradadas; desenvolvimento institucional; despoluição de bacias, em regiões onde já estejam constituídos Comitês; e macrodrenagem (CICOGNA et al., 2022; BNDES, 2024).

### **5.1.2 Mercado de capitais**

Ainda em estágio embrionário no Brasil, títulos da dívida no mercado de capitais vem crescendo ano após ano. Nesse tipo de financiamento podem ser citados os “Debêntures incentivadas de infraestrutura”, que são títulos de dívidas que geram direito de créditos ao investidor, e os “Títulos Verdes”. Os títulos verdes permitem a solicitação de um empréstimo com a promessa de devolução com juros em um prazo determinado, mas os recursos só poderão ser usados para projetos sustentáveis (CICOGNA et al., 2022; SKROCH, 2023; [B]<sup>3</sup>, 2024).

### **5.1.3 Emendas Parlamentares**

Podem utilizar essa modalidade de financiamento os Estados, Municípios, Distrito Federal e Consórcios Públicos. Porém, quando o objeto é o manejo de águas pluviais urbanas e a drenagem sustentável, o foco do programa são os municípios mapeados e setorizados pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) e outros parceiros com áreas de “Alto e Muito Alto Risco a Movimentos de Massas e Enchentes, cujo processo dominante seja decorrente de eventos hidrológicos críticos: inundação, enxurrada, enchente ou alagamento”. (BOLETIMDOSANEAMENTO, 2024)



## 5.2 BANCO DE FOMENTO INTERNACIONAL: BID

O Banco Interamericano de Desenvolvimento, (BID), possui foco em projetos de desenvolvimento dos países da América Latina e Caribe, por meio de linhas de financiamento, empréstimos, subsídios, cooperação técnica e pesquisa.

A principal linha de financiamento do BID voltada para o setor de saneamento está dentro das linhas de crédito ao setor privado, denominada “Empréstimos e Sindicalizações A/B” (CICOGNA *et al.*, 2022).

## 5.3 COBRANÇA PELOS SERVIÇOS DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Observa-se no Brasil uma tímida cobrança pelos serviços de drenagem e manejo de águas pluviais, por meio de taxas, que são realizadas apenas em Santo André (SP), São Leopoldo (RS) e Montenegro (RS) (SNIS, 2022) o que reflete desafios diante desta cobrança.

Baptista e Nascimento (2002) e Peixoto (2009) lembram da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei nº. 9.433/1997 (Brasil, 1997), que por meio dos Artigos 12, 19 e 20 caracterizam as atividades de drenagem pluvial urbana como usuárias de um recurso hídrico e que podem gerar danos, logo seu uso cabe cobrança.

A sustentabilidade econômico-financeira é um dos princípios fundamentais da prestação dos serviços de saneamento básico, conforme institui a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), Lei nº. 11.445/2007 (Brasil, 2007) e tal atenção é dada também pelo novo marco legal do saneamento, Lei nº. 14.026/2020 (Brasil, 2020), que determina a remuneração pela cobrança dos serviços:

Art. 29. Os serviços públicos de saneamento básico terão a sustentabilidade econômico-financeira assegurada por meio de remuneração pela cobrança dos serviços, e, quando

necessário, por outras formas adicionais, como subsídios ou subvenções, vedada a cobrança em duplicidade de custos administrativos ou gerenciais a serem pagos pelo usuário, nos seguintes serviços:

(...)

III - de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, na forma de tributos, inclusive taxas, ou tarifas e outros preços públicos, em conformidade com o regime de prestação do serviço ou das suas atividades (Brasil, 2020).

Com isso, tramitam no país discussões e deliberações para a regulação, promovidas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), para a cobrança dos serviços de saneamento no país. É previsto para 2024 o estabelecimento de norma de referência com diretrizes para definição de modelos de regulação de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas (ANA, 2023).

Além das fontes de recursos citadas no texto supracitado, outras fontes foram encontradas, mas os recursos são direcionados a regiões específicas do país tais como a região Norte, Nordeste e Sudeste, ou ainda voltadas para municípios de menor porte. Assim, essas fontes de financiamento não foram listadas neste tópico. Foram priorizadas as fontes condizentes com o porte do município de Goiânia, o eixo do saneamento do qual trata este Plano.

Obviamente, fontes de recursos municipais e estaduais podem surgir no decorrer da gestão atual e das futuras, assim como da organização do Comitê da Bacia do Rio Meia Ponte e da evolução da cobrança pelo uso da água bruta, e da implantação do instrumento de cobrança pela drenagem do município. Como estes elementos não estão formalizados, não foram detalhados no corpo do texto.

## **6 INDICADORES PARA ANÁLISE/AVALIAÇÃO DA PRESTAÇÃO DOS SERVIÇOS DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS, LIMPEZA E FISCALIZAÇÃO**

Indicadores são meios de comunicação e como tal requerem o seu entendimento no processo de tomada de decisão. São uma ferramenta versátil para análise de problemas, acompanhamento de processos, e escolha de soluções, entre outras atribuições, ainda muito pouco usada no planejamento das cidades no Brasil. O mais interessante é que esta ferramenta pode ser utilizada em qualquer fase de qualquer dos processos. Segundo Gallopin (1997) e OCDE (2003) *apud* Milograna (2009) a função dos indicadores é a de fornecer informações sobre algo ou descrever o estado de um fenômeno, um ambiente ou uma área. Assim, resumizam ou simplificam um conjunto de informações de modo que os mesmos sejam perceptíveis, quantificáveis e mensuráveis. Sua relevância está na importância atribuída a estes pelos decisores.

Os indicadores podem ser variáveis independentes ou função de um conjunto de variáveis. Podem ser qualitativos ou quantitativos, dependendo da situação. Quando qualitativos podem ser convertidos a uma escala de valores quantitativos. É muito importante que eles sejam claros, em relação à observação ou medição, e de fácil compreensão pelo usuário. No entanto, não se deve esquecer que eles devem ser representativos da situação que se quer analisar, seja ela em nível local ou global (Gallopin, 1997 *apud* Milograna, 2009).

O termo “valor” possui dois significados relevantes no que diz respeito aos indicadores. O primeiro descreve o seu conceito como utilidade e importância relativa, associada ao julgamento dado pelo analista. O segundo refere-se, essencialmente, ao estado de uma variável no contexto geral do sistema, podendo ser uma quantidade numérica ou não-numérica, alocada por meio de observações, medidas, cálculos ou inferências (Gallopin (1997) *apud* Milograna (2009)).

No ciclo de tomada de decisão, a agregação dos indicadores pode ocorrer de diferentes formas conforme os objetivos do estudo. Nessa etapa, pode-se adotar uma análise individual de criação de um índice composto apenas pela agregação dos indicadores de acordo com a conveniência do resultado esperado, pode-se adotar uma análise de critério único ou uma análise multicriterial, tanto para a apresentação dos resultados quanto para o processo de ponderação dos indicadores.

O objetivo dos indicadores propostos pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana de Goiânia (PDDU-GYN) é o de avaliar, continuamente, o desempenho de todos os processos envolvidos na drenagem das águas pluviais urbanas, desde a captação destas até a saída da bacia de drenagem, buscando verificar o que precisa ser aprimorado desde a micro até a macrodrenagem, assim como os subsistemas que interagem com a drenagem, e as medidas não estruturais que precisam ser aplicadas.

Para a elaboração do conjunto de indicadores proposto foi feita uma extensa pesquisa bibliográfica a fim de identificar possíveis indicadores já propostos por outros autores e, assim, poder fazer uso da experiência de outros autores.

## 6.1 CRITÉRIOS ADOTADOS PARA ELABORAÇÃO DOS INDICADORES

Para verificar as condições do sistema de drenagem para o município de Goiânia foram elencados alguns aspectos, que se julgaram como sendo os mais representativos das condições necessárias para o atendimento à universalização da oferta do sistema. O uso dos indicadores permite obter um panorama sobre a evolução em direção às metas pretendidas. Os critérios adotados foram então os seguintes:

- Indicadores de gestão;
- Indicadores de vulnerabilidade; e
- Indicadores de desempenho.



Como indicadores de gestão foram alocados os critérios que analisam aspectos da gestão da drenagem em áreas urbanas que interferem no planejamento deste e se manifestam, num outro momento, na eficiência do seu funcionamento. Neste critério, estão alocadas leis e normas que regulamentam a elaboração de projetos, a coleta de dados, as atividades de preparo pré período chuvoso, e outras ligadas à condução do órgão gestor responsável pelo sistema.

Os indicadores de vulnerabilidade compreendem aqueles que envolvem a combinação de um elemento vulnerável e um provável funcionamento deficiente. Como elementos vulneráveis, em áreas urbanas, são considerados: a população e aquilo que dela decorre, e o meio ambiente.

Os indicadores de desempenho foram formulados de modo a verificar, por meio de dados do sistema instalado e de eventos passados, a possibilidade de atendimento às prerrogativas do funcionamento ideal do sistema de drenagem pluvial.

## 6.2 INDICADORES DE GESTÃO

Os indicadores incluídos neste tópico têm como objetivos avaliar as ações do poder público municipal, os instrumentos de gestão, e os fatores ligados à mão de obra responsável pelo sistema disponível no órgão gestor. Esses elementos podem interferir de modo direto na concepção, no acompanhamento e na elaboração, aprovação e fiscalização de projetos de novos loteamentos e na solução de problemas que porventura venham a surgir após os identificados por este Plano.

### 6.2.1 (IG1) Capacidade do órgão gestor na continuidade das ações

O indicador IG1 (Eq. 1) relaciona a porcentagem de servidores efetivos responsáveis pela área de planejamento do sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do órgão gestor em relação ao total de servidores deste setor. A finalidade deste indicador é verificar se a cada período avaliador existe uma

quantidade de mão de obra efetiva maior que a contratada, pensando na continuidade das ações propostas em cada gestão.

$$IG1 = \frac{NS_e}{NS_t} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

NS<sub>e</sub> - Número de servidores efetivos responsáveis pela prestação do serviço drenagem;

NS<sub>t</sub> - Número total de servidores responsáveis pela prestação do serviço drenagem.

Intervalo desejável: crescente no intervalo [0,1].

## 6.2.2 (IG2) Capacitação técnica de pessoal

O indicador IG2 parte da premissa de que tanto parte da equipe efetiva pode ser desligada por aposentadoria, ou outro motivo qualquer, e parte da equipe contratada em período temporário necessitam de cursos de atualização. Esse processo deverá ser contínuo, e ele está contemplado no planejamento do PDDU. Assim, o indicador de capacitação técnica (IG2) seguirá os valores fornecidos pela Tabela 17, e usar a escala de modo que quanto menor o intervalo de tempo entre a realização de cursos de capacitação, maior o valor do indicador. Nesse caso, haveriam valores intermediários entre 0 e 1 proporcionais ao tempo.

Tabela 17 - Valores do indicador por intervalo de tempo.

Intervalo de tempo	Valor do indicador
T = 1 ano	1,00
T = 2 anos	0,75
T = 3 anos	0,50
T = 4 anos	0,25
T > 4 anos	0,00

### 6.2.3 (IG3) Atualização do cadastro da rede de drenagem existente

Para uma gestão adequada do sistema de drenagem das águas pluviais urbanas é necessário, primeiramente, conhecer o sistema instalado. A maior parte dos municípios brasileiros não tem um cadastro atualizado, sobretudo, da rede de microdrenagem. É necessário um esforço intensivo de atualizar as informações para a correção de possíveis intervenções e continuidade da rede.

A proposta deste indicador é monitorar a manutenção do cadastro da rede de drenagem e manter o mesmo atualizado, daí a importância em se avaliar não apenas a existência do cadastramento da rede, mas também induzir a sua atualização. Dessa forma, a proposta de cálculo do indicador é a seguinte:

#### 6.2.3.1 (IG3) Qual a periodicidade de atualização do cadastro?

☐ Há menos de 1 ano = 1

☐ Entre 1 e 2 anos = 0,5

☐ Há mais de 2 anos = 0

Valor desejável: 1

### 6.2.4 (IG4 e IG5) Manutenção preventiva

Para funcionamento pleno da rede de drenagem tanto micro quanto macrodrenagem há necessidade de manutenção periódica consistindo em limpeza de bocas de lobo, retirada de resíduos sólidos e sedimentos das galerias e canais, desassoreamento dos canais de macrodrenagem.

O PDDU-GYN prevê, após a sua implementação, a existência de um Plano de Controle de Manutenção do sistema de drenagem pluvial, e, portanto, é considerado o indicador IG5 que registra a manutenção do sistema e o seu atendimento.

Dentre as manutenções realizadas, é proposto um indicador para a realização de limpeza de bocas de lobo (IG6) dado seu potencial de representar as condições imediatas de funcionamento do sistema de drenagem. Nesse plano de manutenção, prevê-se a identificação de áreas com diferentes frequências de limpeza, demandando atenção especial às áreas que necessitam de limpeza mais frequente.

Majesk *et al.* (2014) sugere a seguinte formulação para o indicador IG5:

6.2.4.1 (IG4) A manutenção preventiva é realizada conforme plano de controle de manutenção?

[ ] Sim, conforme um plano de manutenção registrado = 1

[ ] Sim, sem plano de manutenção = 0,5

[ ] Não = 0

Intervalo desejável: crescente no intervalo [0,1]

6.2.4.2 (IG5) Número de vezes por ano em que há previsão de limpeza de bocas de lobo conforme plano de manutenção

$$IG5 = \frac{N_L}{N_T} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

$N_L$  – Número de limpezas de bocas de lobo efetuadas;

$N_T$  – Número de limpezas de bocas de lobo previstas no plano de manutenção.

Intervalo desejável: crescente no intervalo [0,1].



#### 6.2.4.3 (IG6) Limpeza de Canais e Galerias

$$IG6 = \frac{C_L}{C_T} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

$C_L$  – Número de limpezas de trechos de canais e galerias;

$C_T$  – Número de limpezas de trechos de canais e galerias previstos no plano de manutenção;

Intervalo desejável: crescente no intervalo [0,1].

#### 6.2.5 (IG7) Sistemas de previsão e alerta

Sistemas de previsão e alerta de inundações têm o objetivo de reduzir os danos materiais proporcionalmente ao tempo de antecipação do alerta, permitindo que a população se prepare para a chegada da onda de cheia. A maior preocupação dessa medida não estrutural é evitar a perda de vidas humanas na ocorrência de inundações ribeirinhas.

Goiânia é um município cortado por um conjunto significativo de córregos e ribeirões, e um rio. O levantamento de campo executado para o cadastramento da rede de drenagem existente dividiu o município em um conjunto das principais sub-bacias. Dessa maneira, a formulação desse indicador considera essa divisão para análise da existência de sistemas de previsão e alerta de cheias. Cursos d'água (rios, córregos e ribeirões) que possuem problemas na macrodrenagem necessitam ser providos de sistemas de previsão e alerta. Assim, a formulação deste indicador segue a Equação 4.

$$IG7 = \frac{N_{RS}}{N_R} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

$N_{RS}$  - Quantidade de número de rios, córregos e ribeirões com problemas na macrodrenagem, providos de sistemas de previsão e alerta de cheias;

$N_R$  - Número de rios, córregos e ribeirões com problemas na macrodrenagem.

Intervalo desejável: crescente no intervalo  $[0,1]$ .

### **6.2.6 (IG8) Legislação aplicada à drenagem**

Um dos resultados esperados ao elaborar o Plano Diretor de Drenagem Urbana é a elaboração e atualização de documentos, leis e/ou decretos que disciplinem o projeto e a execução de obras, ou a implantação de instrumentos para mitigação dos impactos da urbanização sobre o escoamento superficial.

Assim, para determinar indicadores relacionados ao tema, primeiramente, é preciso a seguinte indagação:

6.2.6.1 (IG8) O município dispõe de legislação específica para drenagem urbana que considera o PDDU e suas atualizações?

☐ Sim e considera atualizações do PDDU = 1

☐ Sim, mas não considera atualizações do PDDU = 0,5

☐ Não dispõe de legislação específica para drenagem urbana = 0

Valor desejável: 1

6.2.6.2 (IG9) A legislação recomenda o uso de técnicas compensatórias para minimizar os impactos da urbanização sobre o escoamento nas parcelas individuais ou na microdrenagem?

[ ] Sim = 1

[ ] Não = 0

Intervalo desejável: crescente no intervalo [0,1]

### 6.2.7 (IG10) Plano de contingência

Os planos de contingência são importantes instrumentos de auxílio nos momentos de crise. Por meio destes, na ocorrência de eventos extremos com interrupção das atividades de deslocamento, necessidade de retirada de famílias de suas residências, alocação temporária da população, aviso de locais seguros para tráfego de veículos, entre outras atividades, os serviços da Defesa Civil e do Corpo de Bombeiros se torna mais ágil. É importante que este seja atualizado acompanhando o PDDU.

Além de rotas seguras, os planos de contingência auxiliam na mobilização da população para a coleta de cestas básicas, cobertores e colchões, identificam locais para alojamento mais próximo a fim de diminuir o risco, sobretudo, de vidas humanas.

O indicador relativo a este instrumento é bastante simples e segue conforme definição a seguir.

6.2.7.1 (IG10) O município possui Plano de Contingência atualizado?

[ ] Sim e é atualizado = 1

[ ] Sim, mas não está atualizado = 0,5

[ ] Não dispõe de Plano de Contingência = 0

Intervalo desejável: crescente no intervalo [0,1]

### 6.2.8 (IG11, IG12) Resposta à população

Estes indicadores foram propostos para avaliar se o órgão gestor mantém um canal de atendimento com a população para o recebimento de sugestões e/ou reclamações e se dão tratativa aos registros realizados.

É válido destacar que o canal de ouvidoria não deve ser considerado um canal efetivo para a contabilização do indicador, já que se espera um canal de atendimento ao usuário e gestão de suas demandas.

Para tanto, pretende-se monitorar:

(IG11) O órgão gestor de drenagem mantém um canal de comunicação com a população?

[ ] Sim = 1

[ ] Não = 0

Intervalo desejável: crescente no intervalo [0,1]

(IG12) Qual o percentual de solicitações atendidas?

$$IG12 = \frac{N_{Atendimentos}}{N_{Solicitações}} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

$N_{Atendimentos}$  - Quantidade de solicitações realizadas pelo canal de comunicação atendidas;

$N_{Solicitações}$  - Quantidade total de solicitações realizadas pelo canal de comunicação.



Intervalo desejável: crescente no intervalo [0,1]

## 6.3 INDICADORES DE VULNERABILIDADE

### 6.3.1 Impactos sobre a sociedade

A comunidade, de um modo geral, é o elo mais fraco dessa equação entre a ocorrência de chuvas e alagamentos distribuídos associados a inundações fluviais. Na ocorrência de alagamentos e inundações de áreas ribeirinhas os grandes problemas são as perdas materiais, os traumas vivenciados e, em casos extremos, a perda de vidas humanas. Desse modo, o foco da solução dos problemas relacionados ao escoamento das águas pluviais é a eliminação, ou pelo menos a drástica redução, dos danos decorrentes dos impactos do escoamento das águas pluviais sobre a superfície e sobre o aumento da vazão dos rios e córregos urbanos.

Além das questões relacionadas aos inconvenientes gerados pela ocorrência das chuvas, outra questão a ser levantada é a aceitação da população das medidas de controle do escoamento propostas. Como o interior de bocas de lobo e galerias, usualmente, ficam cheios de resíduos sólidos e sedimentos, quando da ocorrência de uma chuva, os elementos que estão ali depositados acabam por ser descartados em reservatórios de detenção ou retenção. Quando isso ocorre, pode haver rejeição por parte da comunidade das áreas circunvizinhas, quanto ao uso desse espaço público para um elemento de controle de escoamento que traga consigo esse impacto. Assim, o uso secundário desses espaços para recreação e outras atividades para a comunidade pode diminuir a rejeição sobre a inserção da técnica compensatória naquele local.

Outra questão bastante preocupante é a realocação da população. Essa atividade causa um impacto profundo na população. Mesmo vivendo em áreas de alto risco, seja ela por ocorrência de inundações ou pela combinação de risco hidrológico com risco geológico, a retirada da população das áreas de mais fácil acesso às áreas de infraestruturas e serviços mais centrais, onde a população se aloja, o impacto de morar muito distante dos locais de trabalho, o aumento significativo do tempo de

percurso entre a moradia e o trabalho, também deve ser observado com cautela. Uma área urbana de alto risco, ao ser desocupada, não deve ficar sem destinação por muito tempo sob o risco de retorno do reassentamento dos moradores anteriores ou novos ocupantes. Assim, a desocupação de uma área de alto e por vezes de médio risco, ao ter sua população realocada deve contar com um planejamento que especifique seu posterior uso de baixa vulnerabilidade.

Após as observações anteriores são apresentados os indicadores propostos para esse critério.

#### 6.3.1.1 (IS1) Impacto na mobilidade urbana

A ocorrência de alagamentos distribuídos, normalmente, ocasiona transtornos de modo geral. Com o aumento da lâmina d'água os veículos são impedidos de trafegar, e muitos acabam por perder sua estabilidade junto ao pavimento, vindo a boiar ou mesmo ir parar dentro de rios e córregos. Além disso, existem os inconvenientes da impossibilidade de trafegar por ruas e avenidas repletas de água ou a busca de rotas de tráfego alternativas que podem aumentar sobremaneira o tempo de deslocamento no trânsito. Para o cálculo do indicador de impactos na mobilidade urbana, a proposta é utilizar, a partir da modelagem hidrológica e hidráulica, combinada com os dados vetoriais que descrevem a malha urbana, o somatório dos comprimentos de vias em todas as áreas de inundação ou alagamento de todos os eventos do ano em análise, pelo comprimento total de vias da bacia hidrográfica. O valor resultante é um valor entre 0 e 1 que mostra uma proporção das vias impedidas na ocorrência de chuvas intensas.

A mancha de inundação a ser considerada deverá corresponder à chuva mais intensa do período/ano.

$$IS1 = \frac{NR_i}{NR_t} \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

IS1 – indicador de Impacto na mobilidade urbana;

NR<sub>i</sub> – Número de ruas alagadas na condição ATUAL do Plano de Manutenção dentro da mancha de inundação/alagamento da bacia hidrográfica;

NR<sub>t</sub> – Número de ruas alagadas na condição inicial do PDDU ou dentro da mancha de inundação/alagamento para TR = 50 anos na bacia hidrográfica (km) (o maior valor observado).

#### 6.3.1.2 (IS2) Perdas de vidas

Durante as inundações e alagamentos, de acordo com a velocidade e a profundidade alcançadas pela água pluvial, é possível o deslocamento de pessoas e veículos ocasionando fatalidades. As perdas de vidas possíveis nestas circunstâncias geram profundo impacto na comunidade que devem ser devidamente geridos e tratados. Assim, a proposta para este indicador é a seguinte:

Se  $N_M=0$  IS2=1

Se  $N_M>0$  IS2=0

Onde:

$N_M$  – Número de vidas perdidas decorrentes de inundações e alagamentos dentro da bacia hidrográfica.

Valor desejável: 0.

#### 6.3.1.3 (IS3) Número de pessoas afetadas pela inundação/enxurrada

Considera-se como afetadas todas as pessoas inseridas dentro da mancha de inundação da bacia hidrográfica junto à macrozona construída e em pontos registrados junto ao aplicativo MAPER. Utilizando-se os dados de geoprocessamento, junto a sistemas de modelagem hidrológica, combinados com os dados de densidade

de ocupação média da bacia hidrográfica ou do município de Goiânia, é possível obter uma estimativa do quantitativo de pessoas afetadas pela inundação ou alagamento.

$$IS3 = D_{PM} \cdot \sum_{i=1}^n S_i \quad \text{Eq. 7}$$

Onde:

IS3 - Quantidade de pessoas afetadas pela inundação/enxurrada;

$D_{PM}$  – Densidade populacional média na bacia, ou conjunto de setores censitários da bacia, ou do município definida no Plano Diretor de Urbanização ou pelo IBGE em hab/ha ou hab/km<sup>2</sup>;

$S_i$  – Somatório das superfícies inundadas, previamente cadastradas no aplicativo MAPER, junto à macrozona construída, dentro da bacia hidrográfica obtida por geoprocessamento e modelagem hidrológica em ha ou km<sup>2</sup>.

#### 6.3.1.4 (IS4) Realocação da população

Em duas situações torna-se necessária a realocação definitiva da população no contexto das inundações urbanas. São elas: a retirada definitiva da população de um local escolhido para a introdução de medidas de controle com foco na escala territorial macro (de bacia ou sub-bacia); e a outra é a situação de remoção definitiva da população de áreas de alto risco e sua realocação em local seguro.

Em ambas as situações a medida deve ser tomada com muita cautela, uma vez que os impactos podem inviabilizar a adoção da técnica escolhida. Além disso, mesmo no caso de áreas de risco, é necessário um trabalho intensivo com a população realocada, a fim de que a mesma não volte a ocupar a área desocupada e, preferencialmente, dar a esta uma nova destinação que coíba o retorno da população para a mesma.

Dentre os impactos que a realocação da população apresenta estão dificuldades de acesso ao local de trabalho, prejuízos nas atividades sociais e de lazer, entre outras. Existe ainda o impacto econômico, quando a indenização não cobre os



custos da nova moradia ou é necessário mudar de emprego em função da nova localização desta (Milograna, 2009).

A proposta para este indicador foi baseada nos indicadores propostos por Milograna (2009) e sua formulação é a que segue:

$$IS4 = D_{PM} \cdot \sum_{i=1}^n S_{ZI_i} \quad \text{Eq. 8}$$

Onde:

$D_{PM}$  – Densidade populacional média na bacia, ou conjunto de setores censitários da bacia, ou do município definida no Plano Diretor de Urbanização ou pelo IBGE em hab/ha ou hab/km<sup>2</sup>;

$S_{ZI}$  – Somatório das áreas de onde a população será realocada definitivamente em ha ou km<sup>2</sup>.

#### 6.3.1.5 (IS5, IS6) População afetada e exposta ao desenvolvimento de enfermidades

Os indicadores IS5 e IS6 têm sua concepção e formulação bastante semelhante ao IS2, mas estes levam em consideração que a água de inundação se contamina pelo conteúdo de tanques sépticos, latrinas e redes coletoras de águas residuárias, e passam a ser disseminadoras de doenças sendo as mais comuns a leptospirose, a febre tifóide, a hepatite A, as diarreias e as helmintoses intestinais (Kolsky, 1999 *apud* Souza, 2001). Além destas, a leptospirose se apresenta no contato com a água e a lama decorrente do processo de inundação.

Estudos apontam que o risco de desenvolvimento de enfermidades aumenta conforme a altura da lâmina d'água da inundação em contato com o corpo, assim como o tempo de exposição com a água contaminada. A referência de altura d'água adotada é a dos joelhos (aproximadamente 50 cm). Assim, a formulação do indicador IS6 segue o proposto por Milograna (2009) como sendo:

$$IS5 = D_{PM} \cdot \sum_{i=1}^n S_{50i} \quad \text{Eq. 9}$$

Onde:

$D_{PM}$  – Densidade populacional média na bacia, ou conjunto de setores censitários da bacia, ou do município definida no Plano Diretor de Urbanização ou pelo IBGE em hab/ha ou hab/km<sup>2</sup>;

$S_{50i}$  – Somatório das superfícies inundadas com altura de água maior ou igual a 50 cm para cada bacia hidrográfica em ha ou km<sup>2</sup>.

Igualmente importante se faz o acompanhamento das doenças de veiculação hídrica registradas pela Secretaria Municipal de Saúde. Portanto, o indicador IS6, aqui denominado de “Indicador de enfermidades relacionadas às inundações” se faz represento com:

$$IS6 = \text{Número de doenças de veiculação hídrica registrados no período chuvoso no ano pelo órgão municipal de saúde}$$

#### 6.3.1.6 (IS7) Criação e reabilitação de espaços de recreação, lazer e equipamentos urbanos

Para a introdução de alternativas de controle do escoamento numa escala espacial de bacia hidrográfica ou de loteamento, usualmente, utiliza-se áreas públicas sob gestão do poder público municipal. Apesar do aspecto positivo do controle do escoamento superficial, dependendo da técnica adotada, depois de um evento chuvoso pode acontecer de resíduos ficarem retidos ali, como é o caso dos reservatórios de detenção e retenção. Esses reservatórios também conhecidos popularmente como piscinões, após a passagem da chuva, por receberem o escoamento oriundo da rede de microdrenagem, normalmente, ao se esvaziarem ficam cheios de resíduos sólidos e sedimentos. Esse aspecto pode impactar negativamente a população vizinha ao dispositivo.

Uma maneira de reduzir esses impactos é trazer a população diretamente impactada para a tomada de decisão sobre qual medida de controle adotar e, nesses casos, buscar associar a esta um uso secundário. A ideia é aumentar os espaços de lazer disponíveis para a população preferencialmente dentro dos anseios da mesma.

Partindo dessas considerações, Milograna (2009) propôs um indicador com essa finalidade e este foi adaptado para o uso neste trabalho (Tabela 18). Na existência de implantação de mais de uma medida de controle da mesma bacia hidrográfica, para o cálculo do indicador, far-se-á a média dos valores obtidos para cada medida adotada.

Para o cálculo do Índice de Desempenho descrito em tópico subsequente, será utilizado o valor do indicador normalizado.

Tabela 18 - Considerações gerais sobre os usos possíveis das medidas de controle de inundações e valores de IS7 correspondentes por bacia.

Análise dos efeitos	Ident.	Escala adotada	Escala normal.
Implantação de medidas com aumento na área com uso secundário desejado	UD	1,0	1,0
Implantação de medidas com aumento da área com uso secundário efetuado, mas não desejado pela população	UN	0,5	0,75
Implantação de medidas sem uso secundário previsto ou manutenção das condições atuais de uso	IN	0,0	0,5
Supressão de usos secundários sem uso efetivo com a implantação das medidas	SI	-0,5	0,25
Supressão de usos secundários intensamente efetivos com a implantação das medidas	SU	-1,0	0,0

Intervalo desejável: crescente no intervalo [0,1].

### 6.3.2 Impactos sobre o meio

Os indicadores de impactos sobre o meio ambiente são aqueles que permitem registros de condições ambientais ou de impactos que o sistema de drenagem pluvial urbana pode causar sobre este.

A análise e tratamento contínuo destes indicadores colaboram com a adequada operação do sistema de forma que este opere harmonicamente em condições locais minimizando e mitigando os impactos ambientais relacionados à atividade de drenagem pluvial urbana.

#### 6.3.2.1 (IM1) Porcentagem de área impermeável

A proposição de um indicador que avalia a proporção entre a quantidade de áreas impermeáveis em relação à proporção de áreas permeáveis ou o total da superfície ocupada pela bacia hidrográfica reflete o volume do escoamento superficial gerado.

Grandes centros urbanos têm a tendência de aumentar a significativamente a quantidade de áreas impermeáveis com o crescimento da população, substituindo áreas verdes por áreas pavimentadas além daquelas utilizadas pelas vias e passeios públicos e pelas edificações. Goiânia é um desses exemplos em que grande parte vegetação das unidades autônomas é totalmente substituída por revestimentos não permeáveis com o intuito de “facilitar” as operações de limpeza e higienização das residências e, com isso, as normas de uso e ocupação do solo são negligenciadas.

A reversão desse processo só poderá ocorrer mediante uma intensa campanha de esclarecimento sobre os instrumentos normativos e da necessidade de manutenção de áreas vegetadas, a introdução de sistemas de infraestrutura verde ou adoção técnicas compensatórias para o controle do escoamento urbano.

Nesse caso, a proposta para a formulação desse indicador segue conforme a Equação 10.



$$IM1 = \frac{A_{IMP}}{A_{TOT}} \quad \text{Eq. 10}$$

Onde:

$A_{IMP}$  – Quantidade de áreas impermeáveis na bacia em ha ou km<sup>2</sup> obtido por geoprocessamento;

$A_{TOT}$  – Área total ocupada pela bacia hidrográfica em ha ou km<sup>2</sup> obtido por geoprocessamento;

Intervalo desejável: decrescente no intervalo [0,1].

#### 6.3.2.2 (IM2) Alteração na morfologia fluvial

Durante a fase higienista do saneamento no século XIX, os preceitos eram de retirada rápida das águas de chuva da superfície como uma forma de evitar sua contaminação com efluentes de esgoto sanitário devido aos métodos de descarte adotados na época. Nesse período, surgiram as redes de microdrenagem, simulando uma rede de canais mais densa para conduzir volumes pluviométricos pequenos e, até meados do século XX, a solução dos problemas na macrodrenagem se concentrava na aceleração do escoamento. Assim, eram comuns as obras de alterações de canais tais como retificações, corte de meandros, modificações da declividade do fundo, revestimento de margens, alterando a rugosidade dos canais naturais, aumentando a velocidade do escoamento e causando, muitas vezes, uma completa artificialização do meio. Com o aumento dos volumes escoados percebeu-se que essas medidas resolviam o problema localmente, mas transferiam o efeito para jusante, além de surgirem impactos negativos no curso d'água causados pelas diferenças entre as velocidades antes e após as modificações.

Nesse contexto, técnicas de revitalização e recuperação do leito, margens e fundo dos corpos d'água começaram a ser aplicadas a fim de reduzir impactos negativos surgidos com as diferentes formas de acelerar o escoamento. Assim, a proposta deste indicador é baseada no indicador de mesmo nome proposto no estudo de Milograna (2009), que analisa qualitativamente as modificações previstas para o meio. O curso d'água é dividido em função das condições dos leitos maior e menor,

calha principal, margens e o perfil longitudinal, no qual este representa o traçado do curso d'água e as características do seu fundo. Ademais, estas condições são avaliadas por trechos do curso d'água já definidos no âmbito do PDDU-GYN.

Na sequência, após consulta bibliográfica, foi construída a Tabela 19, na qual constam as condições recomendadas, aquelas consideradas delicadas para o meio, e as condições que devem ser evitadas, propõe a adoção de uma escala quantitativa em cinco níveis que correspondem à situação das intervenções. Essa escala foi baseada nas considerações feitas por Cardoso (2008) e considerou os indicadores ligados à forma e sinuosidade em planta do curso d'água e as seções transversais de leitos e margens, e assim foi adotada uma escala que vai de (+1) para a situação adequada adotada, a (-1) para a situação de ações não recomendadas. O resultado do indicador é o somatório entre os valores encontrados para cada um dos elementos formadores do contexto do curso d'água apresentados na Tabela 20. Quanto maior o valor encontrado, melhor o comportamento do cenário.

$$IM2 = \sum_{i=-5}^5 A_{VCI} \quad \text{Eq. 11}$$

Onde:

$A_{VCI}$  – Valor das ações previstas para a composição do indicador.

Tabela 19 - Ações previstas para a composição do indicador.

Componente	Condições Recomendadas	Condições Delicadas	Condições a Evitar
Leito maior	Plena possibilidade de utilização do leito por cheia rara	Capacidade reduzida de utilização do leito por cheia rara	Capacidade extremamente reduzida ou supressão de utilização do leito por cheia rara
Leito menor	Paisagem natural ou reabilitada	Capacidade reduzida para utilização do leito por cheia rara ou urbanização parcial de baixo risco	Supressão do uso por cheia frequente; ocupação de alto risco
Margens	Estáveis, naturalmente ou por técnicas de engenharia ambiental	Estáveis por técnicas artificiais	Desestabilizadas
Calha principal	Geometria natural	Modificações na seção	Modificações com alteração da rugosidade/ revestimento
Desenvolvimento longitudinal (em planta e em perfil)	Traçado e perfil originais	Pequenas alterações em planta e em perfil	Alterações que provoquem aceleração do escoamento e artificialização

Tabela 20 - Valores adotados para as ações previstas na composição do indicador.

Condição	Escala	Escala normalizada
Condição não recomendada existente	-1	0,0
Condição delicada existente	0	0,1
Condição recomendada existente	+1	0,2

Intervalo normalizado desejável: crescente no intervalo [0,1].

O curso d'água em análise será dividido em trechos, e cada trecho obterá seu valor correspondente que será igual ao somatório dos cinco componentes constantes da Tabela 3 avaliados conforme previsto na Tabela 4. O valor final do indicador IM2 será a média aritmética simples dos valores atribuídos a todos os trechos para todos os cursos d'água da bacia hidrográfica em questão.

Para o cálculo do Índice de Desempenho descrito em tópico subsequente, será utilizado o valor do indicador normalizado.

#### 6.3.2.3 (IM3) Indicador de existência de erosões na bacia

Erosões são processos existentes devido aos fatores topográficos (declividade), tipos de solo, usos do solo, intensidade da chuva, velocidade adquirida pela água das chuvas e pelo lançamento de esgotos pluviais.

A associação de alguns fatores frequentes em áreas urbanas, mais comumente a desproteção de superfícies pela retirada da cobertura vegetal, tipos de solo e ação dos ventos e da água, levam à ocorrência de processos erosivos que podem ser facilmente resolvidos no início de seu desenvolvimento. É comum se tornarem um problema progressivo, pois o avanço do processo pode pôr em risco espaços públicos e até mesmo áreas loteadas avançando para as moradias.

A proposta deste indicador é a de verificar a incidência de erosões por km de leito de curso d'água em relação ao número total de erosões identificados no âmbito do PDDU-GYN, para acompanhar a ocorrência do problema, o avanço da ocorrência dos processos existentes, e verificar a preocupação das diferentes gestões com o meio ambiente.

Assim, de maneira simples, a proposta para a definição deste indicador é dada pela Equação 12.

$$IM3 = \frac{N_{PE}}{N_T} \quad \text{Eq. 12}$$

Onde:



$N_{PE}$  – Número de processos erosivos existentes por km de leito de curso d'água;

$N_T$  – Número total de processos erosivos identificados no âmbito do PDDU-GYN junto ao curso d'água;

Intervalo desejável: decrescente no intervalo [0,1].

## 6.4 INDICADORES DE DESEMPENHO

### 6.4.1 (ID1) Cobertura da bacia por bocas de lobo

Bocas de lobo são dispositivos dispostos ao longo das sarjetas com o objetivo de interceptar as águas de chuva e “depositá-las”, inicialmente, no seu corpo para que depois seu conteúdo possa ser transferido para os poços de visita e para as galerias.

A quantidade de bocas de lobo, bocas de leão (outro tipo de dispositivos de captação da água) distribuídas ao longo das ruas e avenidas tem influência direta no tempo de deposição de duração da água da chuva na superfície. Assim, a adequação em relação à quantidade de bocas de lobo disponível em cada bacia hidrográfica do município será avaliada comparando-se a vazão ótima de engolimento de 0,42 L/s/ha ou L/s/km<sup>2</sup> determinada em relação à vazão específica de cada bacia. Assim a formulação já normalizada do indicador é a seguinte:

$$ID1 = \frac{0,42}{Q_{esp}} \quad \text{Eq. 13}$$

$$Q_{esp} = \frac{Q_{bacia}}{A_{bacia}} \quad \text{Eq. 14}$$

Onde:

$Q_{esp}$  – Vazão específica da bacia em L/s/ha ou L/s/km<sup>2</sup>;

$Q_{bacia}$  – Vazão produzida pela bacia em L/s determinada por modelagem;

$A_{bacia}$  – Área superficial da bacia em ha ou km<sup>2</sup>.

#### 6.4.2 (ID2) Indicador de abrangência total da rede de microdrenagem

O presente indicador objetiva avaliar o atendimento da bacia com rede de microdrenagem completa. A formulação do indicador segue o proposto por Cavalcanti Filho (2017) e relaciona a área da bacia com microdrenagem com a área total da bacia. Sua formulação é a seguinte:

$$ID2 = \frac{A_{RMIC}}{A_{TOT}} \quad \text{Eq. 15}$$

Onde:

$A_{RMIC}$  – Área da bacia provida de rede de microdrenagem em km<sup>2</sup> ou ha;

$A_{TOT}$  – Área total ocupada pela bacia hidrográfica em ha ou km<sup>2</sup> obtido por geoprocessamento.

#### 6.4.3 (ID3) Quantidade de pontos críticos de alagamento

Os alagamentos em áreas urbanas surgem quando a rede de microdrenagem entra em colapso e se torna incapaz de conduzir os volumes gerados na superfície e conduzidos para esta. Os condutos, dimensionados para trabalharem como condutos livres, entram em carga e expulsam as águas que ali estão pelas aberturas existentes, além de não permitirem a entrada de novos volumes. Assim, as águas não têm para onde escoar e permanecem na superfície comprometendo a segurança material e a integridade física da população. Assim, quanto mais eficiente a rede de microdrenagem, menor a quantidade de pontos de alagamento que surgirão na bacia hidrográfica.

Dessa maneira, este indicador avalia a eficiência da rede de microdrenagem por meio da análise no número de pontos de alagamento existentes. Sua formulação segue o proposto por Cavalcante Filho (2017):

$$ID3 = \frac{N_{PC}}{A_{TOT}} \quad \text{Eq. 15}$$

Onde:

$N_{PC}$  – corresponde ao número de pontos críticos de alagamento dentro dos limites da bacia;

$A_{TOT}$  – Área total ocupada pela bacia hidrográfica em ha ou km<sup>2</sup> obtido por geoprocessamento.

#### 6.4.4 (ID4) Indicador de manutenção de áreas verdes marginais

O leito maior dos rios, córregos e ribeirões, independentemente de sua localização em áreas urbanas, devem seguir normas em relação à manutenção de vegetação ou ocupação de baixo risco em suas margens. Assim, a recomendação é de que se mantenha a mata ciliar nos limites estabelecidos por lei ou que se adote uma ocupação que mantenha a segurança das margens e do leito maior e menor do curso d'água. Uma das ocupações que ganham bastante atenção em áreas urbanas, é a implantação de parques lineares, espaço de socialização e proteção de espécies animais e vegetais.

É grande o desafio das cidades em manterem as áreas de preservação permanente (APP's) tal como determinadas pelo Código Florestal e, no caso de Goiânia, pelo seu Plano Diretor. Mesmo que estes requisitos legais sejam soberanos, sugere-se um indicador, conforme Equação 16, que avalie o potencial proporcional das matas ciliares acomodarem manchas de inundações por trechos de cursos d'água, tal como apresenta a Tabela 21.

A mancha de inundação, obtida por modelagem hidrológica, a ser considerada para o cômputo do indicador deverá corresponder ao TR de 50 anos.

$$ID4 = \frac{\left[ \frac{\sum_{i=1}^n L_{Ti} C_i}{L_{Total}} \right]_{Direita} + \left[ \frac{\sum_{i=1}^n L_{Ti} C_i}{L_{Total}} \right]_{Esquerda}}{2} \quad \text{Eq. 16}$$

Onde:

$L_{Ti}$  – Comprimento do trecho  $i$

$C_i$  – valor correspondente à condição do trecho  $i$  da Tabela 5

$L_{total}$  – comprimento total dos cursos d'água

Direita e esquerda – margens dos cursos d'água

Tabela 21 - Valores adotados para as margens preservadas de trechos do curso d'água em relação à mancha de inundação.

Condição	Escala
Não há mata ciliar ou parque linear ou não acomoda a mancha de inundação	0,00
A mata ciliar ou parque linear acomoda 25% a mancha de inundação	0,25
A mata ciliar ou parque linear acomoda 50% a mancha de inundação	0,50
A mata ciliar ou parque linear acomoda 100% a mancha de inundação	1,00

Valor desejável: crescente no intervalo [0,00, 1,00].

#### 6.4.5 (ID5) Investimento em drenagem pluvial

O valor de investimento anual em drenagem pluvial registra o montante anual em reais (R\$) relacionado às obras de melhorias e necessárias para a adequada operação do sistema de drenagem e inovação do sistema.

Uma vez elaborado o PDDU-GYN, que indica um prognóstico com projetos a serem implementados, é de se esperar um montante dedicado às obras de drenagem de forma a identificar o empenho em atender as demandas do Plano.

$$ID5 = \frac{\text{Valor de investimentos em drenagem pluvial}}{\text{ano}}$$

Eq. 17



Onde:

Valor de investimentos em drenagem pluvial = montante anual em reais relacionado às despesas de melhorias em R\$/ano.

## 6.5 NORMALIZAÇÃO DOS INDICADORES

Para o processo de agregação dos indicadores em um índice faz-se necessário o processo de normalização destes. O processo de normalização consiste em fazer com que todos os indicadores estejam com valores definidos dentro de um mesmo intervalo, por exemplo, entre 0-1; -1 e +1.

Para o caso dos indicadores propostos, a maioria destes já se encontra com uma formulação cujo resultado já está normalizado entre 0 e 1, sendo, então, este o valor do intervalo adotado.

### 6.5.1 Indicadores já normalizados

Como citado anteriormente, alguns dos indicadores já foram formulados considerando a sua normalização com valores entre 0 (zero) e 1 (um), onde 0 significa o pior desempenho do indicador e 1 o melhor desempenho deste. A relação dos indicadores que se enquadram nesta categoria são:

IG1, IG2, IG3, IG4, IG5, IG6, IG7, IG8, IG9, IG10, IG11, IG12, IS1, IS2, IS7, IM2, IM3, ID2, e ID4.

### 6.5.2 Normalização dos indicadores

Para a normalização dos indicadores que utilizam as manchas de inundação e a densidade populacional como referência, um novo fator será adicionado. Esse novo fator que aqui será chamado de População de Base será a população inserida na

situação mais crítica de inundação modelada para cada bacia hidrográfica, as manchas de inundação para período de retorno igual a 50 anos.

Assim, para a normalização desses indicadores o cálculo da população de base será dada pela Equação 18.

$$Pop_{base} = D_{PM} \cdot \sum_{i=1}^n MI_{TR=50anos_i} \quad \text{Eq. 18}$$

Onde:

Pop<sub>base</sub> – População inserida na mancha de inundação para um TR=50 anos;

$\sum MI_{TR=50anos}$  – Somatório das manchas de inundação para TR igual a 50 anos em ha ou km<sup>2</sup>;

D<sub>PM</sub> – Densidade populacional média das áreas afetadas pela mancha de inundação hab/ha ou hab/km<sup>2</sup>.

#### 6.5.2.1 IS3 - Número de pessoas afetadas pela inundação/enxurrada normalizado

$$IS3_{Normal} = \frac{IS3}{Pop_{base}} \quad \text{Eq. 19}$$

#### 6.5.2.2 IS4 - Realocação da população normalizado

$$IS4_{Normal} = \frac{IS4}{Pop_{base}} \quad \text{Eq. 20}$$

#### 6.5.2.3 IS5 - População afetada e exposta ao desenvolvimento de enfermidades

De modo semelhante aos indicadores anteriores, será obtida uma população, mas apenas para as manchas de inundação com períodos de retorno de 50 anos e

com altura de lâmina d'água iguais ou superiores a 50 cm. Assim, a proposta de formulação para a normalização deste indicador segue a seguinte formulação:

$$Pop_{mancha50} = D_{PM} \cdot \sum_{i=1}^n MI_{TR50anos50cm_i} \quad \text{Eq. 21}$$

$$IS5_{Normal} = \frac{IS5}{Pop_{mancha50}} \quad \text{Eq. 22}$$

#### 6.5.2.4 IS6 - Indicador de enfermidades relacionadas às inundações

A normalização deste indicador segue a seguinte formulação:

$$IS6 = \frac{\text{Número de doenças de veiculação hídrica registradas no período chuvoso do ano no órgão de saúde municipal}}{\text{Número total de doenças de veiculação hídrica já registradas no órgão de saúde municipal}} \quad \text{Eq. 23}$$

#### 6.5.2.5 IM1 - Porcentagem de área impermeável

A normalização deste indicador segue a seguinte expressão:

$$IM1_{Normalizado} = 1 - IM1 \quad \text{Eq. 24}$$

#### 6.5.2.6 ID1 - Cobertura da bacia por bocas de lobo

O cálculo do indicador de cobertura da bacia por bocas de lobo, conceitualmente, determina a incidência desses dispositivos na bacia hidrográfica por unidade de área. Assim, para normalização deste indicador, estabeleceu-se como elemento de comparação, a bacia com a maior incidência de bocas de lobo por unidade

de área. Assim, a normalização deste indicador fica segundo a expressão dada pela Equação 25.

$$ID1_{Normalizado} = \frac{ID1}{Máx_{ID1}_{Bacia}} \quad \text{Eq. 25}$$

Onde:

$Máx_{ID1}_{Bacia}$  - corresponde ao maior valor do indicador ID1 dentre todas as bacias do município.

#### 6.5.2.7 ID3 - Quantidade de pontos críticos de alagamento

Para a normalização do indicador ID3 decidiu-se por atribuir valores entre 0 e 1 tabelados de acordo com o número de pontos de alagamento encontrados na bacia hidrográfica. Assim foi construída a Tabela 22 que avalia o quantitativo de pontos críticos de alagamento, qualificando os mesmos no intervalo supracitado.

Tabela 22 – Normalização do indicador ID3.

Número de pontos de alagamento na bacia	Valor do indicador normalizado
0	1
Entre 1 e 5	0,5
Maior que 5	0

## 6.6 PONDERAÇÃO DOS INDICADORES

O processo de ponderação tem papel importante no processo de decisão, refletindo a importância que o decisor atribui a cada um dos critérios analisados, influenciando diretamente no resultado final de uma análise. A escolha do método para o processo de ponderação baseia-se na adequabilidade do mesmo para o



tratamento da questão e nas facilidades encontradas para a execução deste processo (POMEROL E BARBA-ROMERO, 1993; MILOGRANA, 2009). Assim, para a ponderação dos critérios e indicadores propostos no PDDUGYN, para a avaliação e acompanhamento futuro, dos sistemas de drenagem e águas pluviais urbanas, sugere-se o uso do Método de Atribuição Direta dos Pesos.

“O Método de Atribuição Direta dos Pesos ou Método da Pontuação Direta, são assim chamados porque o decisor avalia os pesos para cada critério diretamente. Como são os métodos de ponderação mais antigos, são também os mais largamente usados em vários contextos”. (MILOGRANA, 2009)

Dentre os métodos de avaliação direta, propõe-se o uso da avaliação cardinal simples, que consiste na avaliação da importância dos critérios pelo decisor, de acordo com uma escala pré-definida. A escala proposta varia de 0 a 100 pontos. Posteriormente à atribuição de pesos aos três critérios adotados (Indicadores de Gestão, Indicadores de Vulnerabilidade, e Indicadores de Desempenho), os pesos atribuídos a cada critério são distribuídos entre os indicadores de cada critério.

Esta etapa da análise não fará parte do corpo do texto deste Prognóstico, uma vez que uma primeira avaliação do cenário inicial ainda não foi executada, e há necessidade de dados para alimentação dos indicadores.

Em pesquisas anteriores, a título de validação, o processo de ponderação ocorre com a participação de especialistas. Na elaboração de Planos Diretores é fundamental a participação do Poder Público, já que as ações partirão dali. Esse momento ocorrerá a posteriori, durante as ações de capacitação do corpo técnico envolvido no planejamento do sistema de drenagem do órgão gestor e representantes.

## 6.7 CÁLCULO DO ÍNDICE DE DESEMPENHO DO SISTEMA

O índice de Desempenho do Sistema será o resumo dos resultados dos indicadores propostos após sua normalização. Para a obtenção do Índice propõe-se a utilização de um critério único de síntese bastante utilizado, dado genericamente pela expressão da Equação 26.

$$g(a) = V_1[g_1(a)] + V_2[g_2(a)] + \dots + V_n[g_n(a)] \quad \text{Eq. 26}$$

Onde  $V_1, V_2, \dots, V_n$  são funções monótonas estritamente crescentes;  $g$  é o critério de síntese; e  $V$  é a função aditiva, que nesse caso é a soma ponderada.

A larga utilização deste modelo é decorrente da intuitividade, e em termos matemáticos, a objetividade e facilidade de compreensão que este apresenta. Para sua aplicação é necessário que seja feita a normalização dos indicadores (GOMES, 2012).

Após a determinação dos indicadores e o processo de ponderação dos indicadores, é possível calcular o índice de desempenho do sistema de drenagem de cada bacia hidrográfica do município de Goiânia. A interpretação dos indicadores e dos critérios individualmente permite identificar pontualmente onde são necessárias ações específicas, enquanto a análise do índice permite avaliar a performance geral da bacia em relação ao funcionamento do sistema de drenagem e manejo de águas pluviais.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente documento, Prognóstico dos Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais para a bacia hidrográfica do córrego Barreiro, parte integrante do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Goiânia (PDDU GYN), apresenta uma análise sobre os desafios e oportunidades relacionados à drenagem urbana na região. Os resultados obtidos são importantes para a formulação de estratégias que visem a melhoria do sistema de drenagem e a mitigação dos riscos associados a eventos hidrológicos extremos.

Um primeiro resultado sugere que a expansão urbana na área não é uniforme, varia significativamente entre as diferentes sub-bacias e continuará a se intensificar nos próximos anos, principalmente para o cenário de 30 anos (entre 0,00 a 0,53 km<sup>2</sup>, 0,01 a 1,51 km<sup>2</sup> e 0,01 a 2,66 km<sup>2</sup>, para as expansões de 5, 15 e 30 anos, respectivamente). Comparando com a área atual da bacia (65,22 km<sup>2</sup>) esse valor representa menos de 5%, indicando que a bacia tem já possui um certo nível de ocupação elevado atualmente.

A avaliação das infraestruturas de drenagem existentes evidenciou um subdimensionamento, com grande parte das obras de arte demonstrando atualmente e no futuro uma capacidade inadequada para atender à demanda crescente associada à expansão urbana e à intensificação do processo de impermeabilização do solo.

A expansão urbana, ao incrementar o volume de escoamento superficial, exerce pressão sobre o sistema de drenagem, exacerbando os problemas de inundação. A análise de cenários futuros, considerando diferentes horizontes temporais (5, 15 e 30 anos) e eventos de chuva extremos (TR = 50 anos), confirmou a tendência de agravamento das condições de drenagem, com consequências diretas para a ocorrência de inundações e alagamentos.

Neste contexto, este estudo avaliou a combinação de estruturas de retenção e medidas de drenagem na fonte como estratégias para reduzir os riscos associados a eventos extremos de precipitação. Inclusive, a análise econômica realizada demonstrou que a implementação de medidas de drenagem na fonte pode gerar uma economia de aproximadamente 8 milhões de reais em comparação com a construção

de estruturas de retenção exclusivamente no sistema de macrodrenagem, sendo que estas ainda possibilitam uma melhoria do sistema de microdrenagem devendo ser incentivada em todos os lotes, inclusive aqueles já construídos.

Assim, com base nos resultados obtidos, recomenda-se a adoção de um conjunto de medidas complementares, tanto estruturais quanto não estruturais. As medidas estruturais visam ampliar a capacidade de armazenamento do sistema, enquanto as medidas não estruturais buscam reduzir o volume de água que chega ao sistema, as quais demonstraram potencial para reduzir a incidência de inundações, especialmente no contexto de 30 anos de expansão urbana.

Os volumes a serem armazenados a montante de cada obra de arte totalizaram 6.519,83 m<sup>3</sup> para a expansão de 5 anos e um custo de R\$ 717.971,13, para o cenário de 15 anos o volume foi de 7.271,03 m<sup>3</sup> e um custo de R\$ 800.603,35, enquanto na expansão de 30 anos o custo foi de R\$ 877.840,07 para um volume de 7.973,18 m<sup>3</sup>. Esses resultados indicam um crescimento consistente tanto no volume de armazenamento quanto nos custos associados.

A promoção de programas de conscientização e a participação ativa da comunidade são essenciais para a eficácia das estratégias de controle da erosão e da gestão das águas pluviais. Essas ações visam não apenas mitigar os problemas de drenagem e alagamentos, mas também promover um desenvolvimento urbano mais sustentável e resiliente, garantindo a segurança e a qualidade de vida dos habitantes da cidade.

Na análise dos processos erosivos e com base no Diagnóstico, evidenciou-se que as taxas de impermeabilização da área urbanizada da bacia hidrográfica do córrego Barreiro, que alcançam 27,63% da bacia, resultam em um aumento significativo no escoamento superficial das águas pluviais. Isso contribui para a erosão das margens do córrego, acentuada pela presença de estruturas de lançamento de águas pluviais que favorecem o acúmulo e a velocidade da água em pontos específicos, potencializando os processos erosivos nas margens.

Os principais resultados encontrados no estudo incluem a identificação de 76 erosões e 50 estruturas de lançamento de águas pluviais na bacia hidrográfica do córrego Barreiro, das quais 3 se destacam como pontos críticos para a formação de



processos erosivos. Utilizando técnicas de geoprocessamento, foi possível mapear essas interações, demonstrando que as construções de drenagem inadequadas exacerbam a velocidade do fluxo hídrico, levando ao agravamento das condições das margens.

Em relação às estimativas de custos para a recuperação das margens, a metodologia empregada considerou não apenas os parâmetros físicos das erosões, como comprimento, altura, área e volume, mas também a necessidade de soluções técnicas que permitam a contenção dos solos, incluindo a execução de muros de contenção do tipo gabião. A proposta de recuperação deve seguir critérios rigorosos quanto à qualidade dos materiais, como a compactação do aterro em camadas e a verificação das características dos solos, além de técnicas de implementação específicas, a fim de garantir a eficácia e a durabilidade das intervenções.

Além disso, a análise ressaltou a importância de integrar medidas não estruturais, como a adoção de poços de infiltração individuais e telhados verdes, no manejo das águas pluviais. Essas intervenções são essenciais para promover uma abordagem sustentável, contribuindo não apenas para a redução dos problemas de drenagem urbana, mas também para o restaurar da qualidade da água e a recarga do lençol freático.

Adicionalmente, foram mapeados oito pontos de alagamento decorrentes da microdrenagem na área, o que evidencia a importância de medidas corretivas. A localização e a identificação desses pontos de alagamento ressaltam a necessidade de um planejamento urbano que considere tanto soluções estruturais, como bacias de retenção e dispositivos de infiltração, quanto medidas não estruturais, como educação ambiental e controle do uso do solo, visando à mitigação dos efeitos adversos da urbanização e à melhoria da drenagem pluvial urbana.

Assim, as análises de custo propostas para a recuperação das margens dos cursos hídricos indicam a necessidade da execução de muros de contenção, como gabiões, e da proteção do leito com gabiões tipo saco, que devem ser implementados seguindo critérios técnicos rigorosos para garantir a estabilidade e eficácia das intervenções. Além disso, a adoção de práticas como a implementação de poços de infiltração e telhados verdes é fundamental para complementar as medidas

estruturais, promovendo assim uma gestão hídrica integrada e contribuindo para a mitigação dos problemas de alagamentos e erosão nas áreas urbanas.

Outro aspecto abordado no documento é a proposta de indicadores de desempenho, que permitirão a avaliação contínua da eficácia do sistema de drenagem. Esses indicadores são importantes para monitorar a evolução das condições de drenagem e para identificar áreas que necessitam de melhorias, possibilitando uma gestão mais informada e proativa.

O prognóstico também enfatiza a importância da integração entre os sistemas de drenagem, abastecimento de água e esgotamento sanitário. Essa compatibilização é essencial para garantir uma gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos, considerando a interdependência desses sistemas na dinâmica urbana. Para esta bacia hidrográfica não foram identificados pontos/travessias afetados.

Por fim, o documento ressalta a necessidade de diversificação das fontes de financiamento para viabilizar as intervenções propostas. A busca por recursos municipais, estaduais e federais é considerada crucial para assegurar a implementação das medidas necessárias, dada a magnitude dos investimentos requeridos.

Os resultados encontrados oferecem um panorama da situação atual da drenagem na bacia do córrego Barreiro, ao mesmo tempo em que delineiam diretrizes e propostas que visam a melhoria do sistema de drenagem urbana. A implementação dessas diretrizes é imperativa para a construção de um ambiente urbano mais resiliente e sustentável, capaz de enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas e pelo crescimento urbano.

## REFERÊNCIAS

AMMA. AGÊNCIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE DE GOIÂNIA. **Levantamento e diagnóstico de pontos erosivos no município de Goiânia, Goiás**. Prefeitura de Goiânia, 2007.

ANDJELKOVIC, I. Guidelines on non-structural measures in urban flood management. **IHP-V, Technical Documents in Hydrology**, n. 50, UNESCO, Paris, França, 2001. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000124004>. Acesso em: 01/11/2024.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Resolução nº. 174: Aprova a revisão ordinária da Agenda Regulatória da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - A NA para o período de 2022-2023-2024**. Brasília, DF, 2023.

AZZOUT, Y. BARRAUD, S.; CRES, F. N.; ALFAKIH, E. **Techniques Alternatives en Assainissement Pluvial: Choix, Conception, Réalisation et Entretien. Technique et Documentation**. Lavoisier. Paris, França. 372 p. 1994.

BAPTISTA, M. B., NASCIMENTO, N. O. E BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2005. ABRH, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 266 p.

BATISTA, D. C. L.; VIEIRA, A. F. S. G.; MARINHO, R. R. **Utilização do "Google Earth Pro" no mapeamento de voçorocas na área urbana de Manaus (AM), Brasil**. *Geosaberes*, v. 10, n. 20, p. 1-12, 2018.

BARRAUD, S.; AZZOUT, Y.; CRES, F. N.; CHOCAT, B. Selection aid of alternative techniques in urban storm drainage – proposition of an expert system. **Water Science Technology**, 39 (4), 241-248, 1999.

BIOCONEXÃO URBANA E FUNDAÇÃO GRUPO BOTICÁRIO DE PROTEÇÃO À NATUREZA. **Cidades do Futuro – As Soluções Baseadas na Natureza ajudando a enfrentar a emergência climática. Exemplos práticos de Soluções Baseadas na Natureza e guia de fontes com especialistas**. Sem data. 65p.

BNDES. BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO, 2024. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finem-meio-ambiente-planejamento-gestao>. Acesso em: 20/02/2024.

BOARDMAN, J. **The value of Google Earth™ for erosion mapping**, *Catena*, v. 143, p. 123-127, 2016.

BOLETIM DO SANEAMENTO, 2024. Disponível em: <https://boletimdosaneamento.com.br/investimentos-marco-do-saneamento-publicos/#emendas>. Acesso em: 27/02/2024.

BOURGET, P. G. Collective Capacity: Regional Information Sharing in Support of Floodplain Management. **Non-Structural Measures for Water Management Problems International Workshop**, Ontario, Canadá, 2001.

BRASIL. Lei nº. 9.433: Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 1997.

\_\_\_\_\_. Lei nº. 11.445: Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº. 6.528, de 11 de maio de 1978. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 2007.

\_\_\_\_\_. Lei nº. 14.026: Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº. 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº. 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº. 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº. 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº. 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº. 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 2020.

CARNEIRO, A.F. S.; FARIA, K. M. S. de; SOARES NETO, G. B. **Identificação De Processos Erosivos Em Imagens De Alta Resolução No Município De Goiânia**. In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R.R. *Os Desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento*. Campinas, SP: Instituto de Geociências/UNICAMP. 2017.

CAVALCANTE, L. R. **Análise da evolução da paisagem urbana de Goiânia (GO) e a distribuição dos focos erosivos hídricos de 1992 a 2016**. 219 pg. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.

CAVALCANTI FILHO, MARCONI JOSÉ LOPES. **Desenvolvimento e avaliação de um conjunto de indicadores para representação do sistema de drenagem urbana**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em recursos Hídricos e Saneamento. Maceió, 2017. 146p.

CALIFORNIA STORMWATER QUALITY ASSOCIATION. **Stormwater Best Management Practice – Handbook - New Development and Redevelopment**. 2003. 378 p. Disponível em: [https://cccleanwater.org/wp-content/uploads/2024/04/BMP\\_NewDevRedev\\_Complete.pdf](https://cccleanwater.org/wp-content/uploads/2024/04/BMP_NewDevRedev_Complete.pdf). Consulta em 29/10/2024.

CEF. CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2024. <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/finisa/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 23/02/2024.

CEF, CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/novopac/agua-para-todos/revitalizacao-de-bacias-hidrograficas>. Acesso em: 20/03/2024.

CERTU - CENTRE D'ETUDES SUR LES RESEAUX, LES TRANSPORTS, L'URBANISME ET LES CONSTRUCTIONS PUBLIQUES. **Techniques Alternatives aux Reseaux d'Assainissement Pluvial: Éléments Clés pour leur Mise en Oeuvre**. Edition du Certu. Lyon, França. 155 p, 1998.

CHOCAT, B. **Encyclopédie de l'Hydrologie Urbaine et de l'Assainissement**. Technique et Documentation Lavouisier, Paris, França, 1124 p, 1997.

CICO GNA, M. P. V.; TONETO JR. R.; GREMAUD, A. P.; e FIGUEIREDO, A. G. B. Financiamento do saneamento: linhas de crédito e perfil do endividamento das sociedades anônimas no Brasil. *Revista Tempo do Mundo – RTM*. n. 29, ago. 2022.



CONSCIENTE CONSTRUTORA E INCORPORADORA. **Praça Conceito Consciente**. Disponível em: <https://consciente.com.br/noticias/praccedila-conceito-consciente>. Acesso em: 29/10/2024.

CONSTRUTORA COROADOS. **Wetland - Estação Cidade Jardim**. Disponível em: <https://construtoracoroados.com.br/project/wetland-estacao-cidade-jardim>. Acesso em: 30/10/2024.

DAYWATER. **Review of the Use of Stormwater BMPs in Europe**. 2003. Disponível em: Erro! A referência de hiperlink não é válida..

ECOSALIX. Muro de Suporte Vivo. Disponível em: <https://ecosalix.pt/muro-de-suporte-vivo/>. Acesso em: 30/10/2024.

FAO - Food and Agriculture Organization. **Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management**. Rome. 100 pp. 2019. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

FARIA, K.M. S de. Processos Erosivos Lineares No Município De Goiânia In: **XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, 2008, Viçosa. Anais. Viçosa: 2008.

FLETCHER, T. D.; SHUSTER, W., HUNT, W. F., ASHLEY, R., BUTLER, D., ARTHUR, S., TROWSDALE, S., BARRAUD, S., SEMADENI-DAVIES, A., BERTRAND-KRAJEWSKI, J-L, MIKKELSEN, P.S., RIVARD, G., UHL, M., DAGENAIS, D. e VIKLANDER, M. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**. Vol. 12, nº 7, 525-542. 2014.

GOMES, LUIZ FLAVIO AUTRAN MONTEIRO; GOMES, CARLOS FRANCISCO SIMÕES. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. Ed. Atlas. São Paulo. 2012. 331p.

GVSD - GREATER VANCOUVER SEWERAGE & DRAINAGE DISTRICT. **Stormwater Source Control: Preliminary Design Guidelines**. Disponível em: <http://www.gvrd.bc.ca.>, 2004.

KARYDAS, C.; PANAGOS, P. **Towards an Assessment of the Ephemeral Gully Erosion Potential in Greece Using Google Earth**. *Water*, v. 12, n. 2, p. 603, 2020.

KNIERIN, I. da SILVA; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. de S. **Relação dos processos erosivos lineares com os atributos do relevo no município de Unistalda - RS**. *GeoUERJ*, n. 32, p. e23397, 2018.

KUNDZEWICZ, Z.W. Non-structural Flood Protection and Sustainability. **Non-Structural Measures for Water Management Problems International Workshop**, Ontario, Canadá, 2001.

MILOGRANA, J. **Sistemática de Auxílio à Decisão para a Seleção de Alternativas de Controle de Inundações Urbanas**. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Publicação PTARH. TD – 05/09, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 316 p, 2009.

MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2024. Avançar Cidades – Saneamento. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/avancar-cidades-saneamento>. Acesso em: 23/02/2024.

MOURA, P. M. **Contribuição para a Avaliação Global de Sistemas de Drenagem Urbana**. Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2004.

NASCIMENTO, N. O.; BAPTISTA, M. B.; SOUZA, V. C. B. Sistema “HIDROURB” para o Pré-Dimensionamento de Soluções Compensatórias em Drenagem Urbana. **Anais [...]. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, meio ótico em CD. Vitória, Brasil. 1997.

NICOLAU, R. de F. **Dendrogeomorfologia, erosão hídrica e uso do solo em uma área urbana do município de Goiânia, Goiás, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.

OLIVEIRA, B. E. N.; MATRICARDI, E. A. T.; CHAVES, H. M. L.; BIAS, E. S. **Identificação dos processos erosivos lineares no Distrito Federal através de fotografias aéreas e geoprocessamento**. *Geociências*. v. 32, n. 1, 2013.

POMEROL, JEAN-CHARLES; BARBA-ROMERO, SERGIO. **Choix multicritère dans l'entreprise: principe et pratique**. Hermes, Paris, França. 390p. 1993.

POMPÊO, C. A. A evolução histórica do conceito de drenagem. 1998. Disponível em [www.labdren.ufsc.br/drenagem/aulas/02\\_evolucao\\_historica\\_do\\_conceito\\_de\\_drenagem.ppt](http://www.labdren.ufsc.br/drenagem/aulas/02_evolucao_historica_do_conceito_de_drenagem.ppt). Acesso em: 20/04/2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PEDRO DO IGUAÇU. **Plano Municipal de Saneamento Básico (1ª Revisão) Referente à Prestação dos Serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas de São Pedro do Iguaçu/PR. Etapa 6. Mecanismos e procedimentos de controle social e dos instrumentos para monitoramento e avaliação sistemática da eficiência, eficácia e efetividade das ações previstas no PMSB**. São Pedro do Iguaçu, Paraná. 2017. 46p.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Manual de Desenho Urbano e Obras Viárias – Cidade de São Paulo**. 2021 Disponível em: <https://manualurbano.prefeitura.sp.gov.br/manual/6-infraestrutura-verde-e-azul>. Consulta em 12/10/2024.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Jardins de chuva melhoram o escoamento das águas e trazem beleza para a capital paulista**. 2023. Disponível em: <https://capital.sp.gov.br/web/subprefeituras/w/noticias/356074>. Acesso em: 29/10/2024.

REIS, R. P. A; OLIVEIRA, L. H.; SALES, M. M. Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 99-117, 2008. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/5361>. Acesso em: 29/10/2023.

RIGHETTO, A. M. **Manejo de águas pluviais urbanas**. 2009.

SANDRE, A. A.; LIMA, C. C. S.; THÁ, D.; MORAES, D. F.; TOMINAGA, E. N. S.; GONÇALVES, F. C.; CASARONI, H. N.; POLO, J.; GUIMARÃES, J. L. B., BARROS, M. A. L. L.; GRACIOSA, M. C. P.; PACHECO, R.; POMBO, R.; DAHER, S.; REIS, H. H. **Catálogo de Soluções baseadas na Natureza para Espaços Livres**. Campinas, SP e Rio de Janeiro, RJ. 2024.

SERRA, J. M. L.; COMASSETO, N. J. **Contribuições das soluções baseadas na natureza para a gestão municipal**. Brasília CNM. Brasil. 2023.

SKROCH, 2023. S. B. Estadão 13/11/2023. **O que são e como vão funcionar os títulos verdes emitidos pelo governo**. Disponível em: <https://www.estadao.com.br/economia/titulos-verdes-green-bonds-entenda-o-que-saonprei/#:~:text=Os%20%C3%ADtulos%20verdes%20permitem%20ao,transi%C3%A7%C3%A3o%2>



[Oenerg%C3%A9tica%2C%20transporte%20sustent%C3%A1vel%20etc.](#)  
27/02/2024.

Consulta em:

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis#:~:text=%C3%81guas%20Pluviais>. Acesso em: 18/03/2024.

[B]<sup>3</sup>, 2024. **Títulos Privados**. Disponível em: [https://www.b3.com.br/pt\\_br/produtos-e-servicos/negociacao/rendafixa/debentures.htm#:~:text=A%20deb%C3%AAnture%20%C3%A9%20um%20t%C3%ADtulo,o%20valor%20investido%20\(principal\)](https://www.b3.com.br/pt_br/produtos-e-servicos/negociacao/rendafixa/debentures.htm#:~:text=A%20deb%C3%AAnture%20%C3%A9%20um%20t%C3%ADtulo,o%20valor%20investido%20(principal)). Acesso em: 27/02/2024.

THAMPAPILLAI, D. J. E MUSGRAVE, W. F. Flood damage mitigation: a review of structural and nonstructural measures and alternative decision frameworks. **Water Resources Research**, vol. 21 n. (4), 411-424, 1985.

TONETO J. R. RUDINEI E CICOONA, 2021. **USP Municípios – CEPER**. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finem-meio-ambiente-planejamento-gestao>. Acesso em: 20/02/2024.

TUCCI, C. E. M. Controle de enchentes. In: Tucci, C.E.M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. ABRH, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 943 p, 1997.

TUCCI, C. E. M; GENZ, F. Controle do impacto da urbanização. In: Tucci, C.E.M., Tozzi, M, Porto, R.L.L., Barros, M.T. **Drenagem Urbana**. ABRH, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 428 p, 1995.

UDFCD - URBAN DRAINAGE AND FLOOD CONTROL DISTRICT. **Drainage Criteria Manual**, Vol.3. 2002.

UNITED NATIONS Environmental Programme. **First Draft of the Post-2020 Global Biodiversity Framework Convention on Biological Diversity**. Third Meeting. 2021.

URBONAS, B.; STAHR, P. **Stormwater Best Management Practices and Detention for Water Quality, Drainage, and CSO Management**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, E.U.A., 441 p, 1993.

USACE (1995). **Hydrologic Engineering Requirements for Flood Damage Reduction Studies**. Disponível em [www.usace.army.mil](http://www.usace.army.mil). Acesso em 01/11/2024.

VALENTE DE MACEDO, L.; BELLEZONI, R. A.; PUPPIM DE OLIVEIRA, JOSE A.; SALEHI, P.; CURRIE, P.; JONES, A. **Innovating in Urban Green and Blue Infrastructure to Improve the Food-Water-Energy Nexus: An Implementation Guide for Cities and Subnational Governments**. São Paulo: FGV EAESP CEISA and ICLEI. 2022. 97p.

WETLANDS CONSTRUÍDOS LTDA. Superando os desafios do tratamento de esgotos no Brasil com os wetlands construídos. Disponível em: <https://www.wetlands.com.br/post/superando-os-desafios-do-tratamento-de-esgotos-no-brasil-com-wetlands-constru%C3%ADdos>. Acesso em: 30/10/2024.

WORLD RESOURCES INSTITUTE – BRASIL (WRI BRASIL). **Soluções baseadas na natureza: exemplos implementados por cidades brasileiras**. Disponível em:



<https://www.wribrasil.org.br/noticias/solucoes-baseadas-na-natureza-exemplos-implementados-por-cidades-brasileiras>. Acesso em: 29/10/2024.

\_\_\_\_\_. **Políticas públicas de soluções baseadas na natureza avançam em cidades brasileiras.** Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/politicas-publicas-de-solucoes-baseadas-na-natureza-avancam-em-cidades-brasileiras>. Acesso em: 30/10/2024.

MINUTA

