

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS CARACTERÍSTICAS
GEOMORFOLÓGICAS E PADRÕES DE USO E
OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO NO DISTRITO FEDERAL
NO MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS**

LETÍCIA KARINE SANCHES BRITO

ORIENTADOR: SERGIO KOIDE

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS**

**PUBLICAÇÃO: PTARH.DM
BRASÍLIA/DF: JULHO – 2020**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS CARACTERÍSTICAS
GEOMORFOLÓGICAS E PADRÕES DE USO E
OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO NO DISTRITO FEDERAL
NO MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS**

LETÍCIA KARINE SANCHES BRITO

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU
DE MESTRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS
HÍDRICOS.**

APROVADA POR:

**Prof. Sergio Koide, PhD (ENC-UnB)
(Orientador)**

**Prof. Alexandre Kepler Soares, Dr. (ENC-UnB)
(Examinador Interno)**

**Prof. Nilo de Oliveira Nascimento, Dr. (EHR -UFMG)
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA/DF, 06 de JULHO DE 2020.

FICHA CATALOGRÁFICA

BRITO, LETÍCIA KARINE SANCHES

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS E PADRÕES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO NO DISTRITO FEDERAL NO MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS [Distrito Federal] 2020.

200p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2020). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. *Urban Structure Types (UST)*

2. SWMM

3. Drenagem Urbana

4. Geomorfologia

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BRITO, L. K. S. (2020). Avaliação do Impacto das Características Geomorfológicas e Padrões de Uso e Ocupação do Solo Urbano no Distrito Federal no Manejo de Águas Pluviais. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 200p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Letícia Karine Sanches Brito

TÍTULO: Avaliação do Impacto das Características Geomorfológicas e Padrões de Uso e Ocupação do Solo Urbano no Distrito Federal no Manejo de Águas Pluviais.

GRAU: Mestre

ANO: 2020

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Letícia Karine Sanches Brito
Rua Citrino nº 824, Residencial Topázio.
78.890-000 Sorriso - MT – Brasil.

*Á Alice Sanches, guerreira
que sempre batalhou para
tornar meus sonhos
realidade!*

“Sua tarefa é descobrir o seu trabalho e, então, com todo o coração, dedicar-se a ele.”

Buda

“A imaginação é mais importante que o conhecimento. Conhecimento auxilia por fora, mas só o amor socorre por dentro. Conhecimento vem, mas a sabedoria tarda.”

Albert Einstein

Dias de Luta, Dias de Glória!

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter concedido o dom da vida, e ao Mestre Jesus pelos ensinamentos passados de geração em geração. Maria passou sempre a frente com seu manto em toda a jornada deste trabalho. Aos meus pais Alice Sanches e Aparecido Pires Brito, por terem me dado o apoio e suporte emocional, financeiro e espiritual durante toda a minha formação profissional e pessoal. A minha irmã Gabrielly pelo apoio complementar como irmã mais velha que foi muito importante durante meu crescimento e amadurecimento.

Agradeço aos meus Tios Luiz e Edna Borges por todo o carinho e apoio, que sempre esteve presente em todas as fases de minha vida, da infância até a vida adulta.

À Família Sanches e Família Brito, por todo o carinho que sempre me proporcionaram.

Ao meu Orientador professor Sergio Koide, por todos os ensinamentos e sabedoria que me transmitiu durante o mestrado, sempre me apoiando e acreditando no meu potencial.

A todos os Profs do PTARH que me passaram conhecimentos dentro e fora da sala de aula, sempre presentes para minha formação.

A toda equipe administrativa da Universidade de Brasília, onde fui bem acolhida e recebida.

A Lais Moreira, Delor Moreira e Família pelo apoio e suporte que me prestaram durante todo o mestrado, principalmente nos meses finais, onde me senti sempre acolhida e amada.

A Maicon Hillesheim, pelo apoio financeiro e emocional durante os primeiros meses do mestrado, que foi imprescindível para minha instalação aqui em Brasília.

A Rochelle Gomes minha companheira de casa mais ranzinza que existe, (risos), por todas as conversas e conselhos sobre meus dramas, companhia, passeios e vivência na república, onde construímos uma amizade muito sólida e leal.

Aos meus amigos construídos ao longo do Mestrado Lais Moreira, Amandinha e Fabio, o grupo mais Powerfull de todos e Gabriela Dorneles amo vocês, Beatriz Costa, Fernando Cornachioni, e demais alunos de TCC que também fiz amizade durante meu trajeto pela UnB.

A Lais Marques pela morada no segundo ano de Mestrado onde aprendi lições valiosas sobre confiança e comunicação.

A Fabiana Ambrózio, pelos ensinamentos durante a coorientação de seu TCC, que foram importantes para minha formação pessoal.

A todos do grupo de pesquisa de Manejo de Águas Pluviais da UnB, em especial Maria Elisa que me auxiliou em todo o processo de formação no mestrado e Daniela Carvalho pelas dicas de modelagem.

Aos meus professores da graduação Flávio Alessandro Crispim e Rogério Dias Dalla Riva (*In memoriam*) pelas cartas de recomendação e apoio para seguir na vida acadêmica. A toda equipe da Universidade do Estado de Mato Grosso, que mesmo após minha formação, não deixaram de entrar em contato comigo, sempre com mensagens positivas de carinho e apoio.

A todo o carinho de meus amigos distantes, em especial o Alef, Jonas e Daiane, que tive mais contato após minha mudança de estado.

A Rebecca Lins por ter confiado em minha capacidade como projetista, me passando meu primeiro projeto residencial, que me auxiliou a me manter financeiramente após o término da bolsa.

A Giselle Dorneles por seu acolhimento durante minha viagem para Inglaterra para apresentação do artigo vinculado a minha pesquisa.

À NOVACAP, pela oportunidade de participação em um projeto, e pelos dados cedidos importantes para o desenvolvimento de minha pesquisa.

Ao Instituto de Geociências por esta pesquisa em parceria que desenvolvemos com os dados da Kassia Castro e da Beatriz, orientadas pelo professor Henrique Roig.

A SEGETH pela disponibilização dos dados no Geoportal para análises de relevo, e cadastro da rede de drenagem.

A CHI WATER pela licença universitária concedida para modelagem do estudo.

A CAPES pela bolsa de mestrado concedida que me permitiu sobreviver e estudar em Brasília.

A FAP DF, pelo financiamento do projeto de pesquisa no qual faço parte.

A todos que de forma direta ou indireta participaram da minha formação pessoal e profissional durante todo esse processo.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	20
2. OBJETIVOS	23
2.1 OBJETIVO GERAL	23
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
3.1 URBANIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	24
3.2 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO	26
3.2.1 LUOS – Lei de Uso e Ocupação do Solo	27
3.2.2 Plano Diretor de Ordenamento Territorial	29
3.2.3 Zoneamento Econômico Ecológico – ZEE DF.....	31
3.2.4 Lei de Permeabilidade	32
3.2.5 Urban Structure Types – UST	33
3.3 EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS	36
3.4 DIMENSIONAMENTO TÉCNICO, ECONÔMICO E OTIMIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS	41
3.5 INFLUÊNCIA DA TOPOGRAFIA NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEO.....	44
3.6 MODELAGEM COMPUTACIONAL APLICADA À DRENAGEM URBANA .	49
3.6.1 O Programa SWMM.....	52
3.6.2 Medidas Compensatórias dentro do Modelo SWMM	54
3.6.3 Estudos com o SWMM.....	57
3.7 ESTUDOS UTILIZANDO PADRÕES DE OCUPAÇÃO URBANA.....	60
3.8 SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS EM ÁREAS URBANAS.....	68
4. METODOLOGIA	76
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	81
4.1.1. Distrito Federal	81
4.1.2 Tipos de Solos	83
4.1.3 Vegetação	85
4.1.4 Clima e Hidrologia	85
4.1.5 Topografia	87
4.2 PROPOSTA URBANÍSTICA DE LOTEAMENTOS E QUADRAS	91
4.3 PARÂMETROS DE PROJETO	99
4.3.1 Dimensionamento da Rede.....	99
4.3.2 Chuva de Projeto	100
4.3.3 Cálculo de Infiltração e escoamento Superficial.....	101
4.3.4 Evapotranspiração	103
4.3.5 LIDS	104
4.4 SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS.....	106

4.5 MODELAGEM MATEMÁTICA	109
4.6 CUSTO DA REDE DE DRENAGEM	111
5. RESULTADOS.....	112
5.1 ANÁLISE DO EFEITO DO TIPO DE SOLO E DO PADRÃO DE OCUPAÇÃO NA INFILTRAÇÃO E GERAÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL	113
5.1.1 Quadras RB1 e RM – Estudo do aumento da Vazão de Pico com a Compactação do Solo em Áreas Urbanas e a Utilização de Medidas Compensatórias	113
5.1.2 Quadras RH1 e RH5 – Estudo da provisão do serviço ecossistêmico de recarga de aquíferos	115
5.2 VAZÃO DE PRÉ-DESENVOLVIMENTO PARA O CENÁRIO DE LOTEAMENTOS EXPERIMENTAIS	116
5.3 LOTEAMENTOS PROJETADOS COM BASE EM ESTRUTURAS URBANAS USAIS NO DF	118
5.3.1 Impacto dos padrões de ocupação urbana no ambiente por relevo e o uso de LIDs para reestabelecer as vazões de pré-desenvolvimento.....	118
5.3.2 Custo de Implantação de rede por relevo.....	126
5.3.3 SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	133
5.3.3.1 Recarga Efetiva de Aquíferos.....	136
5.3.3.2 Qualidade da Água Superficial.....	138
5.3.3.3 Movimento de Terra para Instalação das Redes de Drenagem Urbana	139
5.3.3.4 Serviço Ecossistêmico de Prevenção de Alagamentos – LIDs	142
5.4 ANÁLISE DOS PADRÕES COM DESEMPENHOS EXTREMOS.....	144
5.5 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DOS RELEVOS CONVERGENTE, DIVERGENTE E PLANAR.....	150
5.6 DISCUSSÕES GERAIS E LIMITAÇÕES DA PESQUISA	157
6. CONCLUSÕES	165
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	170
ANEXO 01 - LISTA DE ABREVIATURAS DOS TIPOS DE PADRÕES DE OCUPAÇÃO URBANOS DO DISTRITO FEDERAL – CASTRO (2017).....	184
APÊNDICE A – PROJETOS DOS LOTEAMENTOS DAS USTs ESTUDADAS E REDES DE DRENAGEM.....	188

LISTA DE TABELAS

Tabela 3. 1: Parâmetros de Taxa de Ocupação e Permeabilidade por Região Administrativa e Área de Lote (GDF, 2019)	28
Tabela 3. 2: Parâmetros de projeto de galerias de águas pluviais. (Fonte: Cobrape, 2018; SUDECAP, 2017; ADASA, 2018; São Paulo, 2012; IPH, 2005; Rio-Águas, 2010; ETEP & Engecorps, 2008)	42
Tabela 3. 3: Parâmetros de projeto de galerias de águas pluviais. (Fonte: Fendrich et al. 1997)	43
Tabela 3.4: Revisão Bibliográfica sobre a influência da declividade no processo de infiltração (Fonte: Morbidelli et al. (2018), Wang et. al. (2018), Gonçalves et. al. (2009))	47
Tabela 3.5: Escala espacial e Temporal dos Modelos. (Salvadore et al., 2015, Adaptado).....	51
Tabela 3.6: Estudos realizados com o Modelo SWMM, analisando aspectos de quantidade e/ou qualidade das águas de drenagem urbana.	58
Tabela 3.7: Métricas dos Serviços Ecosistêmicos, Fonte: Castro, 2017.	70
Tabela 4.1: Tipos de Solos do Distrito Federal, (Reatto et al., 2004; EMBRAPA,1978).....	83
Tabela 4.2: Tipos de solo, e enquadramento de acordo com os grupos hidrológicos de solo propostos pelo SCS. (Sartori et al., 2005).....	83
Tabela 4.3: Valores médios dos parâmetros de Condutividade Hidráulica saturada e não e saturada, por tipo de solo do DF. (Lima et al. (2013) & Fiori et al. (2010)).	84
Tabela 4.4: CN para as diversas coberturas e tipos de solo. (USDA, 1986).....	102
Tabela 4.5: Parâmetros de dimensionamento das medidas compensatórias.	104
Tabela 4.6: Serviços ecosistêmicos analisados e métricas para quantificação.....	106
Tabela 4.7: Arranjos modelados para as quadras, escala micro.	109
Tabela 4.8: Arranjos modelados para os Loteamentos experimentais, escala macro.	110
Tabela 5.1: Resultados da simulação de deterioração da estrutura do solo no processo de urbanização	114
Tabela 5.2: Resultados da simulação de Valas de Infiltração para a UST RM	114
Tabela 5.3: Resultados da simulação de técnicas compensatórias para a UST RB1.	115
Tabela 5.4: Resultados dos parâmetros para construção do Índice de Prestação de Serviços Ecosistêmicos Urbanos relacionados a Água (IPSEU).	115
Tabela 5.5: Cenário de LIDs - Volume remanescente a ser amortecido por técnicas de retenção para atingir as condições de pré-desenvolvimento, Relevo Convexo Convergente.....	121
Tabela 5.6: Cenário de LIDs - Volume remanescente a ser amortecido por técnicas de retenção para atingir as condições de pré-desenvolvimento, Relevo Planar.	124
Tabela 5.7: Extensão de Rede em função do Padrão de Ocupação.	128
Tabela 5.8: Recarga Efetiva em função do Padrão de Ocupação, geomorfologia Convexo Convergente.	136
Tabela 5.9: Recarga Efetiva em função do Padrão de Ocupação, geomorfologia planar.	137
Tabela 5.10: Melhoria na qualidade da água pelo uso de medidas compensatórias em função do Padrão de Ocupação e Geomorfologia.	139
Tabela 5.11: Ganho em período de retorno na prevenção de alagamentos.....	143
Tabela 5.12: Escoamento Superficial em função do Padrão e Geomorfologia.....	148
Tabela 5.13: Infiltração em função do Padrão e Geomorfologia.....	148
Tabela 5.14: Volume de Bacias de Detenção necessárias para amortecimento da vazão de pico no solo C, e comparações com os volumes para os solos A e B.....	149
Tabela 5.15: Lâminas de Infiltração e Escoamento Superficial para os Cenários da UST RH5 e Comparações.	155
Tabela 5.16: Volume de Bacias de Detenção necessárias para amortecimento do volume excedente nos cenários simulados para a UST RH5.	156
Tabela 5.17: Tabela Síntese de Resultados.....	163

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Comparação entre os hidrogramas de pré-desenvolvimento e pós urbanização. (Collett et al., 2013, Adaptado).....	25
Figura 3.2: Mapa com as principais variáveis que compõe a problemática ambiental. (PDOT, GDF, 2009). 30	
Figura 3.3: Mapa de Risco Ecológico de Perda de Área de Recarga de Aquífero. (ZEE DF, 2017).....	31
Figura 3.4: Nível de Observação da metodologia UST. (Moon et al., 2009, Adaptado).....	34
Figura 3.5: Chave de Classificação UST. (Castro, 2017).....	35
Figura 3.6: Urban Structure Types para o Distrito Federal. (Castro, 2017).	36
Figura 3.7: Uso de LID's em residências. (Maryland, 1999, Adaptado).....	38
Figura 3.8: Ciclo WSUD. (WCC, 2013, Adaptado).....	39
Figura 3.9: Formato dos Padrões Topográficos. Côncavos (1, 2 e 3), Planos (4, 5 e 6), Convexos (7, 8 e 9), Convergentes (1, 4 e 7), Divergentes (3, 6 e 9) e Retangulares (2, 5 e 8) (Agnese et al., 2007).	45
Figura 3.10: Malhas (a) Micro escala; (b) Meso escala; (c) Macro escala. (Bruwier et al., 2017).....	51
Figura 3.11: Parametrização do SWMM. (Rossman, 2017).....	53
Figura 3.12: LIDs Modeladas no PCSWMM, sendo (a) Células de Biorretenção, (b) Jardins de Chuva, (c) Telhado Verde, (d) Trincheiras Filtrantes, (e) Pavimento Permeável, (f) Pavers, (g) Cisternas, (h) Desconexão no telhado e (i) Sarjeta Verde. (Rossman & Huber, 2016, Adaptado).	54
Figura 3.13: Células de Biorretenção. (Rossman & Huber, 2016, Adaptado).....	55
Figura 3.14: Trincheiras de Infiltração. (Silveira & Goldenfum, 2007, Adaptado).....	56
Figura 3.15: Pavimento Permeável. (Pinto, 2011, Adaptado por ADASA 2018).	56
Figura 3.16: Sarjeta Verde. (Silveira & Goldenfum, 2007, Adaptado).	57
Figura 3.17: Risco de poluição difusa pelos métodos Setores Censitários e USTs. (Höfer, 2013, Adaptado).	62
Figura 3.18: Consumo de água por UST. (Sotero, 2014).	62
Figura 3.19: ISAAU DF. (Castro, 2017).	64
Figura 3.20: ISHUrb e Unidades Hidrográficas do Distrito Federal. (Castro, 2017).	65
Figura 3.21: Potenciais de Recarga nas áreas urbanizadas da Unidade Hidrográfica do Paranoá, no Distrito Federal. (Seraphim, 2018).	66
Figura 3.22: Morfologias Urbanas de Estudo em planta, Rede de drenagem para a morfologia quadrada e Unidade de Drenagem (Jia et. al, 2019).	67
Figura 3.23: Resultados obtidos para os critérios de análise da rede de drenagem urbana (Jia <i>et al.</i> , 2019)...	68
Figura 3.24: Indicadores do potencial de prestação de serviços ecossistêmicos urbanos. A) Disponibilidade hídrica subterrânea; B) Qualidade da água subterrânea; C) Qualidade da água superficial; D) Potencial de recarga para o aquífero; E) Taxa de escoamento superficial; F) Potencial de erosão; G) Potencial risco ao alagamento e; H) Área Verde, (Castro, 2017).	72
Figura 3.25: Gráfico com os valores médios do IPSEU por UST para o DF, (Castro, 2017).	73
Figura 3.26: Distribuição espacial do Índice do Potencial de Prestação de Serviços Ecossistêmicos Urbanos do DF, (Castro, 2017).....	73
Figura 4.1: Fluxograma da Base de Dados.....	76
Figura 4.2: Fluxograma Metodológico.	78
Figura 4.3: Árvore de Casos para a UST RM.....	79
Figura 4.4: Árvore de Casos para a UST RH5.	79
Figura 4.5: Árvore de Casos para a UST RB2.....	80
Figura 4.6: Árvore de Casos para a UST RB1.....	80
Figura 4.7: Localização do DF e áreas de estudo.	82
Figura 4.8: Localização do DF e áreas de estudo.	82
Figura 4.9: Mapa Bacias Hidrográficas do Distrito Federal. (GDF, 2012).....	86
Figura 4.10: Vertentes do DF, (A) Transição Chapadas Elevadas/Escarpas/Planos intermediários na porção norte do semidomo de Brasília mostrando vertentes com elevada declividade e maior índice de aprofundamento da drenagem; (B) Transição Chapadas Elevadas/Rebordos/Planos Intermediários na porção leste do semidomo de Brasília, mostrando vertentes com declividades intermediárias; (C) Transição Chapadas Elevadas/Rebordos/Planos Intermediários na porção interna do semidomo de Brasília, mostrando vertentes com declividades baixas; (D) Planos Intermediários na bacia do São Bartolomeu e e do Descoberto mostrando a presença de chapadas baixas e relevo movimentado; (E) Planos Intermediários e Planícies na Bacia do Maranhão mostrando relevo movimentado e plano, (Martins, 2000).	88
Figura 4.11: Localização das Regiões Administrativas Estudadas, Estação do INMET e Relevo do DF.	89
Figura 4.12: Relevo de Estudo 01.	90

Figura 4.13: Relevo de Estudo 02.	90
Figura 4.14: UST Residencial Misto, Classificação do CN para o solo A.	91
Figura 4.15: UST Residencial de Apartamentos Baixos, Classificação do CN para o solo A.	92
Figura 4.16: UST Residencial de Baixo Padrão, Classificação do CN para o solo A.	92
Figura 4.17: UST Residencial de Alto Padrão, Classificação do CN para o solo A.	93
Figura 4.18: Loteamento UST RM – Duas Rotações em Relação as Curvas de Nível, Relevo Planar (A) Paralelo as Curvas, (B) Perpendicular as Curvas, Relevo Convexo Convergente (C) Paralelo as Curvas, (D) Perpendicular as Curvas.	94
Figura 4.19: Loteamento UST RH5, (A) Relevo Convexo Convergente, (B) Relevo Planar	96
Figura 4.20: Loteamento UST RB2, (A) Relevo Convexo Convergente, (B) Relevo Planar	97
Figura 4.21: Loteamento UST RB1, (A) Relevo Convexo Convergente, (B) Relevo Planar	98
Figura 4.22: Chuva de Projeto TR 10 Anos.	100
Figura 4.23: Chuva de Projeto Simulação Contínua.	101
Figura 4.24: Evapotranspiração utilizada na Simulação Contínua.	104
Figura 4.25: Desenho esquemático das Técnicas Compensatórias, (A) Trincheira de Infiltração e (B) Valas de Infiltração, (C) Trincheira associada com Vala de Infiltração.	105
Figura 5.1: Bacias modeladas para o cenário de pré-desenvolvimento e locação em relação as curvas de nível, (A) Relevo Convexo Convergente e (B) Relevo Planar	117
Figura 5.2: Gráfico de vazões unitárias por padrão de ocupação residencial, relevo convexo convergente.	119
Figura 5.3: Gráfico de vazões unitárias por padrão de ocupação residencial, relevo planar.	122
Figura 5.4: Gráfico da eficiência das medidas compensatórias em volume por padrão de ocupação residencial.	125
Figura 5.5: Gráfico do custo de implantação da rede de drenagem em função da geomorfologia e padrão de ocupação.	126
Figura 5.6: Gráfico do custo da tubulação de drenagem, Materiais: Concreto Armado até 1,50 m e PEAD e Tunnel Liner para diâmetros acima de 1,80 m. (Fonte: SINAPI Desonerada, SICRO)	127
Figura 5.7: Perfil da Rede para o Cenário da Morfologia Urbana RM paralela as curvas de nível, Topografia Convexo Convergente, Solo A, Trecho Crítico de C150 a C188, próximo ao exutório em destaque (Traçado completo da rede no Apêndice A)	129
Figura 5.8: Perfil da Rede para o Cenário da Morfologia Urbana RM paralela as curvas de nível, Topografia Convexo Convergente, Solo B, Trecho Crítico de C133 a C188, próximo ao exutório em destaque (Traçado completo da rede no Apêndice A)	129
Figura 5.9: Perfil da Rede para o Cenário da Morfologia Urbana RM perpendicular as curvas de nível, Topografia Convexo Convergente, Solo A, Trecho Crítico de C319 a C339, próximo ao exutório em destaque (Traçado completo da rede no Apêndice A)	130
Figura 5.10: Perfil da Rede para o Cenário da Morfologia Urbana RM perpendicular as curvas de nível, Topografia Convexo Convergente, Solo B, Trecho Crítico de C299 a C339, próximo ao exutório em destaque (Traçado completo da rede no Apêndice A)	130
Figura 5.11: Perfil da Rede para o Cenário da Morfologia Urbana RM paralelo as curvas de nível, Topografia Planar, Solo A, Trecho Crítico de C110 a C147, próximo ao exutório em destaque (Traçado completo da rede no Apêndice A)	131
Figura 5.12: Perfil da Rede para o Cenário da Morfologia Urbana RM perpendicular as curvas de nível, Topografia Planar, Solo B, Trecho Crítico de C147 a C186, próximo ao exutório em destaque (Traçado completo da rede no Apêndice A)	131
Figura 5.13: Perfil da Rede para o Cenário da Morfologia Urbana RH5, Topografia Planar, Solo A, Trecho Crítico de C82 a C194, próximo ao exutório em destaque (Traçado completo da rede no Apêndice A)	132
Figura 5.14: Perfil da Rede para o Cenário da Morfologia Urbana RH5, Topografia Planar, Solo B, Trecho Crítico de C82 a C194, próximo ao exutório em destaque (Traçado completo da rede no Apêndice A)	132
Figura 5.15: Gráfico do Balanço Hídrico em função da Geomorfologia e do Padrão de Ocupação, Relevo Planar.	134
Figura 5.16: Gráfico do Balanço Hídrico em função da Geomorfologia e do Padrão de Ocupação, Relevo Convexo Convergente	135
Figura 5.17: Volume de escavação por UST e Geomorfologia, cenário de Redes Convencional.	140
Figura 5.18: Volume de escavação por UST e Geomorfologia, cenário de LIDs e Bacias de Detenção.	141
Figura 5.19: Provisão do Serviço Ecológico de Prevenção a Alagamentos prestado pelas LIDs.	142
Figura 5.20: Vazões de Pico Unitárias para os solos A, B e C, Morfologias Urbanas RH5 e RB2.	145
Figura 5.21: Custo Unitário por metro para os Padrões RH5 e RB2, Comparações solo A, B e C.	146
Figura 5.22: Balanço Hídrico para o Relevo Convexo Convergente, Comparação entre os solos A, B e C.	147
Figura 5.23: Balanço Hídrico para o Relevo Planar, Comparação entre os solos A, B e C.	147

Figura 5.24: Eficiência das LIDs, Comparação entre os solos A, B e C.	150
Figura 5.25: Superfície Divergente e Convergente.	151
Figura 5.26: Traçado da Rede e Topografia para o Cenário Convergente.	151
Figura 5.27: Traçado da Rede e Topografia para o Cenário Divergente.	152
Figura 5.28: Vazões de Pico Unitárias para os cenários da UST RH5.	152
Figura 5.29: Vazões de Pico para cada Relevo.....	153
Figura 5.30: Custo da Rede para os cenários da UST RH5.	154
Figura 5.31: Balanço Hídrico para os cenários da UST RH5.	154
Figura 5.32: Eficiência das LIDs para os cenários da UST RH5.....	156

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS E UNIDADES

ADASA – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal

ANA – Agência Nacional de Águas

BMP – *Best Management Practices*

BMBF - *Bundesministerium für Bildung und Forschung (German Federal Ministry of Education and Research)*

CAD – *Computer Aided Design*

CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

CFD – *Computation Fluid Dynamics*

CN – *Curve Number*

C.O. – Centro Olímpico

CODEPLAN – Companhia de Planejamento do Distrito Federal

CORSAP – Consórcio Público de Manejo de Resíduos Sólidos e das Águas Pluviais da Região Integrada do Distrito Federal e Goiás

D – Diâmetro da Tubulação em mm ou m

DER – Departamento de Estradas de Rodagem

DETRAN DF – Departamento de Trânsito do Distrito Federal

DF - Distrito Federal

DU – *Drainage Unit*

E_{LIDs} - Ganho em eficiência das LIDs em amortecimento de alagamentos (%)

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

E_{vapo} - Parcela Evapotranspirada em mm/ano

FAL – UnB – Fazenda Água Limpa, Universidade de Brasília

FAU – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

GDF – Governo do Distrito Federal

GI – *Green Infrastructure*

GIS – *Geographic Informations Systems*

H - Diferença de Cotas em metros

HEC-RAS - Hydrologic Engineering Center's

HRU – Hydrologic Response Unit

Ia - Abstração Inicial (l)

IDF – Intensidade, Duração e Frequência

IG – Instituto de Geociências

I_{inf} : Parcela Infiltrada em mm/ano

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPSEU - Índice de Potencial de Prestação de Serviços Ecológicos Urbanos

IPSEAU - Índice de Potencial de Prestação de Serviços Ecológicos Relacionados a Água Urbanos

IQA – Índice de Qualidade das Águas

ISAAU - Índice de Situação do Abastecimento de Águas Urbanas

ISHUrb - Índice de Segurança Hídrica Urbana

IUWM - *Integrated Urban Water Management*

LID – *Low Impact Development*

LODF – Lei Orgânica do Distrito Federal

L_{TR} - Lâmina de precipitação simulada associada a um tempo de retorno 'X' em mm

LUOS – Lei de Uso e Ocupação do Solo

MMA – Ministério do Meio Ambiente

n – Rugosidade de Manning

NOVACAP – Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil

P - Precipitação total em mm

PCSWMM – *Personal Computer Storm Water Management Model*

PDDU – Plano Diretor de Drenagem Urbana

PDOT – Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal

PEAD - Polietileno de Alta Densidade

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

PV's – Poços de Visita

H_q - Precipitação efetiva em mm

RA's – Regiões Administrativas

R_{ef} - Recarga de aquífero efetiva em ($l\ t^{-1}$)

RE 1 - Habitação residencial unifamiliar

RE 2 - Habitação residencial uni ou multifamiliar tipologia de casas

RE 3 - Habitação multifamiliar na tipologia de apartamentos

R_{LID} - Lâmina de Escoamento superficial gerado no cenário de LIDs (l)

RO 1 - Uso residencial familiar sendo facultada a utilização simultânea para atividade econômica, não permitindo acesso independente

RO 2 - localiza-se ao longo de vias de conexão entre conjuntos e quadras, onde é obrigatório o uso residencial, na categoria habitação unifamiliar, sendo facultado, simultaneamente, o uso não residencial exclusivamente no pavimento diretamente aberto para logradouro público e independente da habitação

R_{rede} - Lâmina de Escoamento superficial gerado no cenário de redes convencionais em mm

S - Potencial máximo de retenção, após o escoamento superficial iniciar em mm

SCMs - *Stormwater Control Measures*

SCS – *Soil Conservation Service*

SE – Serviços Ecossistêmicos

SEDUH – Secretaria de Desenvolvimento Humano e Habitação

SEGETH – Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação

SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente

SGAN – Setor de Grandes Áreas Norte

SHCGN - Setor de Habitações Coletivas e Geminadas Norte

SIA – Setor de Indústria e Abastecimento

SICRO - Sistema de Custos Referenciais de Obras

SIG – Setor de Indústrias Gráficas

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SINESP – Secretaria de Estado de Infraestrutura e Serviços Públicos

SISDUC – Sistema de Documentação Urbanística e Cartográfica

SQS – Superquadra Sul

SUD - *Sustainable Urban Drainage Systems*

SWAT - *Soil and Water Assessment Tool*

SWMM – *Storm Water Management Model*

Tc - Tempo de concentração (t)

TCPO - Tabela de Composições de Preços para Orçamentos

TR - Tempo de Retorno (t)

UnB – Universidade de Brasília

UniCEUB – Centro Universitário de Brasília

USEPA – *United States Environmental Protection Agency*

USGS - *United States Geological Survey*

USLE – *Universal Soil Loss Equation*

USTs – *Urban Structure Types*

WSUD – *Water Sensitive Urban Design*

Y/D – Relação entre a Lâmina Escoda e o Diâmetro da Tubulação

ZEE – Zoneamento Econômico Ecológico

RESUMO

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS E PADRÕES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO NO DISTRITO FEDERAL NO MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS.

O estudo da morfologia urbana é uma ferramenta a ser utilizada como planejamento de novos espaços e melhoria de espaços existentes, a fim de aproveitar as características ambientais e realizar a urbanização de maneira sustentável, visando a restauração e provisão de serviços ecossistêmicos. Uma das metodologias de mapeamento dos padrões de ocupação urbana são as *Urban Structure Types* (USTs) que é uma forma de classificar áreas com características de arranjo entre espaços e técnicas construtivas semelhantes. Com base na pesquisa de Castro (2017), em que foram mapeadas 25 USTs para todo o DF, foram selecionadas quatro USTs residenciais como estudo de caso. Com as USTs selecionadas, foram construídos cenários, variando o tipo de solo, e topografia, e projetando redes de drenagem convencionais e utilizando medidas compensatórias. A modelagem foi realizada com o modelo SWMM (*Storm Water Managment Model*) sob a plataforma PCSWMM®. Para cada cenário foram feitas análises de provisão de serviços ecossistêmicos com base em simulações utilizando uma série temporal contínua de precipitação, para avaliar o comportamento ao longo de um ano hidrológico médio. Analisou-se a influência da topografia na geração de escoamento superficial, capacidade de infiltração, eficiência de medidas compensatórias, impacto de diferentes posições das quadras em relação as curvas de nível na vazão de pico gerada e os custos diretos do sistema de drenagem. Verificou-se que a topografia possui um moderado efeito sobre a vazão de pico gerada, e uma grande influência na eficiência das medidas compensatórias e custos diretos das redes de drenagem. Foi possível verificar a importância das medidas compensatórias na provisão de serviços ecossistêmicos urbanos de infiltração, recarga das águas subterrâneas e qualidade da água superficial.

Estudos futuros podem ser desenvolvidos utilizando outras USTs no sentido de identificar as mais promissoras em termos de provisão de serviços ecossistêmicos sem comprometer o aproveitamento da ocupação dos lotes e custos finais das soluções. Ressalta-se também a necessidade da análise da implantação de medidas compensatórias no nível de lote para as USTs unifamiliares de maior tamanho para diminuir o volume de escoamento superficial que atinge as redes de drenagem.

Palavras Chave: Urban Structure Types (UST), Drenagem Urbana, *Low Impact Development* (LID), Serviços Ecossistêmicos, Topografia.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE IMPACT OF RESIDENTIAL URBAN PATTERNS AND GEOMORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS AT STORMWATER MANAGEMENT SYSTEMS IN THE FEDERAL DISTRICT, BRAZIL.

Urban morphology study is a powerful tool to be used by urban planners in new or existing urban spaces, taking into account the environmental characteristics, to support sustainable urban development and provisioning of the ecosystem services. One of the most known methodology of urban pattern mapping is the Urban Structure Types method, that are areas with homogenous building arrangement and construction characteristics. Based on Castro's (2017) research, where 25 USTs were identified for all the Federal District territory, we selected only the residential USTs type to perform case studies. With the selected USTs, scenarios were made, changing soil type, topography, and different urban drainage network designs, using grey infrastructure and LIDs controls. The analysis of the provision of ecosystem services proceeded with continuously based simulations, to evaluate the basin's behavior along a medium hydrological year.

The modelling was performed in the Storm Water Management Model (SWMM) at the PCSWMM ® platform. For each scenario, it was assessed the provision of ecosystem services based on simulations using a continuous rainfall time series, to evaluate the behaviour of the ecosystem services provision over a hydrological year. It was evaluated the influence of topography on the generation of runoff, infiltration capacity, LID's efficiency, impact of different positions of the blocks in relation to the contour on the peak flow generated and the costs of the drainage system. It was observed that the topography has a moderate effect on the peak flow generated, and a great influence on the efficiency of the LID's and costs of the drainage networks. Further, it was verified the importance of the LID's in the provision of urban ecosystem services of infiltration, groundwater recharge and superficial water quality.

Future studies can be developed using other USTs in order to identify the most promising ones in terms of the provision of ecosystem services without compromising the use of the occupation of the lots and the final costs of the solutions. We also emphasize the need to analyse the implementation of compensatory measures at the lot level for single-family USTs to decrease the volume of runoff that reaches the drainage networks.

Palavras Chave: Urban Structure Types (UST), Stormwater Management, Low Impact Development, Ecosystem Services, Topography.

1. INTRODUÇÃO

Entre os anos 1950 e 2000, a população das cidades cresceu quatro vezes mais que o esperado pelo estudo realizado pelas Nações Unidas (UN, 2018). Na década de 50, o Brasil já contava com um avançado nível de urbanização, contando com mais de 40% da população residindo em cidades. O fluxo migratório direcionou-se, principalmente, para cidades de médio e grande porte. Atualmente, mais de 80% da população brasileira reside em áreas urbanas (Baeninger, 2010, Rigotti et. al, 2017).

O crescimento urbano no país caracterizou-se, principalmente, pela expansão de regiões de periferia e ocupação de várzeas, de maneira irregular, sem atendimento às leis de parcelamento e uso e ocupação do solo, dificultando assim, o ordenamento das ações dos gestores territoriais e ambientais (Tucci, 2002; Forgiarini et al., 2007; Baeninger, 2010).

Para um melhor entendimento da dinâmica dos espaços urbanos, há a necessidade de um mapeamento de uso do solo mais específico que o convencional. Os mapas de uso e ocupação do solo convencionais delimitam o território de maneira generalizada, classificando-o em rural ou urbano (residencial, industrial, áreas públicas), ou caracterizando-o de acordo com a cobertura vegetal (Castro, 2017; Moon et al., 2009; Hofmeister, 2004).

O planejamento urbano necessita de informações detalhadas acerca da funcionalidade, morfologia, características socioeconômicas e ambientais da superfície construída (Hecht et al., 2013). Uma forma de mapeamento a partir da morfologia urbana, buscando analisar a disposição dos elementos que compõem a cidade é denominada Urban Structure Type (UST). As USTs podem ser definidas como áreas fisionomicamente homogêneas, com arranjos característicos entre edificações e espaços abertos, avaliando a densidade, estrutura e material construtivo dos imóveis, quantidade de áreas verdes e grau de impermeabilização do solo (Wickop, 1998).

As USTs podem funcionar como indicadores pois refletem as características do ambiente construído em menor escala, em nível de vizinhança, podendo ser extrapolados para estudos a nível local, regional e nacional (Banzhaf & Höfer, 2008).

Brasília é caracterizada por um projeto urbanístico modernista de referência mundial (Oliveira, 2008). O Plano Piloto, originalmente projetado para 500.000 habitantes, foi esgotando sua capacidade de construção de novas residências em meados dos anos 90 (Anjos, 2012). A concepção inicial de projeto não levou em conta a tendência de Brasília em se tornar um grande centro metropolitano. Era observável desde a época da instalação da nova capital que os espaços do Plano Piloto seriam limitados e que, parte dos trabalhadores de classes menos favorecidas, desde a instalação de Brasília, ocupariam regiões periféricas com a criação das primeiras cidades satélites (Paviani, 2011).

Tavares (2004) fez um estudo sobre o projeto urbanístico proposto para a nova capital e destacou que a unidade de planejamento comum são as estruturas urbanas que denotam as partes elementares e fundamentais de todo o projeto. As estruturas urbanas da nova capital articularam-se entre si formando a organização espacial de Brasília. Essas estruturas urbanas que compõem o Plano Piloto foram sendo replicadas nas demais regiões administrativas, onde também foram formando-se novas estruturas de acordo com as características econômicas locais. O caráter setorizado e estruturado de Brasília propicia os estudos a partir de elementos de morfologia urbana.

A necessidade da ampliação e densificação dos espaços urbanos demanda a construção e ampliação da infraestrutura, em especial dos sistemas de manejo de águas pluviais. O sistema de drenagem deve ser projetado de maneira a controlar o escoamento e a poluição difusa em sua fonte, utilizando dispositivos de infiltração, detenção e retenção, diminuindo os impactos ambientais ocasionados pela urbanização a jusante e propiciando a recarga das águas subterrâneas.

A sustentabilidade de espaços urbanos também é dependente da prestação dos serviços ecossistêmicos. Neste trabalho são propostas algumas abordagens para quantificação de serviços ecossistêmicos a partir de modelagem.

Para implantação de novos empreendimentos e expansão de áreas urbanas deve-se buscar, dentro da legislação de ordenamento territorial, quais são os padrões de ocupação do solo que minimizem os impactos ambientais causados pela urbanização, de maneira a aproveitar as características do meio, como tipo de solo, declividade, geomorfologia, e identificar as práticas mais eficientes de manejo de águas pluviais, com o objetivo de preservar os recursos

hídricos superficiais e subterrâneos. Como exemplo desta problemática, o estudo de caso realizado por Conserva et al. (2019) no novo projeto urbanístico do Taquari, teve como objetivo o estudo, de padrões de ocupação sensíveis à água, que preservassem as características ambientais locais da região, visto que trata-se de uma região com um grande número de nascentes, vulneráveis ambientalmente.

Os estudos com Urban Structure Types (USTs) têm se mostrado eficientes, pois identificam o uso do solo de maneira mais específica em nível de vizinhança, e pelo fato de áreas urbanas em seu desenvolvimento seguirem um mesmo padrão construtivo, dependendo das características socioeconômicas e ambientais dos locais.

A proposta deste trabalho foi a aplicação de USTs comuns no Distrito Federal, variando as características locais como tipo de solo, geomorfologia, topografia, e declividade, para verificar qual o efeito dos padrões de urbanização sobre o manejo de águas pluviais, tanto para abordagem convencional quanto utilizando as técnicas compensatórias. Foram elaborados cenários para avaliar medidas para reduzir o escoamento superficial e maximizar a infiltração, além da quantificação de serviços ecossistêmicos e levantamento dos custos de implantação das redes de drenagem urbana em cada geomorfologia.

As análises abordaram duas escalas: uma em escala micro, analisando o impacto da morfologia urbana no local onde está instalada e condições ambientais locais; e uma macro, com o projeto de loteamentos de 100 hectares replicando as estruturas urbanas e adicionando vias de ligação entre elas. Nos loteamentos experimentais, variou-se o tipo de solo, geomorfologia e posição das quadras em relação às curvas de nível para avaliar os diferentes impactos de cada métrica.

A monografia está organizada em seis capítulos: (i) Introdução; (ii) Objetivos gerais e específicos do estudo; (iii) Referencial Bibliográfico; (iv) Metodologia aplicada para obtenção dos resultados e objetivos esperados; (v) Resultados Obtidos; (vi) Conclusões.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência das características topográficas do terreno sobre os sistemas de manejo de águas pluviais para diferentes padrões de ocupação do solo urbano usuais no Distrito Federal, incluindo a possibilidade de utilização de medidas compensatórias para redução dos impactos provocados pelo escoamento superficial.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Esta pesquisa tem como objetivos específicos:

- Avaliar o efeito da topografia sobre a infiltração e geração de escoamento superficial.
- Analisar o efeito da posição da quadra em relação as Curvas de Nível na geração de escoamento superficial.
- Verificar, para os diferentes casos de geomorfologia e padrões de ocupação a possibilidade da implantação de Valas, Trincheiras de Infiltração e Bacias de Detenção com o objetivo de atingir as vazões de pré-desenvolvimento e amortecimento de cheias.
- Quantificar o custo de implantação da rede de drenagem urbana para os padrões e geomorfologias estudados.
- Propor medidas de quantificação e avaliação de serviços ecossistêmicos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção serão apresentados os conceitos e bibliografias utilizadas para o desenvolvimento do trabalho. No primeiro tópico serão abordados os efeitos da urbanização sobre as bacias hidrográficas e manejo de águas pluviais.

O item 3.2 apresenta a legislação territorial do Distrito Federal, com enfoque sobre o uso e ocupação do solo urbano, as métricas exigidas para as novas edificações e empreendimentos, o zoneamento ecológico explorando a vulnerabilidade ambiental e a necessidade de implantação de medidas de recarga artificial de aquíferos.

No tópico 3.3 é abordado a evolução dos sistemas de manejo de águas pluviais, e suas fases ao longo da história. O dimensionamento dos sistemas, com a apresentação dos parâmetros utilizados no País e a sua otimização é apresentada na seção 3.4. A maneira como a topografia e as formas do relevo influencia na infiltração e geração do escoamento superficial é discutida no tópico 3.5.

A evolução e aplicação dos modelos hidráulicos e hidrológicos na análise e dimensionamento dos sistemas de drenagem é apresentada no tópico 3.6. Neste tópico também é abordado o Modelo SWMM, suas aplicações e estudos desenvolvidos.

Na seção 3.7 são apresentadas pesquisas desenvolvidas utilizando a morfologia urbana como elemento de planejamento para quantificação do consumo de água, serviços ecossistêmicos, poluição sonora, alagamentos e avaliação de sistemas de drenagem. Por fim, no tópico 3.8, são discutidos os tipos de serviços ecossistêmicos e as métricas de avaliação utilizadas na literatura.

3.1 URBANIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é regido por suas características como o uso e ocupação do solo, geomorfologia, fatores morfométricos, declividade, densidade de drenagem, entre outros (Collischonn & Dornelles, 2015).

Em uma bacia hidrográfica natural, com maior presença de cobertura vegetal e capacidade de infiltração, as vazões de escoamento superficial são menores, e por sua vez a qualidade da água é melhor, pois o solo realiza o processo de filtração natural da água. Além disso, a vegetação favorece a recarga dos aquíferos através da infiltração das águas pluviais, garantindo o escoamento de base dos corpos d'água.

O padrão do desenvolvimento urbano altera o processo do ciclo hidrológico natural da bacia, iniciando pela retirada da vegetação nativa, compactação e impermeabilização dos solos, aumentando quantitativamente o escoamento superficial. A ausência de infiltração e a retirada da vegetação podem impactar o escoamento de base e diminuir a interceptação das águas na fonte, perturbando o equilíbrio do balanço hídrico da bacia (Collett *et al.*, 2013; Fletcher *et al.*, 2013; Tucci & Clarke, 1997).

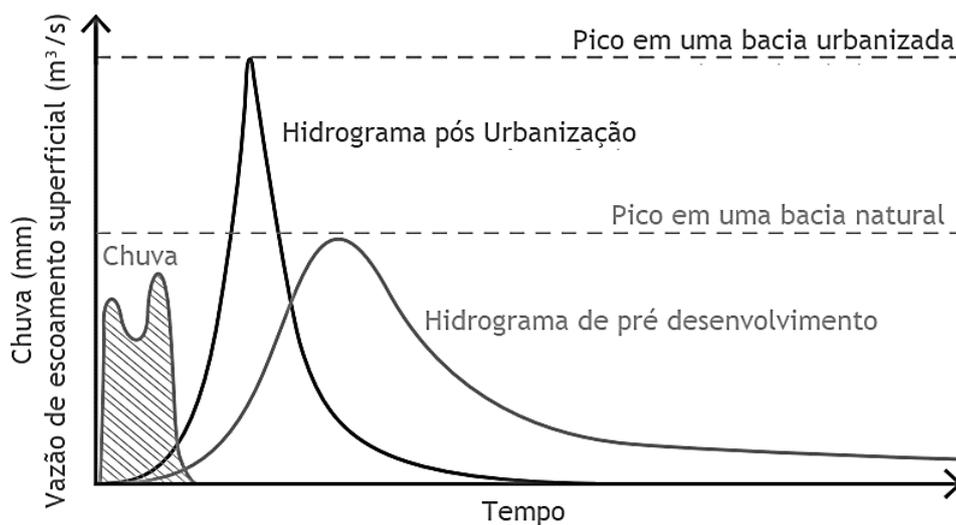


Figura 3.1: Comparação entre os hidrogramas de pré-desenvolvimento e pós urbanização.

(Collett *et al.*, 2013, Adaptado).

Devido a essas alterações, o espaço urbano torna-se suscetível a inundações. Projetos de drenagem adequados às características da bacia são essenciais para que as cidades não sofram com o agravamento das cheias. A evolução desses projetos é sentida ao longo do tempo, de acordo com a necessidade imediata e disponibilidade tecnológica de ferramentas e mão-de-obra (Miguez *et al.*, 2015).

O projeto de drenagem urbana convencional visa ao afastamento das águas pluviais por meio da construção de canalizações, transportando os impactos causados pela urbanização da

bacia para jusante. Essa visão, chamada de Higienista existe até hoje, na qual não há conhecimento por parte dos projetistas das técnicas de drenagem e desenvolvimento sustentáveis, ou simplesmente por não haver um planejamento urbano adequado, principalmente em áreas de risco ou ocupação ilegal, onde muitas destas obras são realizadas para remediação de impactos causados por cheias (Tucci, 2008).

O manejo de águas pluviais de maneira sustentável teve seu início com a preocupação da manutenção tanto em quantidade quanto em qualidade dos recursos hídricos. É composto por uma variedade de técnicas, dispositivos e instrumentos de gestão no manejo de águas pluviais. Dessa forma, busca-se a integração do desenvolvimento urbano, aliado à capacidade de suporte dos serviços ecossistêmicos da bacia e busca de integração do urbanismo com a infraestrutura de drenagem urbana.

3.2 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO

A estrutura espacial das cidades se desenvolveu de forma complexa e dinâmica. Dessa forma, o entendimento da morfologia do crescimento urbano e como é realizada a ocupação do solo é essencial para que se possa analisar os impactos ambientais e sociais causados. Apesar de haver diferenças no desenvolvimento econômico ou de políticas locais, as regiões dentro das cidades tendem a apresentar padrões comuns de desenvolvimento, tanto espacialmente quanto temporalmente (Kaufmann *et al.*, 2007; Fragkias & Seto, 2009; Jiao, 2015).

Os instrumentos legais vigentes que visam ao controle do uso e ocupação do solo urbano regulamentados pela Lei Federal 10.257/01 - Estatuto das cidades, são as Leis de Uso e Ocupação do Solo (LUOS), Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT), Zoneamento Econômico Ecológico (ZEE), Parcelamento do solo, Permeabilidade, Direito de Preempção, Outorga Onerosa do Direito de Construir e de Alteração de Uso do Solo, Operações Urbanas Consorciadas, entre outros (Brasil, 2001).

Serão fundamentados a seguir os aspectos principais da legislação de uso e ocupação do solo do Distrito Federal, para entendimento da dinâmica territorial e do crescimento urbano local.

3.2.1 LUOS – Lei de Uso e Ocupação do Solo

A Lei de Uso e Ocupação do solo é um instrumento legal complementar do ordenamento territorial e expansão urbana do Distrito Federal, que trabalha em conjunto com a Lei Orgânica – LODF e o Plano Diretor – PDOT, (GDF, 2017a).

A LUOS tem como princípios norteadores a garantia social da propriedade urbana, a justa distribuição dos ônus e bônus advindos dos processos de urbanização, desenvolvimento sustentável ambiental e sócio econômico, equidade quanto ao tratamento de todas as regiões administrativas e respeito as características urbanas e morfológicas de cada uma delas, regularização fundiária, análise da capacidade da infraestrutura, entre outros.

Esse instrumento regula o uso e ocupação do solo por meio de categorias de uso, sendo residencial, uso misto, comercial, institucional, industrial e de prestação de serviços. Desta forma, são regulamentados os parâmetros e gabaritos a serem obedecidos por tipo de uso e ocupação, de acordo com as características locais de cada região administrativa.

Para exemplificar, a Tabela 3.1 apresenta alguns dos valores de gabarito do uso e ocupação exclusivamente residenciais para oito regiões administrativas. Os usos de solo exclusivamente residenciais classificados pela LUOS são:

RE 1: Habitação residencial unifamiliar

RE 2: Habitação residencial uni ou multifamiliar tipologia de casas

RE 3: Habitação multifamiliar na tipologia de apartamentos

RO 1: Uso residencial familiar sendo facultada a utilização simultânea para atividade econômica, não permitindo acesso independente

RO 2: localiza-se ao longo de vias de conexão entre conjuntos e quadras, onde é obrigatório o uso residencial, na categoria habitação unifamiliar, sendo facultado, simultaneamente, o uso não residencial exclusivamente no pavimento diretamente aberto para logradouro público e independente da habitação

Tabela 3. 1: Parâmetros de Taxa de Ocupação e Permeabilidade por Região Administrativa e Área de Lote (GDF, 2019).

Região Administrativa	UOS	Área do Lote	Taxa de Ocup.	Taxa de Permeabilidade
Águas Claras	RE 3	500<a<1000	70	20
	RE 3	2000<a<9500	60	30
	RE 3	35000<a<40000	60	30
	RO 1	a<300	100	-
	RO 2	a<300	100	-
Brazlândia	RE 3	a<650	100	-
	RO 1	a<250	100	-
	RO 1 (Tradicional)	200<a<1000	80	10
	RO 2	a<250	100	-
	RO 2 (Tradicional)	a<1000	80	10
Ceilândia	RE 3 (Sol Nascente)	1500<a<2000	60	30
	RO 1	a<300	100	-
	RO 1	500<a<2200	80	10
	RO 1 (Sol Nascente)	a<500	70	20
	RO 1 (Sol Nascente)	500<a<3700	60	30
	RO 2	a<300	100	-
	RO 2 (Sol Nascente)	a<200	100	-
	RO 2 (Sol Nascente)	200<a<1000	70	20
Gama	RE 3 (St. Central A)	400<a<1000	100	-
	RE 3 (St. Central B)	400<a<1000	100	-
	RE 3	2000<a<3000	60	30
	RO 1	a<200	100	-
	RO 1	200<a<900	80	10
	RO 2	a<250	100	-
	RO 2	250<a<400	80	10
Guará	RE 3	a<1500	100	-
	RE 3	1500<a<5500	60	30
	RE 3	60000<a<65000	60	30
	RE 3 (V. Tec, QE38)	400<a<1500	100	-
	RO 1	a<500	100	-
	RO 2	a<500	100	-
Jardim Botânico	RE 3 – Mangueiral	60000<a<120000	35	34
	RO 1	300<a<1600	60	10
	RO 1	1600<a<3000	70	20
	RO 1 (LH1)	300<a<1500	70	20
	RO 1 (LH2)	400<a<2800	60	30
	RO 1 (LH3)	400<a<2000	50	40
Lago Norte	RE 1	500<a<2000	70	10
	RE 1 (SHTQ 1)	450<a<7000	40	50
	RE 1 (SHTQ 1)	8000<a<20000	15	75
	RE 1 (SHTQ 2)	600<a<3000	40	50
	RE 2	4000<a<14500	40	20
Lago Sul	RE 1	500<a<4000	70	10
	RE 1 (SHIS QL 12)	1300<a<2900	80	10
	RE 2	5000<a<16000	40	20
	RE 2 – SMDB	11000<a<25000	40	45

É importante ressaltar que a taxa de permeabilidade mínima visa a contribuir para a infiltração das águas pluviais nos lotes e auxiliar na eficiência dos sistemas de manejo de águas pluviais. No entanto, há uma contradição na legislação, onde em algumas categorias de uso, permite-se a ocupação de 100% do terreno, não prevendo taxa de permeabilidade, e ainda essa taxa de permeabilidade pode ser atendida parcialmente caso seja implantado no lote uma medida compensatória.

Outro ponto interessante nesse instrumento é a regularização fundiária de novos parcelamentos ou de já existentes, que deve ser precedido de mapeamento de uso de acordo com as categorias elencadas na legislação, além da elaboração do quadro de parâmetros de acordo com a faixa já prevista para a região administrativa ou com a criação de uma nova faixa, de acordo com as características observadas no mapeamento, para respeito da morfologia local.

A LUOS é um instrumento vital para organização do uso e ocupação do solo desenfreado, pois estabelece os limites e tipologias de empreendimentos a serem implantados, de forma a respeitar o espaço urbano e, caso haja descumprimento da legislação, estão previstas penalidades e compensação urbanística pelo infrator.

3.2.2 Plano Diretor de Ordenamento Territorial

O Plano Diretor de Ordenamento Territorial – PDOT é o instrumento básico da política territorial do Distrito Federal, busca fortalecer o desenvolvimento urbano e rural do território, e realizar o planejamento de intervenções sobre o território necessárias (GDF, 2009).

O PDOT possui princípios muito parecidos com os da LUOS, como por exemplo, a garantia da função social da propriedade urbana e rural e promoção da equidade para as regiões administrativas. O PDOT dispõe de objetivos gerais e específicos delineando o necessário para a garantia do ordenamento territorial e atuação das entidades públicas e privadas. Como objetivo geral, a redução da desigualdade socioespacial, diminuindo a disparidade de renda, de fornecimento de infraestrutura e investimentos entre as RA's, e a integração entre os instrumentos de ordenamento territorial e outras políticas setoriais.

Os objetivos específicos delineiam o ordenamento territorial tendo em vista a otimização da ocupação urbana em vazios urbanos de áreas já consolidadas e descentralização do Distrito Federal (sobrecarga da Região Administrativa de Brasília); quanto à política patrimonial, a preservação do Plano Piloto como centro urbanístico tombado e a proteção e preservação dos recursos ambientais do DF; o transporte urbano voltado à melhoria das condições dos serviços prestados e promoção da mobilidade e, por fim, no âmbito de habitação e regularização fundiária, diversificar a oferta de imóveis compatíveis aos demandados pela sociedade, integração dos assentamentos ilegais à cidade e promoção da participação popular na gestão do ordenamento territorial.

O instrumento também apresenta a dinâmica territorial do DF com o crescimento urbano, os aspectos físicos e ambientais, o mapeamento do uso do solo e vegetação, as bacias hidrográficas, as características geomorfológicas, a elevação, o risco de erosão e o risco de contaminação hídrica superficial, a exemplo na Figura 3.2; aspectos populacionais de faixa etária, economia e distribuição de renda, estruturação urbana, caracterização dos sistemas de saneamento ambiental, entre outros.

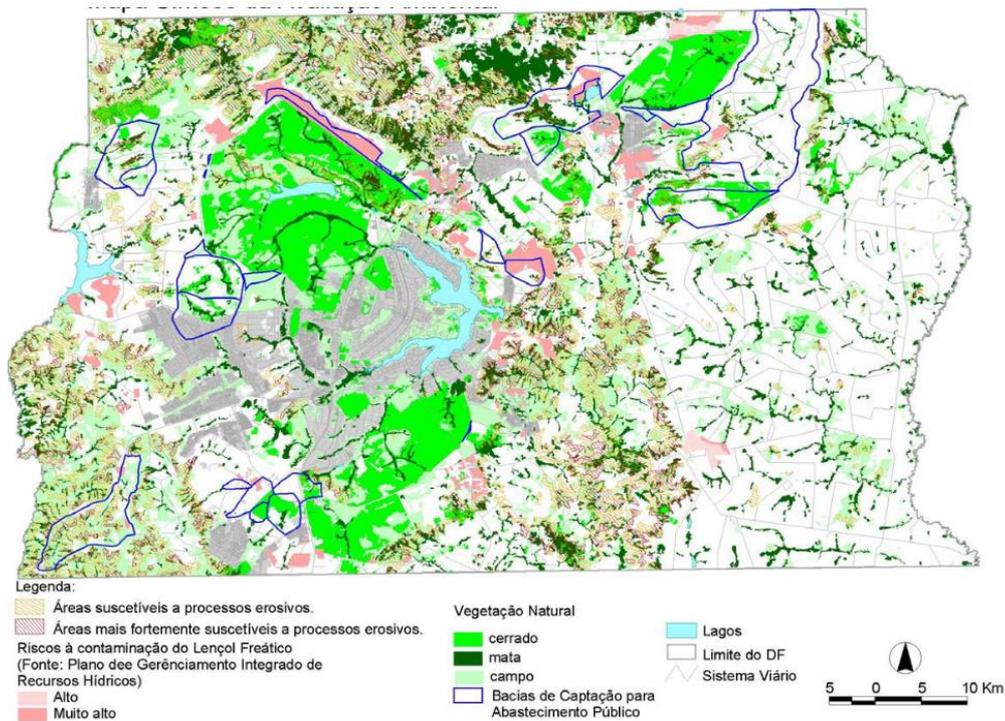


Figura 3.2: Mapa com as principais variáveis que compõe a problemática ambiental. (PDOT, GDF, 2009).

As proposições principais do PDOT são: (i) organização territorial, promovendo compacidade e aproveitamento da infraestrutura existente; (ii) articulação com a legislação

ambiental de recursos hídricos como a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, ZEE e LUOS; (iii) dinamização de áreas urbanas onde existem centros de atividades com interesse de mercado; (iv) revitalização urbana para áreas como por exemplo no setor de Brasília compreendendo a via W3 Norte e Sul; (v) regularização fundiária de parcelamentos urbanos isolados e ofertas de novas áreas habitacionais.

3.2.3 Zoneamento Econômico Ecológico – ZEE DF

O Zoneamento Econômico Ecológico tem como premissa orientar as políticas públicas distritais voltando-as para o desenvolvimento socioeconômico sustentável. Trata-se de um zoneamento de riscos ecológicos, sociais e econômicos a ser considerado para definição de uso do solo, articulando assim com a LUOS, no planejamento e gestão do território (GDF, 2017a).

O ZEE DF é composto por mapas de zoneamentos, risco de perda de área de recarga de aquíferos (Figura 3.3), risco de erosão, contaminação, comprometimentos de vazões outorgáveis conforme época do ano, unidades de conservação, combate à grilagem e mapeamento de atividades desenvolvidas.

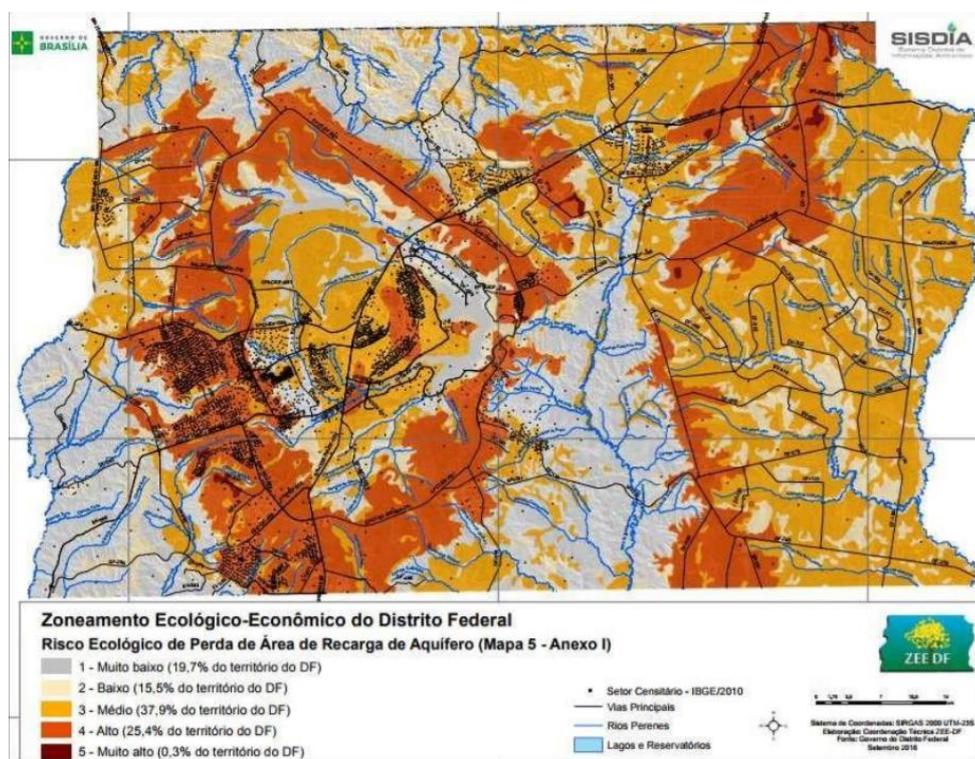


Figura 3.3: Mapa de Risco Ecológico de Perda de Área de Recarga de Aquífero. (ZEE DF, 2017).

O ZEE tem como objetivos específicos a diversificação da matriz produtiva compatível com a capacidade de suporte dos sistemas ambientais, a manutenção da vegetação nativa do cerrado, a avaliação dos riscos ecológicos pelas gestões públicas e privadas em novos projetos para garantir a integridade do meio ambiente, e a integração com os demais instrumentos de gestão territorial, meio ambiente, recursos hídricos, econômicos e sociais de maneira a garantir o desenvolvimento sustentável.

Esse instrumento também está integrado ao licenciamento ambiental no qual, a depender da atividade licenciada e do risco associado, tem-se diferentes processos de análise dos mapas de risco e fases a serem seguidas nos níveis de licença prévia, licença de instalação e operação.

3.2.4 Lei de Permeabilidade

A Lei Complementar nº 929/17, instituída Lei da Permeabilidade, dispõe sobre os dispositivos de drenagem para retenção e recarga artificial de aquíferos em empreendimentos imobiliários. Esta lei visa ao uso de dispositivos de infiltração de águas pluviais, de maneira a maximizar a infiltração dentro do empreendimento para promoção da recarga artificial de aquíferos, e exige que na saída do empreendimento seja lançado somente a vazão de pré-desenvolvimento estipulada de 24,4 l/s.ha.

Os objetivos a serem alcançados com a implementação da lei de permeabilidade é propiciar a infiltração, contribuir com a evapotranspiração e conforto higrotérmico, retardar o escoamento superficial e contribuir com os aspectos paisagísticos do ambiente urbano.

Os novos empreendimentos de mais de 600 m² de área ou projeção estão forçados a atender a lei de permeabilidade, sendo penalizados se não o fizer, com a não emissão do alvará de construção, licenciamento, concessão da carta ou habite-se. Dessa forma, devem ser dotados de projetos específicos para implantação dos dispositivos de infiltração ou retenção, observando as características geológicas, pedológicas, nível de lençol e permeabilidade do solo local.

Em vista aos parâmetros de uso e ocupação do solo da LUOS, esses dispositivos podem ser implantados nos recuos e afastamentos. Em caso do lote com taxa de ocupação 100%, deve-se prever a implantação de dispositivo de retenção(reservatórios), retirando-se, assim, a obrigatoriedade da implantação do dispositivo de recarga do aquífero; e em lotes de taxa de ocupação 100% e permissão de ocupação do subsolo em 100%, o empreendimento pode utilizar a área pública para implantação dos dispositivos.

A legislação ainda prevê a possível reutilização das águas pluviais dos dispositivos de retenção para usos menos nobres como o de higiene de calçadas e veículos, irrigação de jardim, espelhos d'água, entre outros, desde que independentemente do sistema de abastecimento de água e esgoto, e sendo dotado de projeto específico.

Para os casos de empreendimentos em regularização fundiária, deve-se prever a implantação do estabelecido. Caso não seja possível, deve-se realizar um diagnóstico e estudo para comprovação da impossibilidade da implantação.

Esse instrumento é bastante importante na gestão do manejo de águas pluviais, fazendo com que os empreendedores imobiliários comecem a tomar responsabilidade pelos impactos causados pela impermeabilização do solo em novos loteamentos que aumentam consideravelmente a quantidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, afetam a qualidade da água.

3.2.5 Urban Structure Types – UST

O planejamento e mapeamento urbano requerem informações detalhadas a respeito do ambiente construído como, por exemplo, informações funcionais, morfológicas, socioeconômicas e arranjo das edificações que afetam diretamente a estrutura urbana, densidade espacial e populacional. Porém, há de se observar uma certa inércia no desenvolvimento urbano, onde regiões da cidade tendem a ter sempre o mesmo padrão espacial, por características socioeconômicas locais, por interações sistemáticas com a infraestrutura ou atividades específicas (Hecht *et al.*, 2013; Besussi *et al.*, 2010).

O conceito de *Urban Structure Types* descreve o quão homogêneo é uma região em termo da cobertura do solo, recursos hídricos, vegetação, uso do solo residencial e não residencial,

características físicas como tamanho das edificações, densidade e arranjo, ou padrão das edificações. A UST reúne componentes em nível de bairro, vizinhança (Figura 3.4), e fornece informações para essa localidade homogênea como espaços verdes, permeabilidade, padrão das construções e arranjos e uso do solo (Hecht *et al.*, 2013; Castro, 2017).

Castro (2017) comenta que, para o caso do Distrito Federal, ainda se utilizam mapeamento de uso e ocupação do solo tradicionais e muito amplas, onde não é possível observar as características mais sutis de cada região, e ressalta que os instrumentos legais PDOT e ZEE não têm se mostrado eficazes na gestão territorial. Essa distância da visão dos instrumentos legais territoriais e a realidade da cidade tem propiciado a procura por uma caracterização urbana mais detalhada de forma a poder se utilizar das informações de uso e ocupação do solo de maneira efetiva (Andrade, 2014).

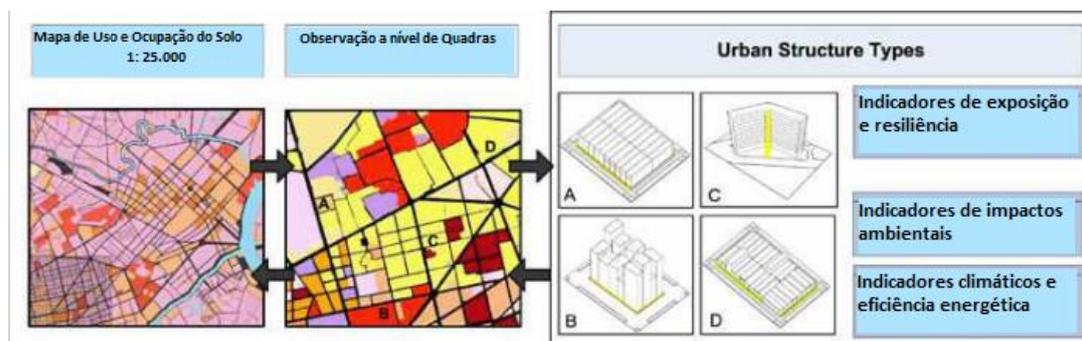


Figura 3.4: Nível de Observação da metodologia UST. (Moon *et al.*, 2009, Adaptado).

Para a obtenção das USTs para o Distrito Federal, Castro (2017) definiu uma chave de classificação hierarquizada em três níveis, ilustrada na Figura 3.5, sendo no primeiro nível em relação à funcionalidade, no segundo nível uma caracterização da funcionalidade e no terceiro nível a UST, em si, a ser mapeada.

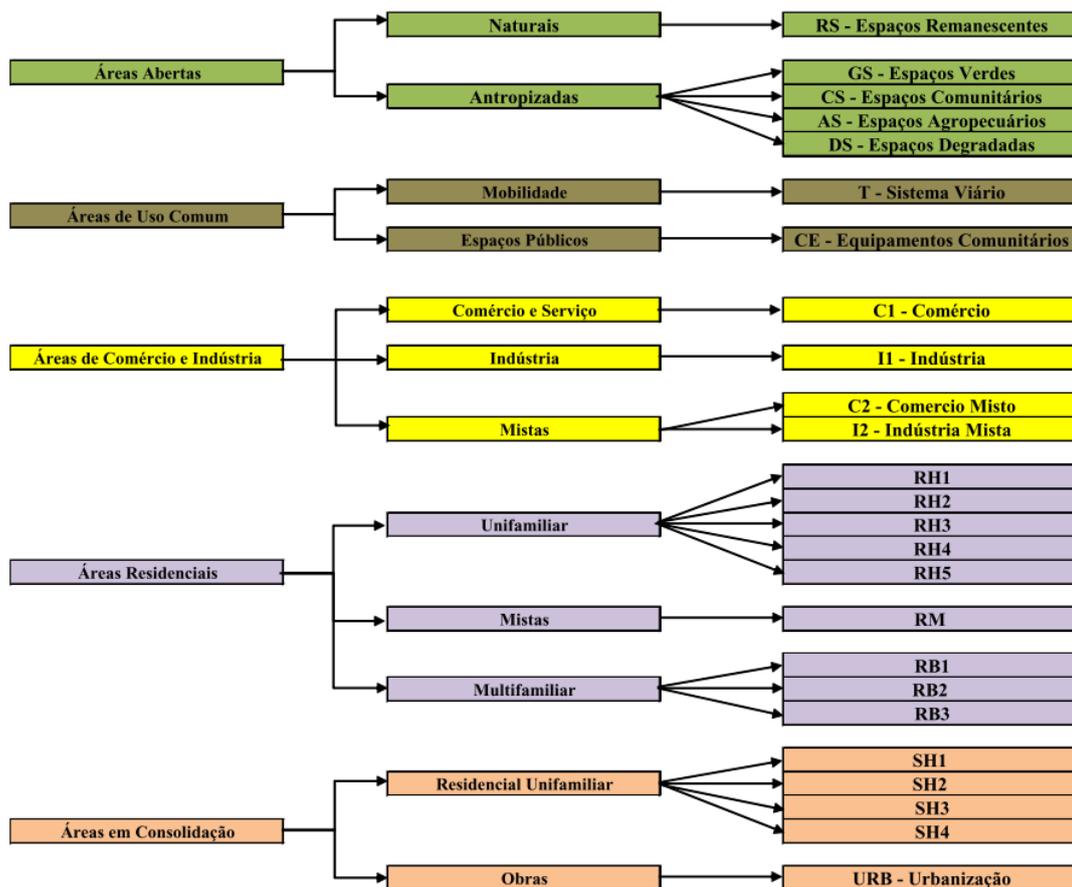


Figura 3.5: Chave de Classificação UST. (Castro, 2017)

Os mapeamentos das estruturas urbanas são dinâmicos e adaptam-se de acordo com a área em que o estudo será realizado como, por exemplo, o primeiro estudo realizado no Distrito Federal por Höefer (2013), o qual fez a pesquisa para a região de Planaltina, e adaptou as chaves de classificação de acordo com a realidade local. A partir desse estudo, os seguintes foram desenvolvidos, analisando as classes que Höefer (2013) havia utilizado para Planaltina e expandido para as demais Regiões Administrativas, adaptando as classes existentes e incluindo novas, quando necessário. O desenvolvimento em novas áreas, muitas vezes, segue um padrão específico já existente, devido a condições socioeconômicas, infraestrutura, forma e arranjo de construções aos arredores e quanto aos parâmetros estabelecidos na legislação de ordenamento territorial.

Dessa forma, as 25 USTs encontradas para o Distrito Federal são observadas na Figura 3.6.

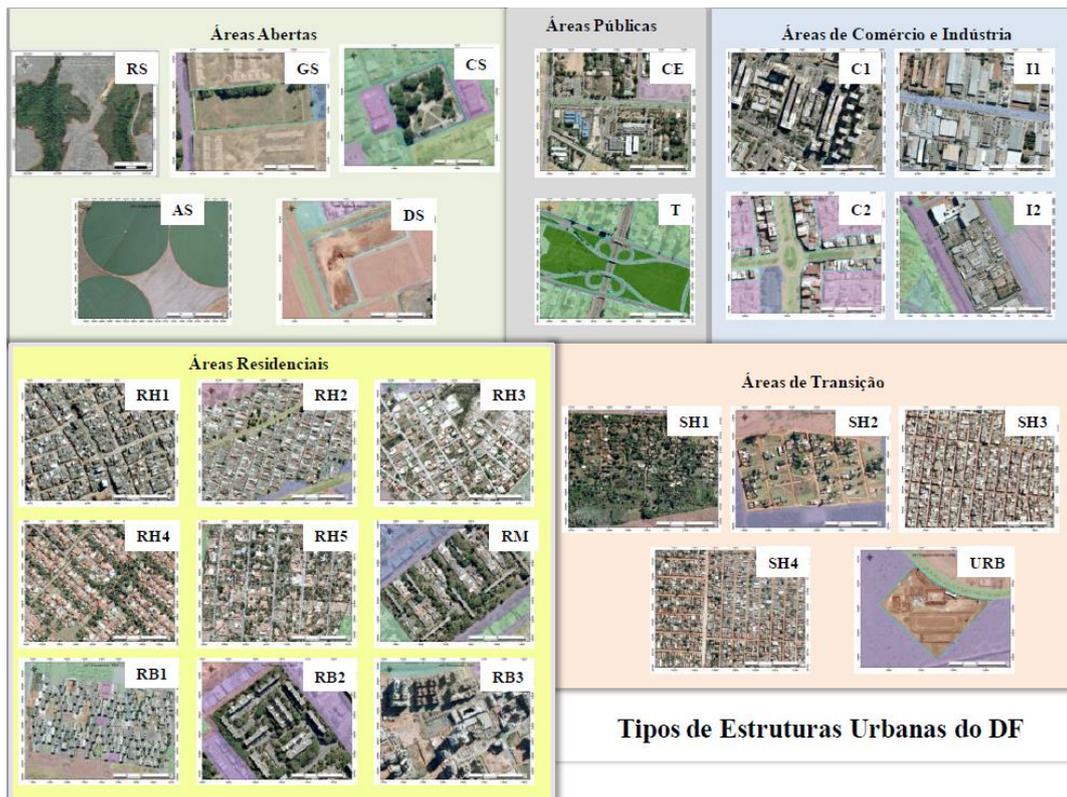


Figura 3.6: Urban Structure Types para o Distrito Federal. (Castro, 2017).

O conceito de *Urban Structure Types* descreve o quão homogêneo é uma região em termo da cobertura do solo, recursos hídricos, vegetação, uso do solo residencial e não residencial, características físicas como tamanho das edificações, densidade e arranjo, ou padrão das edificações. A UST reúne componentes em nível de bairro, vizinhança (Figura 3.4), e fornece informações para essa localidade homogênea como espaços verdes, permeabilidade, padrão das construções e arranjos e uso do solo (Hecht *et al.*, 2013; Castro, 2017).

3.3 EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Os sistemas de drenagem urbana surgiram com a necessidade do afastamento das águas pluviais do ambiente urbano devido às condições dos efluentes sanitários que, muitas vezes, eram lançados nas vias sem qualquer tratamento e contaminavam as fontes de abastecimento de água para consumo e, também, com a vinda das chuvas, os alagamentos auxiliavam na proliferação de doenças de veiculação hídrica (Tucci, 2012).

Com toda essa problemática, por volta do ano de 1850, realizou-se a canalização dos sistemas de esgoto e de drenagem urbana, de maneira a afastar o problema da fonte e transferi-lo para outra localidade, em fase denominada higienista. Porém, viu-se que os

efeitos a jusante, onde havia outras comunidades, estavam sendo desastrosos, pois contaminavam os mananciais de abastecimento dessas comunidades prejudicando seu bem-estar (Tucci, 2012; Christofidis, 2020).

Por volta de 1970, surgiu a fase corretiva, em que os efluentes foram direcionados a estações de tratamento de esgotos, de maneira a recuperar a qualidade dos recursos hídricos. Porém, ainda assim, havia uma fonte de poluição para os rios, pois apenas os efluentes domésticos e industriais, fontes pontuais, eram tratados. As fontes difusas, nesta época, ainda não eram levadas em consideração.

A partir da década de 90, a fase do desenvolvimento sustentável veio com a visão da conservação ambiental e dos serviços ecossistêmicos, de maneira a pensar na infraestrutura de maneira integrada com as áreas verdes e o urbanismo, em vista a melhorar a qualidade da água e amenizar os efeitos da poluição difusa.

Diversas terminologias surgiram com o desenvolvimento sustentável aplicado à drenagem urbana no cenário internacional: uma americana denominada LID (*Low Impact Development*), que no Brasil é traduzido para Desenvolvimento de Baixo Impacto, a australiana WSUD (*Water Sensitive Urban Design*), que se trata de Cidades Sensíveis à Água, e a Britânica SUD (*Sustainable Drainage Systems*), Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável.

O termo LID é usado comumente na América do Norte e na Nova Zelândia (Fletcher *et al.*, 2014). Na perspectiva do manejo de águas pluviais, a LID é a aplicação de técnicas de manejo de maneira a imitar as condições do ciclo hidrológico anterior ao desenvolvimento, e tem como objetivo a proteção da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, a integridade dos ecossistemas e recursos naturais (Collett *et al.*, 2013).

A LID tenta replicar o comportamento de alguns componentes do ciclo hidrológico de maneira a diminuir o volume total de escoamento superficial, diminuindo o pico das cheias, maximizando a infiltração e, dessa forma, auxiliando na recarga dos aquíferos e escoamento de base, auxiliando no processo de evapotranspiração e protegendo a qualidade da água (SEMCOG, 2008). Para seleção da técnica de manejo a ser utilizada, faz-se necessário ter estudos das características locais de tipo de solo, permeabilidade, espaço, declividade,

profundidade do lençol, entre outros (Maryland, 1999). Algumas das técnicas utilizadas são os jardins de chuva, trincheiras e valas de infiltração, *wetlands*, sarjetas verdes, células de biorretenção, telhado verde, reservatórios de detenção individuais, pavimento permeável e bacias de biorretenção, ou um conjunto de técnicas aliadas, como apresentado na Figura 3.7 (Collett *et al.*, 2013).

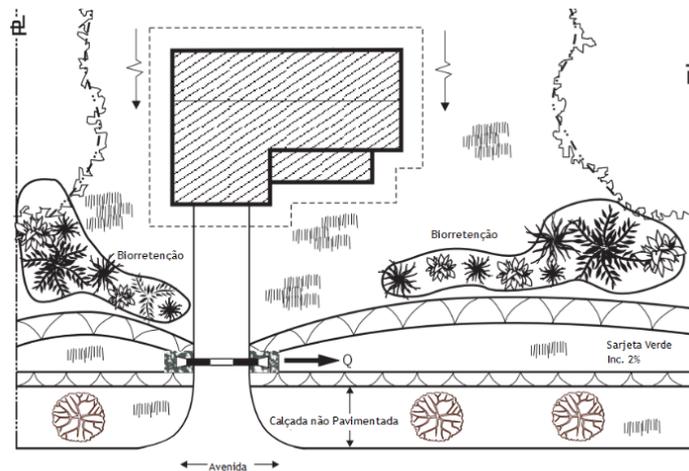


Figura 3.7: Uso de LID's em residências. (Maryland, 1999, Adaptado).

Por sua vez, a terminologia SUDS (*Sustainable Urban Drainage Systems*), é o conjunto de dispositivos de manejo de águas pluviais destinado a controlar o surgimento do escoamento na fonte, com ou sem a possibilidade de reuso da água. O projeto de uma SUD consiste na integração do manejo em quantidade, qualidade, sustentabilidade à biodiversidade e amenidades paisagísticas (Ballard *et al.*, 2015). Essa técnica faz o uso de dispositivos similares aos das LIDs, porém de forma sempre integrada, interconectada, de maneira a atingir a eficiência na redução do escoamento e melhoria na qualidade da água. O projeto em SUD deve garantir o princípio da facilidade de execução, manutenção, custo efetividade, saúde e segurança aos que moram próximos dos sistemas e aos funcionários que realizam a manutenção.

A abordagem WSUD (*Water Sensitive Urban Design*) trata além do manejo de águas pluviais em quantidade e qualidade, o ciclo das águas urbanas como um todo, como demonstrado na Figura 3.8, realizando assim, a gestão integrada dos sistemas de saneamento compreendendo água potável, esgoto e drenagem urbana (WCC, 2013).

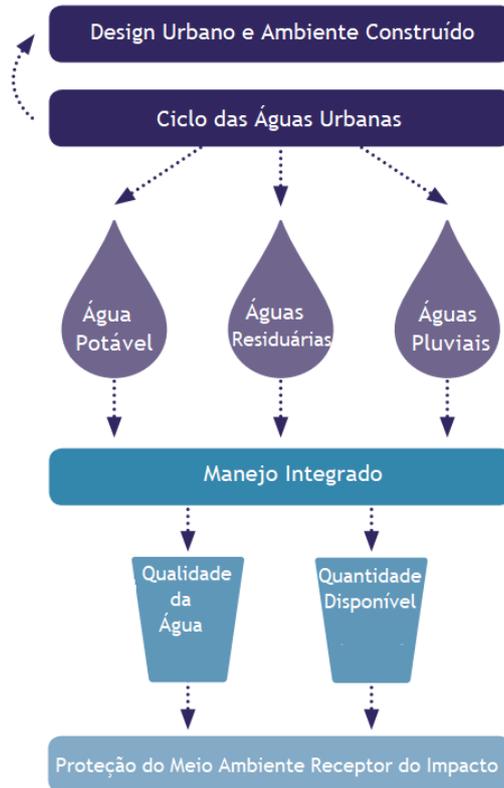


Figura 3.8: Ciclo WSUD. (WCC, 2013, Adaptado).

A WSUD busca a redução no consumo da água potável da rede de abastecimento, por meio do reúso das águas residuárias e pluviais, reduzindo as fontes de poluição pontual e difusa (Melbourne, 2006). Os benefícios alcançados pelas técnicas das cidades sensíveis à água vão além da somente redução das vazões de escoamento e melhora da qualidade, contribuindo ainda, de maneira a reduzir o consumo de água, fomentar um consumo eficiente e inteligente do recurso.

Dentro ainda da abordagem WSUD, o trabalho realizado por Andrade (2014) teve como objetivo integrar o desenho urbano com a ecologia dentro do setor habitacional do Taquari, região considerada sensível ambientalmente, onde localizam-se diversas nascentes que alimentam o Lago Paranoá. O estudo procurou o melhor aproveitamento da infraestrutura existente por meio do adensamento urbano com habitações coletivas e serviços na centralidade da região. Além da proposta do adensamento e utilização dos conceitos de desenho urbano sensível à água, buscou-se a utilização de infraestrutura verde em substituição aos sistemas convencionais, saneamento ecológico e permacultura. Um ponto interessante do estudo é a realização do projeto urbanístico seguindo as curvas de nível de

maneira a respeitar o caminho natural das águas e a interceptação por trincheiras de filtração e *wetlands*.

Outra abordagem muito utilizada, até relacionada às já citadas, é a *Best Management Practices* - BMP, que engloba uma variedade de tecnologias apropriadas e atividades para minimizar o efeito do desenvolvimento urbano no regime hídrico da bacia hidrográfica, podem se tratar de medidas estruturais (bacias de retenção e detenção, LIDs) ou não estruturais (técnicas de gestão de uso e ocupação), ou a união delas (Perez-Pendini, 2005). O uso do superlativo *Best*, “melhor”, pode ter um significado mal interpretado, em que a prática determinada é a melhor a ser utilizada. No entanto, ela pode ser a mais efetiva e ter um menor custo até o momento. Se forem realizados estudos adicionais ou modelagens, talvez a BMP escolhida pode não ser a “melhor”, mais apropriada, havendo outra mais efetiva (Fletcher *et al.*, 2014).

Outros termos emergentes como *Integrated Urban Water Management* (IUWM), que tem sua definição muito similar e menos abrangente que a WSUD, *Stormwater Control Measures* (SCMs), é um termo alternativo ao BMP, visto que a palavra “*Best*” trazia um objetivo muito vago (Fletcher *et al.*, 2014). Por fim, o *Green Infrastructure* – GI, utilizado juntamente com a terminologia BMP e LID na América do Norte, trata-se dos dispositivos de manejo utilizados em LIDs para controle na fonte, e foi concebido para contrapor ao termo *Gray Infrastructure* que trata da abordagem higienista de tratamento das águas pluviais e residuárias (Kramer, 2014).

Nacionalmente, o instrumento legal do Plano Diretor de Drenagem Urbana de alguns municípios, já vem trazendo a preocupação com a conservação dos recursos hídricos e força os projetistas a se atualizarem e utilizarem dispositivos de maneira mais sustentável para que haja controle do escoamento e da qualidade da água, como em São Paulo, Curitiba, Belo Horizonte e o Distrito Federal. No cenário internacional, isto tem se mostrado mais consolidado. Na América do Norte, Inglaterra, Austrália, diversos manuais de drenagem apresentam essas metodologias implantadas há algum tempo. Em alguns locais da Europa, como por exemplo na Alemanha, em Stuttgart, Hamburgo, houve casos de sucesso na utilização da abordagem SUDs (Estonia-Latvia Programme, 2013). Na Finlândia, predomina a terminologia IUWM similar a WSUD; já na Estônia, Suécia e Letônia, predomina a

utilização de terminologias gerais de manejo de águas pluviais e políticas aplicadas com alguns estudos de caso em SUDs (Trincheria & Yemaneh, 2016).

3.4 DIMENSIONAMENTO TÉCNICO, ECONÔMICO E OTIMIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Os sistemas de galerias de águas pluviais compreendem as bocas de lobo, poços de visita, tubulações e estruturas complementares, tendo em vista o manejo adequado desde a captação das águas até o destino final. O dimensionamento dos projetos de drenagem tem diversos condicionantes. O condicionante de projeto inicial é o tempo de retorno, que é determinado de acordo com os potenciais riscos às áreas onde a obra será instalada, geralmente determinado em legislação municipal ou estadual específica.

O projeto urbanístico, estudo de traçado e topografia local, são os condicionantes mais importantes que ditam o custo global da rede de drenagem. Os estudos de traçado devem ser realizados em consonância com a concepção do projeto urbanístico pois, ao impor restrições ao traçado da rede, podem acarretar custos mais elevados (Aisse, 1997).

O segundo condicionante de projeto das galerias é o dimensionamento dos sistemas de drenagem iniciais, sarjetas e coletores que, por sua vez, possuem critérios básicos fixos em função da classe da via onde estão alocados (CETESB, 1980). A classificação da via é feita de acordo com o tráfego, e os critérios determinantes para a concepção e dimensionamento das sarjetas são a dirigibilidade, segurança e prevenção de *acqua planning* (Aisse, 1997).

Os critérios técnicos estabelecidos na legislação de planejamento de drenagem urbana devem sempre atender-se às características ambientais, sociais e econômicas locais, e tornar o projeto dos sistemas de manejo de águas pluviais exequível, maximizando a eficácia e minimizando custos e riscos ao patrimônio. Alguns dos principais critérios técnicos adotados para o dimensionamento de galerias são: relação nível d'água e diâmetro, velocidades mínimas e máximas de acordo com o material da tubulação, diâmetro mínimo, declividade mínima e recobrimento da tubulação. A Tabela 3.2, mostra os valores e critérios técnicos adotados nos planos diretores de drenagem, termos de referência de projetos, para sete capitais brasileiras.

Tabela 3. 2: Parâmetros de projeto de galerias de águas pluviais. (Fonte: Cobrape, 2018; SUDECAP, 2017; ADASA, 2018; São Paulo, 2012; IPH, 2005; Rio-Águas, 2010; ETEP & Engecorps, 2008)

Local	Y/D	V Min. (m/s)	V Max. (m/s)	D Min. (mm)	Recobrimento	Declividade Mínima
Curitiba	-	0,80	5,00	400	0,60 m	-
Belo Horizonte	0,80	0,75	7,50	500	0,80 m	Atingir velocidade mínima
Distrito Federal	0,82	1,00	6,00	600	1,5 D	0,5%
São Paulo	Plena	0,60	5,00	500	1,00 m	Atingir Velocidade Mínima
Porto Alegre	Plena	0,80	4,00	300	1,00 m	-
Rio de Janeiro	0,85	0,80	5,00	400	0,40 m	0,2%
Vitória	0,80-0,90	0,60	5,00	300	0,90 m	-

Nota: ‘-’ Valor não informado

Observa-se uma certa diferenciação entre as cidades nos critérios técnicos adotados. Esses critérios variam de acordo com o corpo técnico de engenharia, que adotam posturas mais ou menos conservadoras nas concepções de projeto.

Outras análises também recomendadas nos termos de referência de projetos dos locais citados é a utilização de métodos alternativos de cálculo para empreendimentos com mais de 100 ha como, por exemplo, simulação hidrológica-hidráulica através de modelagem computacional, método racional modificado e hidrograma unitário.

Além disso, foi possível observar recomendações de cálculo de dispositivos de detenção, infiltração ou retenção para amenizar os efeitos ambientais causados da instalação das redes de drenagem e de novas áreas urbanas.

Na bibliografia, os critérios técnicos variam de acordo com cada autor e localidade do estudo. Azevedo Netto & Fernández (2015), recomenda como velocidade mínima de 0,75 m/s e máxima de 5,00 m/s para tubulações de concreto, e altura do nível d’água de 0,90 para tubos circulares e 0,95 para galerias retangulares. Garcias (1997) fez um levantamento para diversas bibliografias, nacionais e estrangeiras para os parâmetros de projeto de velocidade máximas e mínimas em galerias, demonstrados na Tabela 3.3.

Tabela 3. 3: Parâmetros de projeto de galerias de águas pluviais. (Fonte: Fendrich et al. 1997)

Local	Velocidade Mínima (m/s)	Velocidade Máxima (m/s)
Steel, Ernest W.	0,75 - 0,90	2,40
Prince, Walter H.	-	12,00
Cetesb	0,60	4,00
Pladata	0,75	5,00
OESA	0,80	6,00
Garcez, Lucas N.	0,30	4,50
Azevedo Netto	0,75	4,50
Hardenbergh, W. A.	0,91	3,05
ASCE	0,91	3,05

As velocidades listadas na Tabela 3.3, foram consideradas tendo em vista o efeito abrasivo de partículas nas tubulações e o assoreamento. A velocidade mínima deve levar em conta a capacidade de transporte de materiais finos, de maneira que esses não permaneçam depositados no fundo, ocasionando perda de área útil da seção transversal e a velocidade máxima deve levar em conta os aspectos estruturais da tubulação de drenagem que, além da abrasão, o efeito da energia cinética da água pode acarretar danos estruturais aos tubos e galerias.

Outro ponto a ser destacado é a metodologia de cálculo das redes de drenagem que, na maior parte das vezes, utiliza do método de cálculo da propagação de cheias pela onda cinemática, adotando o regime permanente, desconsiderando os efeitos de remanso. Através do cálculo da rede por modelagem matemática utilizando o método da onda dinâmica e considerando os efeitos de remanso, os critérios técnicos determinados podem interferir no dimensionamento econômico da rede, pois este efeito interfere na altura da lâmina d'água.

Com o intuito de buscar o desenvolvimento sustentável nas cidades, os conflitos entre as dimensões técnicas, econômicas e ambientais dos projetos de infraestrutura devem ser mediados, desenvolvendo estratégias que permitam avaliar todos os limitantes de maneira integrada. Dentre todos os sistemas de infraestrutura, a drenagem urbana tem papel fundamental em controlar os impactos causados pelas áreas urbanas e por, esta razão, esses sistemas devem ser dimensionados de forma a serem eficientes, resilientes e otimizados (Palumbo *et. al.*, 2014).

As bibliografias de discussão de otimização de redes de drenagem datam do início dos anos 70, iniciando com a utilização de algoritmos de programação linear, que possuíam uma limitação na implementação de funções de custo não lineares. Isso acarretava em um problema na etapa de otimização econômica, pois as funções custo em drenagem em sua maior parte não se comportam de maneira linear. Com a introdução da programação dinâmica, foi possível atingir máximos globais das funções objetivo implementadas, porém com um custo computacional ainda alto. Os algoritmos evolucionários surgidos na década de 90 e início dos anos 2000, se mostraram mais flexíveis e eficientes na resolução de problemas de otimização na área de engenharia hidráulica (Palumbo *et. al.*, 2014; Li & Matthew, 1990).

A otimização dos sistemas de drenagem trata não só do atendimento dos critérios técnicos estabelecidos em normas, mas também da consideração de que o projeto da rede é um problema de otimização, onde atendendo aos critérios básicos estabelecidos, pode-se obter uma rede hidráulica e economicamente eficaz no manejo de águas pluviais urbanos. O próximo desafio dessa problemática é integrar o dimensionamento e otimização das redes de drenagem convencional com as medidas compensatórias, formando assim, um sistema híbrido onde uma análise de otimização mais acurada deve ser estudada (Bakhshipour, 2019).

3.5 INFLUÊNCIA DA TOPOGRAFIA NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEO

Antes de atingir os corpos d'água, mais de 95% do escoamento passou por uma encosta antes de chegar ao canal. O ramo da hidrologia de encostas estuda a interceptação da precipitação pelas diferentes interfaces, vegetação, camada superficial e subsuperficial do solo (Kirkby, 1988).

A topografia é o elemento paisagístico básico das bacias hidrográficas. A geometria do terreno, caracterizada pela altitude, declividade, comprimento de rampas e curvatura do relevo tem um impacto relevante no escoamento superficial e exerce controle majoritário sobre a resposta hidrológica da bacia, definindo as condições de contorno por onde ocorrerão os mecanismos de transporte (Troch *et al.*, 2003; Hallema *et al.*, 2016).

Encostas naturais raramente assumem uma forma planar, com curvas de nível igualmente espaçadas e lineares, geralmente assumindo formas complexas com curvas de nível espaçadas irregularmente, gerando relevos com diversos raios de curvatura. Além disso, a declividade ao longo da encosta não é uniforme, podendo apresentar superfícies côncavas e convexas onde as curvas de nível podem ser mais próximas ou mais distantes, sinalizando o aumento e a diminuição da declividade, (Agnese *et al.*, 2007).

Os padrões topográficos podem apresentar-se de diversas formas conforme ilustrado na Figura 3.9, côncavos (1, 2 e 3), planos (4, 5 e 6), convexas (7, 8 e 9), convergentes (1, 4 e 7), divergentes (3, 6 e 9) e retangulares (2, 5 e 8). Cada um desses possui diferentes impactos sobre o escoamento superficial (Agnese *et al.*, 2007).

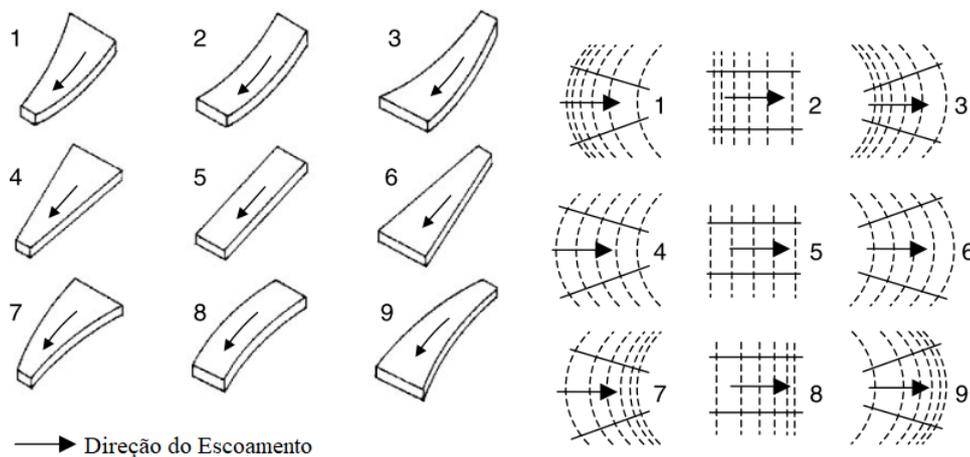


Figura 3.9: Formato dos Padrões Topográficos. Côncavos (1, 2 e 3), Planos (4, 5 e 6), Convexas (7, 8 e 9), Convergentes (1, 4 e 7), Divergentes (3, 6 e 9) e Retangulares (2, 5 e 8) (Agnese *et al.*, 2007).

Padrões extremos de superfícies convergentes e divergentes são representados por colinas. Sobre esses padrões, o escoamento superficial é bidimensional e, devido à ação da força gravitacional, a componente principal do fluxo é dirigida para baixo ao longo da direção do declive máximo, enquanto a componente lateral regula a velocidade do escoamento, como o espalhamento em superfícies divergentes e concentração em superfícies convergentes.

Superfícies côncavas e convexas apresentam características circulares, cônicas ou esféricas. Se as curvas de nível forem decrescentes em direção a jusante, a direção do fluxo do

escoamento será assumida como unidimensional. Caso contrário, se a superfície apresentar irregularidades tridimensionais geradas pela distância crescente ou decrescente nas curvas de nível alterando a declividade do relevo, apresentando características cônicas ou esféricas, o fluxo será bidimensional.

O estudo de Woolhiser (1969) *apud* Agnese *et al.* (2007) teve como objetivo avaliar o escoamento através da equação da onda cinemática para diversos padrões topográficos convergentes e constatou que, à medida que o grau de convergência do perfil aumentava, a geração de escoamento superficial diminuía.

Moore (1985), utilizando a aproximação feita por Rose *et al.* (1983) para resolução da equação da onda cinemática para o escoamento em um plano, variou o grau de convergência e divergência de maneira a simular a geometria complexa do relevo natural das bacias hidrográficas. A forma com que o perfil d'água se apresenta, permite determinar a capacidade de retenção ao longo da profundidade das camadas do solo. A generalização da aproximação de Rose *et al.* (1983) permite inferir que superfícies divergentes drenam mais rapidamente que superfícies planas e retangulares (Agnese *et al.*, 2007; Moore, 1985).

Troch *et al.* (2003) estudaram a influência de formas de relevo tridimensionais planas e com diversos perfis de curvatura utilizando o modelo hidrológico de encostas de Boussinesq. Foi verificado que superfícies convergentes drenam mais lentamente que as superfícies divergentes, devido à diminuição do fluxo na saída da bacia. Os hidrogramas característicos de encostas convergentes durante a drenagem mostram uma típica forma de sino, enquanto os hidrogramas correspondentes para as encostas divergentes mostram um pico elevado nos estágios iniciais da drenagem.

A topografia também exerce forte influência na extensão da zona saturada dos solos conforme demonstrado por O'Loughlin (1981) *apud* Agnese *et al.* (2007). A pesquisa de Philip (1991a) avaliou a infiltração em encostas de declividade plana, de um solo homogêneo e isotrópico. Constatou-se que para uma camada de solo homogênea e isotrópica, a infiltração da água no solo é basicamente regida por processos físicos como a capilaridade e a força gravitacional. Para a infiltração normal ao ângulo da declividade, constatou-se que os efeitos da capilaridade são essencialmente os mesmos para a superfície horizontal. Por

sua vez, a componente vetorial da força gravitacional é reduzida pelo fator do cosseno do ângulo da inclinação da superfície (Philip,1991a).

Para topografia côncava e convexa, Philip (1991b) concluiu que a principal influência geométrica na geração do escoamento é o ângulo de curvatura da superfície, e somente quando r (r = curvatura total da superfície) é menor que 10 vezes o comprimento da superfície infiltrante transversal, a mudança do fluxo do escoamento devido à curvatura da superfície precisa ser levada em consideração. Para topografia divergente e convergente, Philip (1991c) concluiu que para o fluxo insaturado, no geral, esses efeitos são importantes somente quando o raio do contorno é menor do que 10 vezes o comprimento da superfície infiltrante transversal. Assim, conclui-se que o fluxo do escoamento aumenta ligeiramente com a divergência e convexidade do relevo e diminui com a convergência e concavidade.

Outro aspecto também estudado é a influência da declividade do terreno na geração de escoamento superficial. Morbidelli *et al.* (2018) reuniram a discussão de diversos autores e metodologias para avaliação do efeito da declividade na geração de escoamento superficial mostrado na Tabela 3.4, reunindo também com outros estudos encontrados da área. Existem duas vertentes de pesquisa, uma delas focando na análise de modelos conceituais para investigação do efeito da declividade, e a outra realiza testes de campo em diversas encostas realizando medições diretas.

Tabela 3.4: Revisão Bibliográfica sobre a influência da declividade no processo de infiltração (Fonte: Morbidelli et al. (2018), Wang et. al. (2018), Gonçalves et. al. (2009))

Autores	Análise	Solo	Declive	Principais Conclusões
Nassif & Wilson (1975)	Experimental Laboratório	Areia argilosa	0-32%	A infiltração vertical decresce com o aumento da declividade, com a hipótese de que exista uma faixa intermediária de declividades onde a infiltração permanece estável.
Sharma et al. (1983)	Experimental Campo	Silte Arenoso	0,5 – 10%	A infiltração vertical decresce com o aumento da declividade, pois possui um tempo menor para infiltrar
Poesen (1984)	Experimental Laboratório	Areia, Silte	2 – 20°	A infiltração vertical decresce com o aumento da declividade, e aumenta-se a possibilidade de ocorrência de erosão laminar.

Tabela 3.4: Revisão Bibliográfica sobre a influência da declividade no processo de infiltração (Fonte: Morbidelli et al. (2018), Wang et. al. (2018), Gonçalves et. al. (2009))

Continuação

Autores	Análise	Solo	Declive	Principais Conclusões
Philip (1991)	Teórica Analítica	-	-	A infiltração normal a encosta decresce com o aumento da declividade com um fator em função do cosseno do ângulo da encosta.
Cerdá & García-Fayos (1997)	Experimental Campo	Silte, Silte Argiloso	2 – 55°	A infiltração vertical independe do ângulo da encosta
Fox et al. (1997)	Experimental Laboratório	Areia Siltosa	1,5 – 21,5°	A infiltração vertical decresce com o aumento do ângulo da encosta até 11°
Chaplot & Le Bissonnais (2000)	Experimental Campo	Silte	2-8%	A infiltração vertical decresce com o aumento da declividade de maneira significativa, aumentando a velocidade do escoamento
Jameau et al. (2003)	Experimental Campo	Argila	16 – 63%	A infiltração vertical decresce com o aumento da declividade, onde a componente de energia cinética apresenta um papel chave nesta diminuição
Chen & Young (2006)	Teórico Conceitual	-	-	A infiltração normal a encosta cresce com um fator em função do cosseno do ângulo da encosta quando o tempo tende a zero
Gonçalves et al. (2009)	Empírico	-	-	Declividades de 0 a 8% a taxa de infiltração é de 95%; de 8 a 15% taxa de infiltração de 70%; de 15 a 30% taxa de infiltração de 45%; declividades > 30% taxa de infiltração de 5%
Mu et al. (2015)	Experimental Laboratório	Silte Arenoso	0 – 30°	A infiltração vertical decresce com o aumento da declividade, a rugosidade da superfície influencia no efeito da declividade
Khan et al. (2016)	Experimental Laboratório	Argila Arenosa	5 – 25°	A infiltração vertical decresce com o aumento da declividade, considerando a intensidade da chuva e o efeito do relevo
Morbidelli et al. (2016)	Experimental Laboratório	Argila Siltosa	5 – 25°	A infiltração vertical decresce com o aumento da declividade, a rugosidade da superfície influencia no efeito da declividade
Wang et al. (2018)	Teórico Conceitual	-	-	A infiltração vertical decresce com o aumento da declividade devido ao tempo de detenção

É possível notar que há resultados conflitantes sobre a análise do efeito da declividade no processo de infiltração. O estudo recente de Morbidelli *et al.* (2019), propôs o desenvolvimento de um novo modelo conceitual para a infiltração em hidrologia de encostas. Esse modelo baseou-se em uma observação realizada em um campo de golfe, onde o golfista deveria lançar a bola com uma certa velocidade para que ela atingisse e entrasse no buraco. Se essa velocidade de lançamento for muito alta, a bola não entrará no buraco, e a mesma observação poderia ser realizada para o efeito da água se movendo sobre uma superfície porosa. Se a chuva for intensa, a quantidade de partículas atingindo a superfície porosa pode não infiltrar devido à velocidade terminal e à saturação da superfície. Outros condicionantes levados em conta neste modelo conceitual são a velocidade terminal em que a partícula atinge o solo, o coeficiente de infiltração saturado, o diâmetro dos poros e um parâmetro de distribuição de probabilidades. Como principal conclusão, o estudo demonstrou que o modelo conceitual representou bem os resultados laboratoriais obtidos para solos sem cobertura e sem influências de rugosidade. Para consideração da rugosidade seria necessária a calibração de um dos parâmetros do modelo, pois foi demonstrado que a rugosidade influencia diretamente no escoamento sub-superficial.

3.6 MODELAGEM COMPUTACIONAL APLICADA À DRENAGEM URBANA

Os modelos computacionais têm se mostrado úteis na concepção e dimensionamento dos sistemas de manejo de águas pluviais, além de poderem ser utilizados no projeto de obras corretivas ou complementares, caso necessário (Righetto, 2009). Os modelos partem do princípio de dinamizar os trabalhos e trazer resultados mais confiáveis aos projetistas, do que o simples uso de ferramentas de desenhos como o CAD, aliado a planilhas. Isto traz ao projetista a oportunidade de avançar em seus projetos e torná-los ambientalmente mais sustentáveis e econômicos, pela análise de alternativas e soluções.

Durante a evolução dos modelos, incorporou-se além do levantamento quantitativo, a simulação de qualidade da água, tendo em vista que a poluição difusa ganhou importância com o passar dos anos. A implementação do geoprocessamento nas ferramentas de modelagem contribuiu com a entrada de dados e representação espacial (Righetto, 2009), deixando os trabalhos de locação de obra e cadastro de rede mais ágeis pelo uso de coordenadas.

O surgimento de modelos hidrológicos ocorreu na década de 60. Os primeiros modelos eram baseados no controle de fluxos de elementos de reservatórios governados por equações matemáticas e modelos conceituais para simulação da resposta das bacias hidrográficas (Beven, 2012).

Há duas classificações básicas de modelos hidrológicos: os modelos concentrados (*Lumped models*) e os modelos distribuídos. Os modelos do tipo ‘*Lumped*’ tratam a bacia como uma unidade única com valores médios atribuídos às características da bacia como, por exemplo, a declividade média e a capacidade média da zona saturada. Os modelos distribuídos, por sua vez, fazem previsões distribuídas espacialmente, com variáveis que representam médias locais de armazenamento, profundidades de fluxo ou potencial hidráulico, discretizando em elementos de malha ou de sub-área e resolvendo as equações que governam o modelo para as variáveis associadas a cada elemento da malha ou de sub-áreas (Beven, 2012).

Considerando o modo como os modelos lidam com os dados, eles podem ter natureza determinística ou estocástica. Os modelos determinísticos permitem apenas um resultado por simulação com um conjunto de entradas e valores de parâmetros, a maior parte dos modelos hidrológicos enquadrando-se neste tipo. Modelos estocásticos permitem alguma aleatoriedade ou incerteza nos possíveis resultados devido às incertezas nas variáveis de entrada, condições de contorno ou parâmetros do modelo (Beven, 2012).

O crescimento dos modelos distribuídos é inegável devido à alta capacidade de processamento dos novos computadores e redes. Essa evolução auxiliou na modelagem de áreas urbanas que requerem um nível mais detalhado de análise e parâmetros, demandando o link entre modelos chuva-vazão a outros componentes que representassem os fenômenos em escalas temporais e espaciais menores (Beven, 2012).

Devido à variabilidade e complexidade da resposta hidrológica em uma bacia urbanizada, a pesquisa tem sido intensa para melhor representação espacial e temporal das bacias, principalmente em áreas urbanas espalhadas ou mistas com desenvolvimento rural (Fletcher *et al.*, 2013).

A diversidade de modelos existentes e suas escalas espaciais e temporais utilizadas em estudos são mostradas na Tabela 3.5, (Salvadore *et al.*, 2015).

Tabela 3.5: Escala espacial e Temporal dos Modelos. (Salvadore *et al.*, 2015, Adaptado).

Modelo	Área de Estudo	Escala espacial	Escala temporal
SWMM	0,06 a 250 km ²	Semi-distribuída	2 a 60 min
HEC-RAS	300 a 500 km ²	Semi-distribuída	60 min
SWAT	190 a 855 km ²	HRU	1 dia, 1 mês
TopUrban	8 km ²	Semi-distribuída	60 min

O SWMM mostrou-se vantajoso no estudo de áreas urbanas quando comparado a outros modelos como o HEC-1, STORM, PEN STATE, HSPF, por permitir a incorporação da rede de drenagem e outras características da malha urbana, por incorporar soluções hidráulicas pelas equações completas de Saint Venant, por permitir a simulação de qualidade da água, além de ser um programa de uso livre (ASCE, 1992).

Os modelos têm se aprimorado e evoluído para uma melhor representação de escala espacial e temporal dos fenômenos de propagação de cheias em áreas urbanas e periurbanas (Fletcher *et al.*, 2013). Mignot *et al.* (2018) cita os avanços em relação à modelagem computacional e experimental em drenagem urbana. Os avanços na obtenção de levantamentos topográficos mais acurados com resoluções espaciais menores de 0,5 m têm auxiliado nas simulações da drenagem em 1D e 2D, representando em alto nível de detalhe os processos subsuperficiais e o caminhamento da drenagem natural dos terrenos. O refinamento de malha nos novos modelos, conforme ilustrado na Figura 3.10, tem requerido estudos de eficiência computacional, resultando em novas tecnologias de processamento remoto e implementação de unidades gráficas de processamento (Bruwier *et al.*, 2017; Mignot *et al.*, 2018).

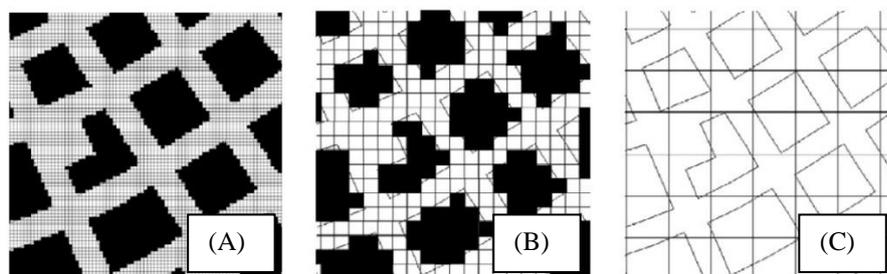


Figura 3.10: Malhas (a) Micro escala; (b) Meso escala; (c) Macro escala. (Bruwier *et al.*, 2017).

O próximo passo é a modelagem considerando todos os aspectos constituintes do tecido urbano e as interações entre eles, como por exemplo, modelar o caminho da água do telhado de uma edificação à chegada na superfície da via, o caminhamento da sarjeta até a boca de lobo e galerias, permitindo, dessa forma, uma modelagem em 3D (Bruwier et al., 2017; Mignot et al., 2018)

Quanto mais detalhados os modelos vão se tornando, mais demandam o uso de parâmetros, estabelecimento de condições de contorno, aumentando também a demanda por calibração e verificação. As incertezas aliadas à modelagem podem não ser completamente eliminadas, mas podem ser reduzidas a uma faixa de confiança, analisando a fonte e o impacto destas incertezas nos resultados obtidos. A fonte das incertezas pode estar inserida nos parâmetros utilizados pelo modelo para descrever processos, nos dados de entrada, na calibração e na estrutura de processamento do modelo (Deletic *et al.*, 2012; Beven, 2012).

A modelagem também pode ser utilizada como ferramenta no planejamento urbano. Pelorosso (2020) destaca que novas abordagens de planejamento baseadas em medidas de desempenho do sistema urbano estão surgindo para enfrentar o atual desafio da sustentabilidade das cidades. Através da modelagem, os gestores podem entender o comportamento geral do sistema e, conseqüentemente, decidir a alocação estratégica dos usos do solo e atividades econômicas para avaliar o desempenho dos processos considerados.

3.6.1 O Programa SWMM

O SWMM é um modelo de simulação chuva-vazão usado para avaliação de um ou vários eventos, a curto e longo prazo, da quantidade e qualidade de escoamento de áreas urbanas. O escoamento, do programa SWMM, é operado em um conjunto de sub-bacias que recebem a precipitação e geram cargas de escoamento e poluentes. O escoamento é transportado através de um sistema de tubos, canais, dispositivos de armazenamento e tratamento (Rossman, 2017).

O programa foi desenvolvido pela USEPA, na década de 70, e tem recebido diversas atualizações desde então, inclusive a integração com softwares de CAD e SIG, o que tem difundido seu uso entre os profissionais de engenharia (Righetto, 2009).

Os principais dados de entrada para modelagem chuva-vazão no SWMM são a precipitação e as características das sub-bacias. Na modelagem, são lançadas as redes de drenagem, representadas por nós e condutos, onde os nós representam os poços de visita. Podem ser incluídas unidades de estoque como bacias de detenção e retenção, e as saídas representam o final do sistema com lançamento nos corpos receptores. Os sistemas podem conter também bombas ou reguladores de vazão e orifícios (Rossman, 2017).

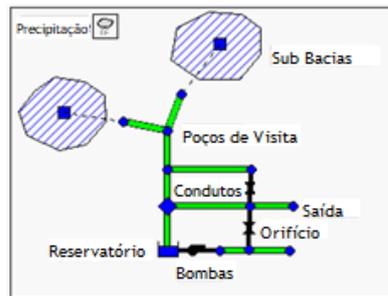


Figura 3.11: Parametrização do SWMM. (Rossman, 2017).

O SWMM por meio do método das diferenças finitas, realiza a resolução das equações para escoamento unidimensional variado na rede, de maneira a determinar o nível d'água em cada um dos dispositivos. O comportamento das ondas de cheia de entrada, saída, dispersão, aceleração e amplitude também são mostrados dentro do módulo. As características das ondas de cheia são afetadas principalmente pela geometria dos canais e as condições iniciais e finais de contorno (Rossman, 2017).

A hidráulica do escoamento é representada por equações diferenciais parciais de conservação de massa e momento de Saint Venant. Dentro do modelo, as equações são resolvidas pelo método das diferenças finitas considerando pequenos passos de tempo.

A escolha do regime hidráulico de simulação depende do objetivo que o usuário deseja atingir. A modelagem pela onda cinemática desconsidera efeitos de remanso, escoamento forçado e perdas na entrada e na saída devido a simplificação da equação de Saint Venant. A simulação pela onda cinemática é recomendada caso os efeitos mencionados acima possam ser negligenciados, como por exemplo, para simulações de condutos com declividades maiores que 0,1% e lâmina de escoamento rasa e para simulações de longo prazo. Devido às limitações desse método, pode não ser aconselhável utilizá-lo para redes com muitos nós e condutos.

A onda dinâmica, por sua vez, utiliza das equações diferenciais parciais de Saint Venant de maneira completa, considerando todos os termos, e leva a melhores resultados teóricos. No entanto, pode ser necessário ajustar o passo de tempo para garantir a estabilidade numérica do modelo. A onda dinâmica considera os efeitos de remanso, escoamento forçado, controle por orifícios e perdas na entrada e na saída do sistema, sendo o mais recomendado para simulação de redes (Rossman, 2017).

3.6.2 Medidas Compensatórias dentro do Modelo SWMM

O módulo de LIDs do SWMM permite a adoção de métodos de controle do escoamento superficial na fonte, que podem ser alocadas junto às superfícies impermeáveis que geram grandes volumes de escoamento em áreas urbanizadas. Os projetos desses dispositivos incluem as propriedades do solo, a altura vertical das camadas, a capacidade hidráulica do dreno subsuperficial e a área do dispositivo em planta (Rossman & Huber, 2016).

As práticas modeladas pelo PCSWMM estão mostradas na Figura 3.12.



Figura 3.12: LIDs Modeladas no PCSWMM, sendo (a) Células de Biorretenção, (b) Jardins de Chuva, (c) Telhado Verde, (d) Trincheiras Filtrantes, (e) Pavimento Permeável, (f) Pavers, (g) Cisternas, (h) Desconexão no telhado e (i) Sarjeta Verde. (Rossman & Huber, 2016, Adaptado).

Os dispositivos podem ser dimensionados *off line*, ou seja, sem conexão com a rede de drenagem, ou *in line* quando o dreno subsuperficial estiver conectado à rede. Outra forma de representação possível é a interligação de uma LID a uma única sub-bacia, ou uma área contendo uma LID ocupa uma sub-bacia como um todo, por exemplo, em loteamentos onde se pode utilizar a área verde como um grande jardim de chuva ou aliar várias técnicas dentro dela (Rossman & Huber, 2016).

As LIDs são dimensionadas seguindo equações da continuidade simplificadas que descrevem a mudança do volume de água para cada camada ao longo do tempo e a diferença entre as vazões de entrada e saída através das camadas e interfaces, expressos em volume por unidade de área no tempo.

Cada dispositivo tem suas características de dimensionamento como, por exemplo, espessura das camadas de solo e brita e suas capacidades de infiltração e retenção da água, utilização de drenos e volume de amortecimento.

As células de biorretenção podem ter três camadas: a superficial onde ocorre a infiltração da água, a camada de solo orgânico onde ocorre a percolação da água, e uma camada de agregado graúdo, que funciona como um reservatório, além do solo existente. Na camada de agregado pode estar presente o tubo dreno ou não, a critério do projetista.

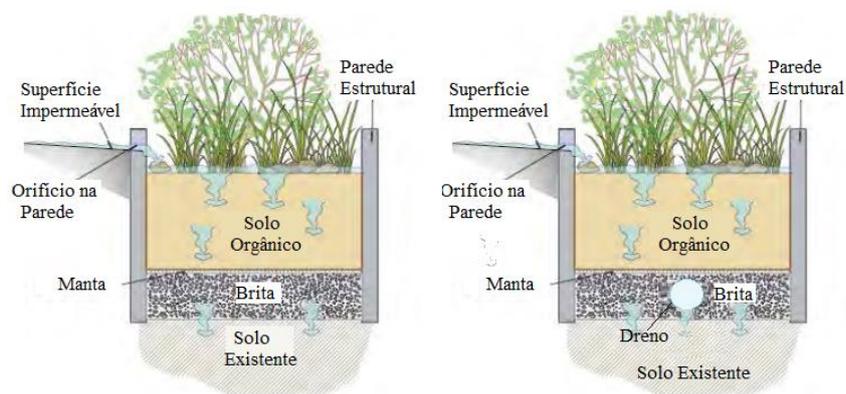


Figura 3.13: Células de Biorretenção. (Rossman & Huber, 2016, Adaptado).

Os jardins de chuva e os telhados verdes são similares às células de biorretenção do ponto de vista de modelagem. A diferença principal é a não existência da camada de agregado

graúdo para os jardins e, no telhado verde, a utilização de camadas de solo e mantas geotêxtis.

As trincheiras filtrantes possuem um projeto mais simplificado por haver apenas a superfície e a camada de material graúdo em sua composição. O dreno subsuperficial pode ser utilizado a critério do projetista.

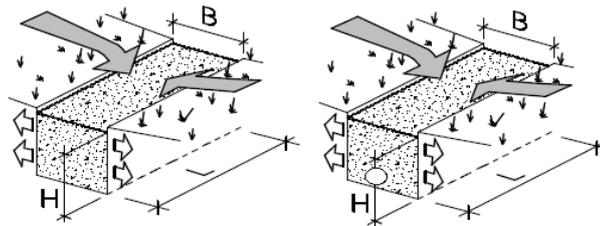


Figura 3.14: Trincheiras de Infiltração. (Silveira & Goldenfum, 2007, Adaptado).

O pavimento permeável, por sua vez, pode ser feito de camada de concreto poroso ou blocos intertravados na superfície, uma camada filtrante de areia que pode ser opcional, uma camada de agregado graúdo e, por fim, um tubo-dreno que pode ser utilizado ou não.

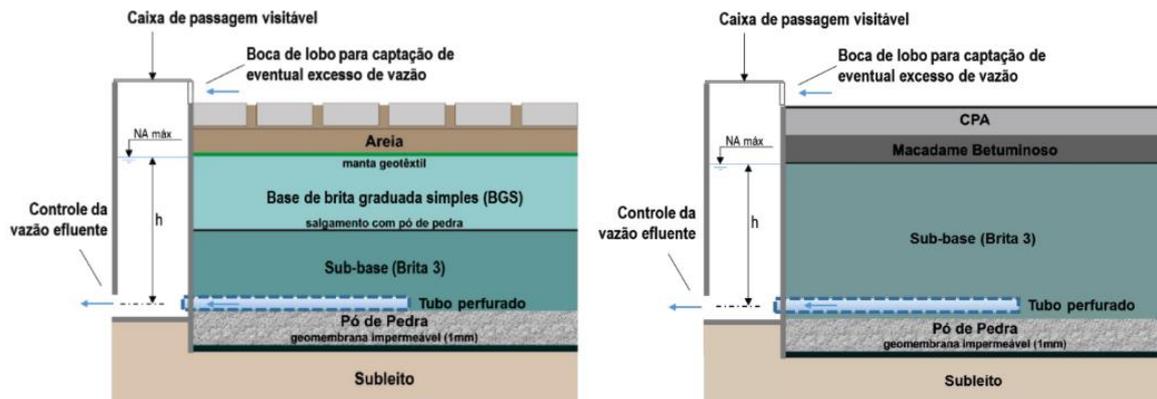


Figura 3.15: Pavimento Permeável. (Pinto, 2011, Adaptado por ADASA 2018).

A Sarjeta Verde é um canal trapezoidal linear que recebe o escoamento superficial por contribuição lateral. A esquematização deste é bem simplificada pois possui somente duas camadas, uma superfície gramada e solo natural.

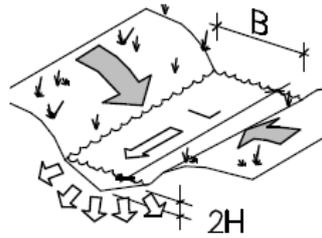


Figura 3.16: Sarjeta Verde. (Silveira & Goldenfum, 2007, Adaptado).

A desconexão do telhado pode ser entendida como o direcionamento da água captada pela calha para a área permeável do terreno, tendo assim a oportunidade de infiltrar antes de ir para o conduto de drenagem. Seu dimensionamento considera somente a camada superficial do telhado, calculando a vazão captada. A cisterna, também uma solução individual, é dimensionada de acordo com o volume captado na estação chuvosa, tendo um volume máximo que, caso excedido, deve-se ter um sistema de escape, como um tubo “ladrão” de reservatórios.

Outra consideração importante para modelagem de LIDs é a consideração da colmatação, que é a perda da eficiência das camadas filtrantes pela obstrução dos poros por material fino. Algumas medidas de manutenção devem ser utilizadas para evitar a ocorrência desse fenômeno, como a instalação dos dispositivos em áreas consolidadas, onde não há muitos movimentos de terra, limpeza da superfície por sucção para pavimentos permeáveis, evitar a construção de trincheiras e poços em áreas muito arborizadas onde possa ocorrer a cobertura por folhas, relação altura – largura maior que 1 para trincheiras de infiltração e, caso necessária, a substituição da camada de agregados e mantas geotêxteis (ADASA, 2018).

3.6.3 Estudos com o SWMM

Os estudos realizados utilizando o modelo SWMM compreendem a análise quantitativa de performance das redes de drenagem urbana e medidas compensatórias em diversos cenários de comparação, a análise qualitativa da poluição difusa e dos fenômenos de *first flush*. Alguns estudos são mostrados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6: Estudos realizados com o Modelo SWMM, analisando aspectos de quantidade e/ou qualidade das águas de drenagem urbana.

Autor	Análise	Local	Principais Conclusões, Objetivos de Estudo
Costa (2013)	Quantidade e Qualidade	Distrito Federal, Bacia do Iate e C.O.	O modelo representou de maneira eficaz os fenômenos hidrológicos da bacia de estudo. Para o estudo de qualidade, para vazões calibradas o modelo representou bem as cargas de DQO.
Chaosakul et. al (2013)	Qualidade	Tailândia, Bangkok	Foi investigado o uso de células de biorretenção para redução de alagamentos e melhoria da qualidade de água. O modelo apresentou dificuldade em representar parâmetros utilizados em regiões tropicais.
Souza (2014)	Quantidade e Qualidade	Distrito Federal, Bacia do Iate e C.O.	O modelo apresentou dificuldades em representar as cargas de poluição difusa da bacia estudada. Apresentou uma boa calibração na análise quantitativa.
Ponciano (2016)	Quantidade	Distrito Federal, Arniqueiras	O modelo permitiu análise de diferentes cenários para rede projetada.
Silva (2016)	Quantidade	Distrito Federal, Vicente Pires	O SWMM representou mais fidedignamente as vazões de pico em todos os cenários.
Mesquita et. al (2017)	Qualidade	Ceará	Modelagem qualitativa das águas da drenagem urbana integrando o SWMM e o modelo de hidrodinâmica costeira, modelando o impacto da poluição difusa na zona costeira.
Carvalho (2018)	Quantidade	Distrito Federal, Taquari	As comparações levaram à conclusão de que a solução de baixo impacto correspondente à alocação de valas de infiltração é capaz de promover a mitigação dos impactos gerados pela possível ocupação, tanto em simulação de eventos quanto contínua utilizando o modelo.
Méndez (2018)	Quantidade	Equador, Quito	A modelagem 2D possibilitou o estudo de ações e implantação de LIDs para redução de alagamentos.
Ceolin (2019)	Quantidade	Distrito Federal, Vicente Pires	Simulação do comportamento do sistema de drenagem e bacia de detenção, performance

Tabela 3.6: Estudos realizados com o Modelo SWMM, analisando aspectos de quantidade e/ou qualidade das águas de drenagem urbana, Continuação.

Autor	Análise	Local	Principais Conclusões, Objetivos de Estudo
Delci (2019)	Quantidade	Distrito Federal, Santa Maria	Simulação do comportamento do sistema de drenagem
Neto (2019)	Quantidade	Dois Vizinhos, Paraná	Modelagem utilizada no dimensionamento de medidas compensatórias para novos loteamentos.
Hamouz & Muthanna (2019)	Quantidade	Noruega	Modelagem de telhados verdes em climas frios, análise de performance.
Yin et. al (2020)	Quantidade	China, Zuhai	Modelagem 1D e 2D no projeto de <i>Sponge Cities</i>
Morgan et. al (2020)	Qualidade	Irlanda, Dublin	Modelagem de sólidos suspensos e <i>Wash Off</i>

Como pode ser observado na Tabela 3.7, o modelo SWMM tem se mostrado bastante versátil para diversas análises de performance da rede de drenagem, qualidade da água e medidas compensatórias aplicadas a drenagem urbana. A tendência futura são os estudos de modelagem 2D e 3D aplicadas ao planejamento urbano e projetos de *Sponge Cities*. Todo modelo pode estar sujeito a incertezas devido à quantidade de parâmetros necessários de entrada, diferentes modos de modelagem de cada usuário e diferentes modos de calibração. Pesquisas têm sido desenvolvidas para minimizar ou quantificar essas incertezas no modelo SWMM.

Quanto a falhas no modelo, o estudo de Sun *et al.* (2012), utilizando o SWMM para o estudo de uma bacia em Syracuse, estado de Nova York, concluiu que a maneira pela qual espaços geográficos contínuos eram desagregados em unidades espaciais discretas teve um impacto significativo no modelo e simulação de resultados. Os resultados mostraram que os valores dos parâmetros eram bastante sensíveis às escalas de modelagem. Tanto a calibração do modelo, quanto os resultados da validação mostraram que os conjuntos de parâmetros posteriormente calibrados com base na análise micro reduziu a incerteza das previsões de vazões em maior grau em comparação com os da análise macro. Na modelagem hidrológica, especialmente em pequena escala, é prejudicada pela não disponibilidade de medições de escoamento, e, portanto, parâmetros do modelo não podem ser calibrados para melhor ajuste do modelo ou validados para testar sua aceitação.

Os estudos de Behrouz *et al.* (2020), propuseram uma nova ferramenta de calibração para o modelo SWMM. A necessidade de diversos parâmetros de entrada para representação das relações entre precipitação e geração de escoamento e outras mais para descrição dos sistemas de drenagem, pode gerar diversas incertezas associadas devido a muitos desses parâmetros serem estimados, pois, muitos deles, não estão disponíveis em levantamentos de informações ou base de dados. Como consequência, há a necessidade de calibração do modelo com os dados observados de vazões. A maior parte dos usuários faz uma calibração manual buscando um “*best-fit*” das curvas observadas e simuladas. Essa calibração manual pode variar entre modeladores e, para evitar estas variações, a calibração automática pode levar a resultados mais homogêneos entre os modeladores. O calibrador desenvolvido pelo Behrouz *et al.* (2020) teve bom desempenho para simulações de pequena escala, e foi disponibilizado em código aberto para melhorias.

3.7 ESTUDOS UTILIZANDO PADRÕES DE OCUPAÇÃO URBANA

As *Urban Structure Types* podem ser utilizadas para diversos estudos, como demanda energética, poluição, geração de resíduos, consumo de água, arborização entre outros. Estudos com USTs já foram realizados em diversos países como a Alemanha, Austrália, China, Brasil e Estados Unidos.

Estudo feito em Leipzig, na Alemanha, analisou o instrumento de monitoramento de mapas de ruídos causados pelo tráfego em diversos tipos de estruturas urbanas, de acordo com a densidade habitacional, altura, prédios vagos e alterações na cidade. O local foi escolhido devido a ser uma cidade típica e compacta da Europa Central, e não ter sofrido mudanças significativas no uso e ocupação do solo após a reunificação da Alemanha. A pesquisa teve como resultados que USTs onde eram presentes edificações com multiblocos de apartamentos tiveram a exposição ao ruído mais alta, de 63,69 dB, e a mais baixa foi dos parques residenciais, com 51,94 dB. A altura da edificação se mostrou também uma variável importante para exposição ao ruído, quanto mais altas, maior a redução do ruído (Weber *et al.*, 2014).

A pesquisa realizada por Schröter *et al.* (2018) em Dresden, Alemanha, para estudos de enchentes, em locais atingidos por impactos de eventos nos anos de 2013, 2006 e 2002,

sendo este o mais severo. A cidade possui uma caracterização arquitetônica bastante homogênea incluindo prédios históricos e modernos, edifícios residenciais, centro densamente ocupado e alguns distritos residenciais próximos. Foi elaborado um modelo 3D da cidade, a partir da estrutura urbana para avaliação dos impactos causados por cheias. O modelo 3DCFD usado para estimar os danos por enchentes em edifícios residenciais, foi utilizado para elaborar cenários, um com o período de retorno de 50 anos, relativo ao ano de 2013, e outro com o período de retorno de 200 anos, que se aproximou da enchente do ano de 2002. Esta modelagem foi importante para verificar as áreas com maior risco de perdas devido a enchentes, para gestão do território e locação das estruturas de controle (Schröter *et al.*, 2018).

Um dos primeiros trabalhos com USTs no Distrito Federal foi o de Höfer (2013), que foi realizado com apoio do programa Água DF, parceria da CAESB, UnB, instituições de ensino alemãs e outras brasileiras. A pesquisa consistiu na determinação, a partir do sensoriamento remoto, das estruturas urbanas para avaliação dos impactos hidrometeorológicos em aglomerados urbanos na América Latina. Na análise realizada em Santiago, Chile, foram analisadas as classes dominantes de uso do solo de acordo com a densidade: intermediário (52%), densa urbanização (22%), áreas dispersas (16%) e áreas verdes (10%) e um total de 12 USTs. Quanto à análise de temperatura ainda no Chile, as mais altas temperaturas foram encontradas em áreas com alta taxa de impermeabilização e pouca vegetação, que variou nas áreas densamente ocupadas de 20,1°C a 35,6°C, onde foi possível também realizar a identificação de ilhas de calor. Foi observado também que as USTs conseguem representar diversos dados, como número de pessoas afetadas por quantidade de domicílios e distribuição etária.

No Distrito Federal, o estudo foi realizado na região administrativa de Planaltina, onde foram caracterizadas as USTs com objetivo de verificar se essa metodologia seria adequada para representar a poluição difusa nos recursos hídricos em áreas urbanas. Foram classificadas 14 estruturas urbanas, que podem representar a densidade habitacional, pessoas por residência, conexão da casa com o sistema de abastecimento, infraestrutura e coleta de resíduos sólidos. Foi desenvolvido um mapa comparando a análise de riscos de contaminação utilizando os setores censitários e utilizando as USTs, Figura 3.17. Os resultados obtidos apresentaram diferenças devido as USTs representarem melhor a área construída e, nos setores censitários, a informação ser igualmente distribuída. É importante destacar que, as estruturas urbanas

podem ser atualizadas mais facilmente do que os dados do censo, realizados a cada década (Höfer, 2013).

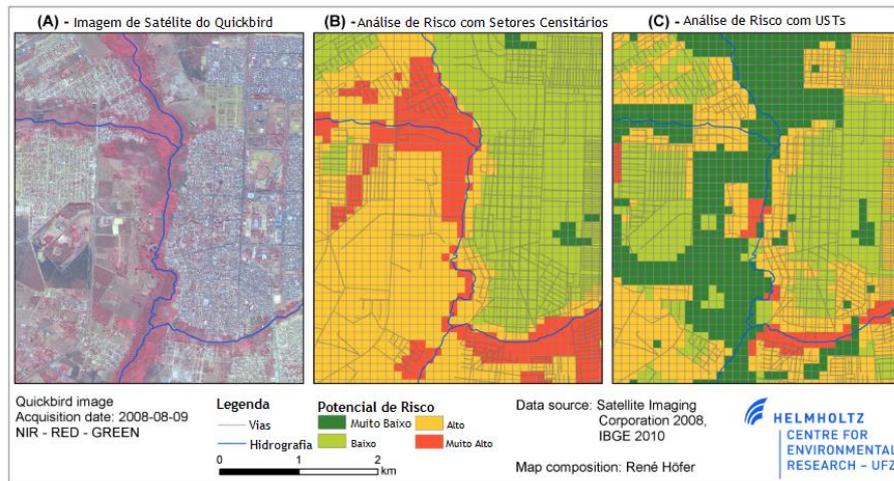


Figura 3.17: Risco de poluição difusa pelos métodos Setores Censitários e USTs. (Höfer, 2013, Adaptado).

Ainda no DF, complementar ao estudo de Höfer (2013), foi realizada a pesquisa dos tipos de estruturas urbanas e o consumo de água na região da bacia hidrográfica do Riacho Fundo. Foram classificadas as USTs na região e, a partir disso, foram correlacionados os dados socioeconômicos locais e o consumo de água. Definiram-se 18 classes de USTs a partir da implementação da classificação proposta pelo projeto Água – DF. Os consumos médios de água por estruturas encontrados são mostrados na Figura 3.18.

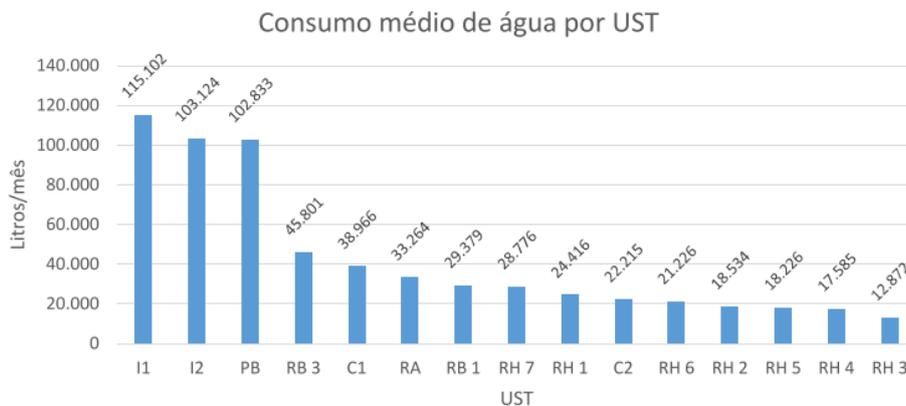


Figura 3.18: Consumo de água por UST. (Sotero, 2014).

Os maiores valores observados são os das áreas industriais como esperado de 115 m³/mês e os de moradias de alto padrão com 28 m³/mês, e o que apresentou menor consumo foram onde há a presença de edificações de baixo padrão (RH 3) com 12 m³/mês (Sotero, 2014). O consumo por unidade em cada UST variou de acordo com a classe da edificação, e a demanda por água por habitante, de acordo com a densidade populacional, variando de 150 l/hab.dia a 700 l/hab.dia (Sotero, 2014).

O trabalho de Castro (2017), também realizado no Distrito Federal, teve como objetivo adaptar o conceito de UST para geração do mapa de padrão urbano do DF, propor indicadores de serviços ecossistêmicos, socioambientais e de abastecimento para auxiliar na gestão dos recursos hídricos e território, e apresentar a elaboração do Índice de Segurança Hídrica Urbana. Resultados com o mapeamento levaram aos 25 padrões UST, apresentados anteriormente na seção 3.2.5. Quanto às análises foram realizadas as verificações de disponibilidade, quantidade, qualidade e demanda pela água, para unir todas estas informações na composição de um indicador global. Para isso, foram realizadas diversas análises utilizando os dados obtidos para as áreas urbanas (escoamento superficial, recarga de aquífero, erosão, consumo de água, IQA, precipitação) e de acordo com os mananciais abastecedores regionais. Após realizar associação dos dados, realizou-se uma validação junto aos órgãos gestores como a ADASA, CAESB, SEMA, CODEPLAN e SEGETH. Dessa forma foi elaborado o mapa com o Índice de Situação do Abastecimento de Águas Urbanas do DF - ISAAU, Figura 3.19.

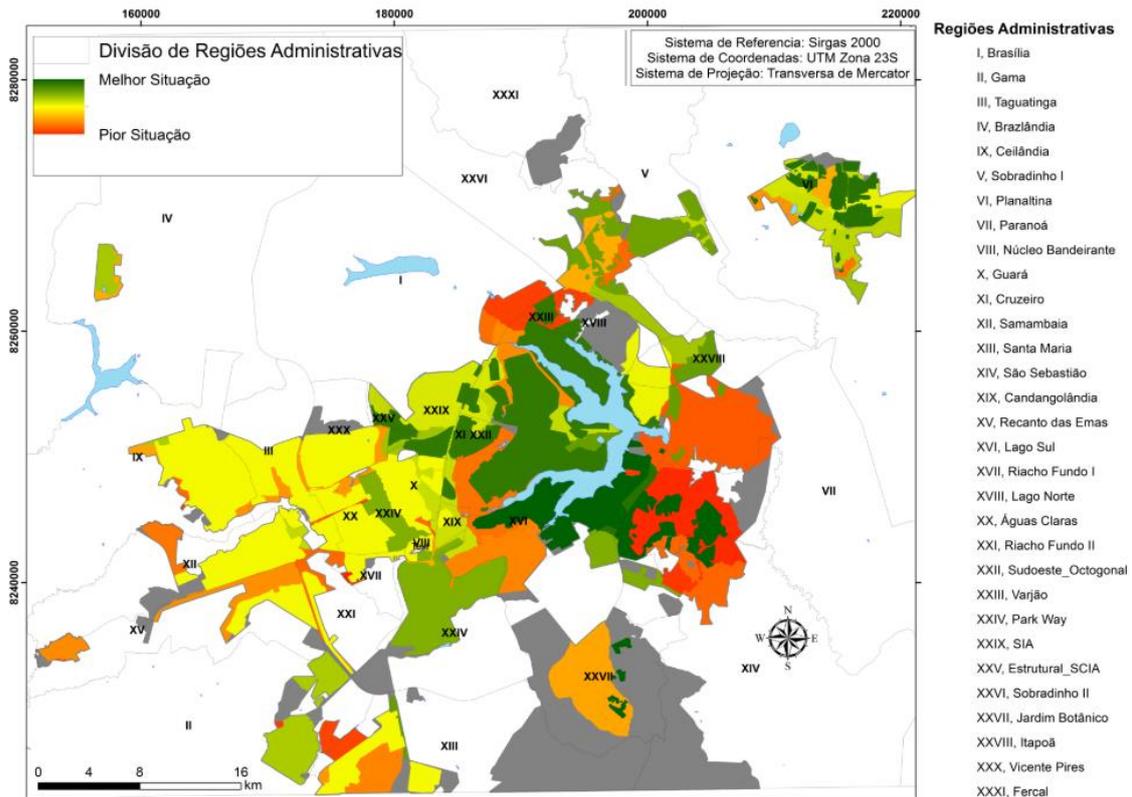


Figura 3.19: ISAAU DF. (Castro, 2017).

Quanto ao Índice de Segurança Hídrica Urbana (ISHUrb), este foi composto por uma série de critérios de viabilidade na questão de alternativas para abastecimento, critérios socioambientais como acesso ao saneamento, critérios ecossistêmicos quanto à erosão, alagamentos, disponibilidade de áreas verdes, oferta e demanda de água em quantidade e qualidade. Por fim, elaborou-se um mapa cruzando todas informações obtidas classificando por região administrativa, de melhor para pior situação. A melhor situação de segurança hídrica apresentou-se no Plano Piloto, e entre as piores situações, a região administrativa do Varjão. A Figura 3.20, retrata as unidades hidrográficas do Distrito Federal em relação ao ISHUrb.

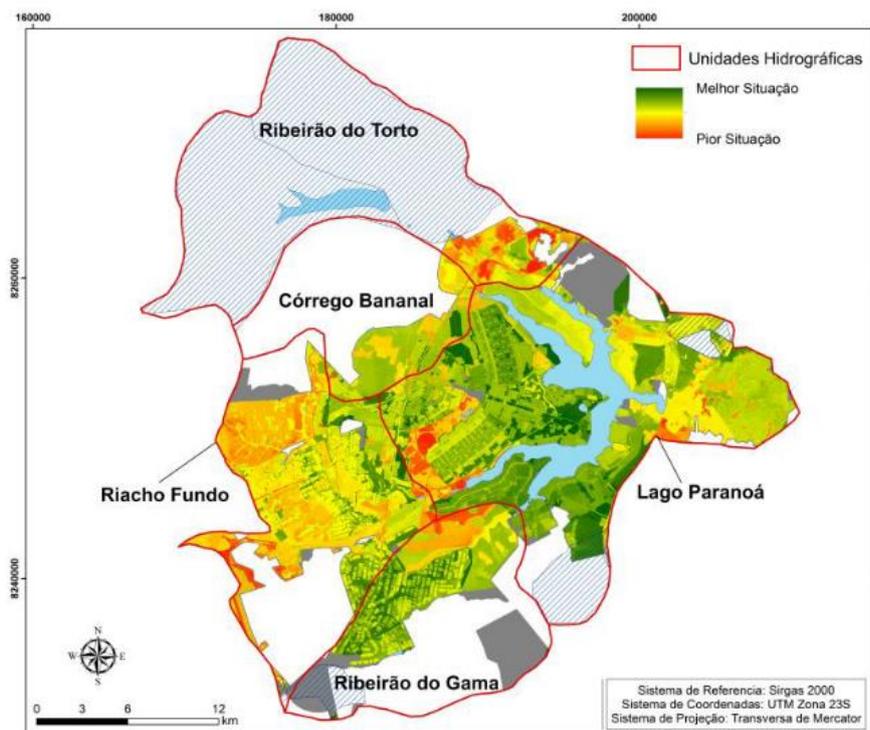


Figura 3.20: ISHURb e Unidades Hidrográficas do Distrito Federal. (Castro, 2017).

A pesquisa de Seraphim (2018) na unidade hidrográfica do Paranoá, Distrito Federal, teve como objetivo a identificação e classificação de diferentes tipologias urbanas quanto a seu potencial de recarga natural de aquíferos para a consolidação de um planejamento urbano voltado à manutenção da recarga dos mananciais subterrâneos. Para isso, a classificação das tipologias urbanas foi realizada de acordo com a densidade construtiva em cinco zonas, variando de muito alta (SIA, SIG, Vila Telebrásília, Vila Planalto, Paranoá e Itapoã), alta (W3 Sul e Norte, Sudoeste, Botânico, Dom Bosco, Taquari e Itapoã), média (Asa Sul e Norte, Sudoeste, Octogonal, Lago Sul e Norte e condomínios no Itapoã e Paranoá), baixa (Mansões Sul e Norte, chácaras Taquari e condomínios no Vila Planalto) e muito baixas (Embaixadas, Clubes, UnB, Setor Policial, Parques Sul e Norte e Chácaras Taquari). Foi realizada uma análise temporal da evolução da área urbana no Distrito Federal, verificando-se que, de 1953 a 2016, a área urbana cresceu 230 vezes. Quanto à porcentagem de área urbanizada em regiões com potencial de recarga, foi constatado que, em 2016, 0,36% estava em áreas de muito baixo potencial, 14,12% em baixo, 4,25% moderado, 49,36% em alto potencial e 31,88% em muito alto potencial, totalizando assim, 81,24% das áreas urbanizadas sobre áreas com alto e muito alto potencial de recarga de aquíferos. Sobre as densidades construtivas, verificou-se que 76% das áreas urbanizadas sobre áreas de alto e muito alto potencial de recarga apresentavam densidade construtiva entre média a muito

baixa. No entanto, ainda existem impactos bastante significativos de recarga nessas áreas devido à perturbação do solo e à não utilização de técnicas de drenagem sustentável para auxílio na recarga. A Figura 3.21 mostra as áreas identificando o potencial de recarga na área de estudo.

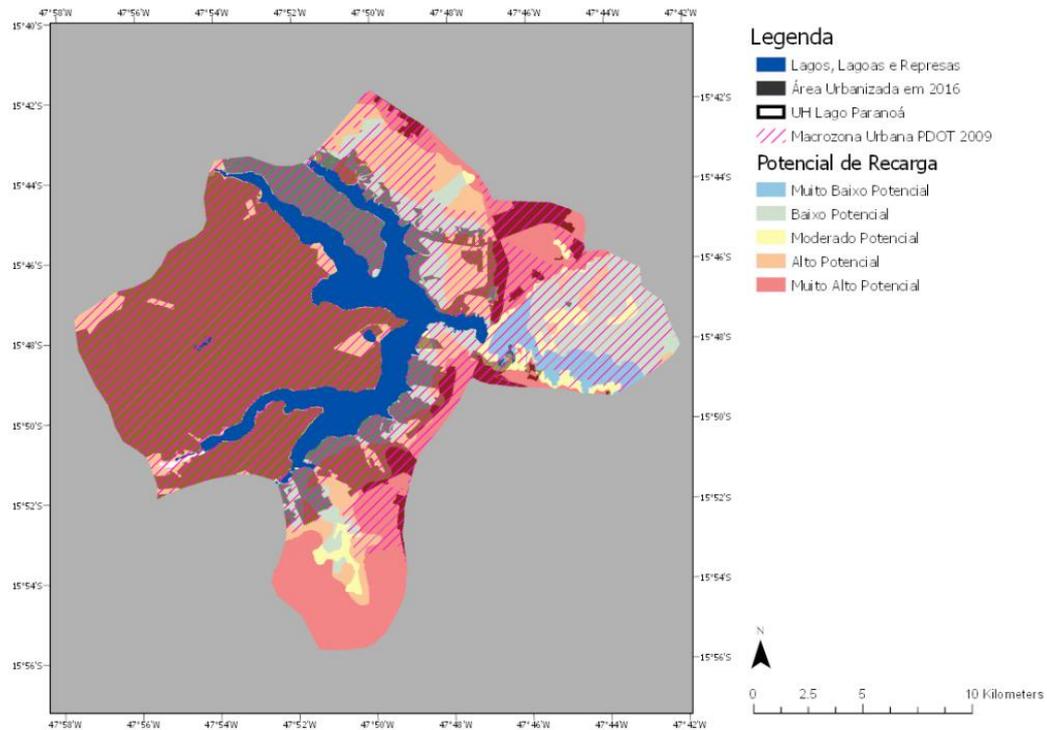


Figura 3.21: Potenciais de Recarga nas áreas urbanizadas da Unidade Hidrográfica do Paranoá, no Distrito Federal. (Seraphim, 2018).

Bach *et al.* (2015) revisitou a classificação do uso e ocupação do solo urbano para a cidade de Melbourne na Austrália, propondo uma classificação centralizada na gestão de águas urbanas. A classificação do uso do solo, centralizada na gestão de águas urbanas, segundo o autor, segue as seguintes premissas: (i) apresentar dados demográficos (por exemplo, utilização do solo, densidade populacional), planejamento (por exemplo, zoneamento, rotas de transporte) e biofísica (por exemplo, vegetação, recursos hídricos, topografia); (ii) permitir a representação fiel dos componentes do ciclo urbano da água; (iii) apresentar independência da escala de aplicação - a classificação deve funcionar para diferentes magnitudes espaciais dos limites do sistema, de sub-regiões de uma cidade para toda a metrópole; e (iv) mostrar o potencial de desenvolvimento da cidade e flexibilidade, com constante mudanças ao longo do tempo e um número mínimo de categorias em que mapas existentes podem ser eficientemente reclassificados. O resultado da classificação foi

satisfatório para aplicação das formas urbanas em modelos de gestão de águas urbanas e pode ser executada em outras cidades com bastante acurácia.

O estudo de Kuller *et al.* (2017,2018) na Austrália, baseou-se nas características da forma urbana para implementação de estudos de cidades sensíveis à água. As duas perguntas-chaves a serem respondidas eram: (i) “O local precisa de uma WSUD?”; ou, (ii) “A WSUD precisa de um local?”. Dessa forma, o uso da WSUD poderia enquadrar-se em três níveis de planejamento urbano diferentes: (i) a WSUD como parte do ciclo urbano da água; (ii) a WSUD como integrante da morfologia urbana; (iii) a WSUD como instrumento corretivo e de manejo do uso da água. Para tornar as técnicas de WSUD mais efetivas é necessária sua incorporação desde a concepção do espaço urbano pois, conforme estudos do autor, a efetividade da WSUD está diretamente ligada a fatores da forma urbana e distribuição do espaço e paisagem.

Jia *et al.* (2019) exploraram o efeito de formas urbanas nos sistemas de drenagem em uma perspectiva de cidade “virtual”. Observando diversas cidades chinesas, constatou-se a existência de três tipos principais de morfologia urbana: a “estrela”, o “quadrado” e a “faixa”. Cada cidade virtual foi composta por 400 blocos semelhantes de 300 m x 300 m e largura das vias de ligação, também semelhantes, com 10 metros. A Figura 3.22 mostra as cidades virtuais geradas pelo autor, e o traçado da rede de drenagem para a morfologia do “quadrado”. Observa-se que cada célula é composta por duas áreas, a ‘Core DU’ que se trata da área de contribuição da quadra, com coeficientes de *runoff* variando de 0,20 a 0,70, e a área de contribuição das vias de ligação com coeficiente de 0,9 com exutórios nos poços de visita mais próximos.

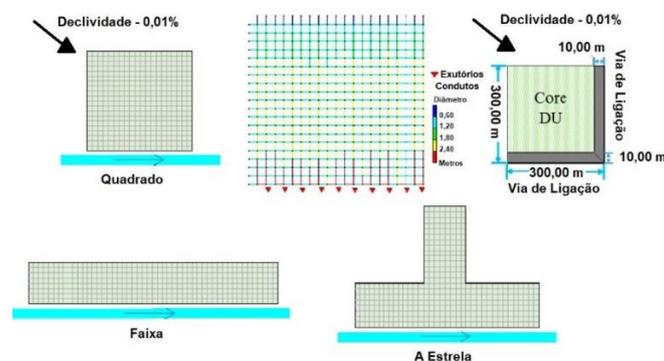


Figura 3.22: Morfologias Urbanas de Estudo em planta, Rede de drenagem para a morfologia quadrada e Unidade de Drenagem (Jia et. al, 2019).

Para modelagem dos sistemas de drenagem, Jia *et al.* (2019) utilizaram o modelo SWMM, dimensionando os condutos pela propagação da onda de cheia dinâmica e simulando a infiltração pelo método de Horton. Três critérios de avaliação da performance dos sistemas de drenagem foram adotados: o critério econômico de custo de instalação, a efetividade hidráulica do sistema e a adaptabilidade para ocupações futuras. O resultado da avaliação das três morfologias para os critérios citados está ilustrado na Figura 3.23.

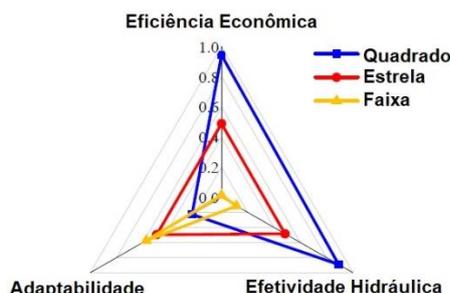


Figura 3.23: Resultados obtidos para os critérios de análise da rede de drenagem urbana (Jia *et al.*, 2019).

É possível notar que os resultados dos critérios adotados diferiram para as três formas urbanas, sendo a quadrada apresentando os maiores valores de efetividade hidráulica e eficiência e econômica, e a morfologia de faixa apresentando o maior valor de adaptabilidade. A morfologia de estrela apresentou resultados intermediários entre as morfologias estudadas. Nesse estudo não foi possível identificar uma morfologia que fosse ótima nos três critérios analisados.

Com os diversos estudos apresentados, pode-se observar que as análises realizadas utilizando a metodologia de análise dentro de padrões de ocupação urbana tem se mostrado promissoras, oferecendo dados importantes nos diversos aspectos necessários para a gestão territorial e de recursos hídricos, avaliação de riscos e impactos ambientais.

3.8 SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS EM ÁREAS URBANAS

Os serviços ecossistêmicos (SE) são os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, que, em geral, são complexos em estrutura, funções e variáveis em tamanho, dinâmica e tempo (MEA, 2005).

Segundo Castro (2017) e MEA (2005) os serviços podem ser classificados em quatro tipos:

I-) Serviços de Provisão: bens ou produtos obtidos dos ecossistemas, ex. água, suprimentos.

II-) Serviços de Regulação: Benefícios obtidos a partir do controle dos processos naturais, ex. clima e ciclo hidrológico.

III-) Serviços Culturais: Benefícios não materiais obtidos dos ecossistemas, ex. amenidades, bem-estar e recreação.

IV-) Serviços de Suporte: Processos naturais que mantêm os demais serviços ecossistêmicos, ex. produção primária, intemperismo.

Os serviços ecossistêmicos estão diretamente associados à morfologia urbana, uma vez que esta descreve a relação entre os vários constituintes do tecido das cidades, desde aspectos visuais a aspectos estruturais. Para avaliação dos serviços é necessário definir os limites e escala da morfologia estudada. (Heineberg, 2007; Haase & Rall, 2014; Heiden *et al.*, 2012).

Os trabalhos desenvolvidos mundialmente em vários países têm focado, substancialmente, na avaliação de serviços ecossistêmicos prestados por áreas naturais inseridas dentro do espaço urbano como, por exemplo, parques e áreas de preservação de maneira genérica (Castro, 2017). Os estudos de serviços ecossistêmicos de regulação e provisão são alvo da maior parte dos estudos. Nota-se também o pouco envolvimento de gestores territoriais nas pesquisas de serviços ecossistêmicos de áreas urbanas (Luederitz *et. al*, 2015)

Os ecossistemas urbanos se comportam de maneira bastante complexa e não uniforme. A análise de serviços ecossistêmicos vem se desenvolvendo ao longo do tempo, porém ainda com muita discussão sobre a interpretação e quantificação das métricas utilizadas para medir a provisão e prestação dos serviços. As métricas utilizadas para análise dos SE nas áreas urbanas têm se baseado nas características das áreas urbanas de maneira generalizada como, por exemplo, quantificação das áreas permeáveis ou impermeáveis, uso do solo e vegetação. Para um estudo mais acurado, seria necessário a utilização de parâmetros mais específicos como, por exemplo, o arranjo do tecido urbano e suas conexões (Grafius *et al.*, 2018).

Quanto aos potenciais desserviços prestados pelas áreas urbanas podem ser citados: aumento do escoamento superficial, deterioração da qualidade da água, poluição do ar e sonora, custo de manutenção de áreas verdes e geração de resíduos (Döhren & Haase, 2015).

A pesquisa de Castro (2017) propôs um índice de potencial de prestação de serviços ecossistêmicos, identificando e estimando os principais serviços com relação direta e indireta com a água na área urbana do DF, utilizando as USTs como suporte à análise. Foram selecionados oito serviços considerando sua relevância para a manutenção dos recursos hídricos, quantificados a partir de indicadores estabelecidos na literatura ou extraído do conhecimento de pesquisadores da área. Foram analisados os serviços de provisão, regulação e cultural. Os serviços de suporte não foram analisados devido à sobreposição de serviços que poderia ser gerada (Castro, 2017 & Dobs *et al.*, 2014).

Os serviços ecossistêmicos selecionados para análise, métricas utilizadas para quantificá-los e referências utilizadas estão descritos na Tabela 3.7.

Tabela 3.7: Métricas dos Serviços Ecossistêmicos, Fonte: Castro, 2017.

Função	Serviço	Descrição	Indicador	Métrica	Fonte Referência
Provisão	Potencial de Recarga de Aquíferos	Taxa máxima de água disponível para a recarga do aquífero subterrâneo	Taxa de recarga	%	Gonçaves et al., 2009; Grêt-Regamey et al., 2016
	Disponibilidade Hídrica Subterrânea	Volume total de armazenamento hídrico subterrâneo	Média da Vazão Total	m ³ /s	Gonçaves et al., 2009; Jia et al., 2015; Grêt-Regamey et al., 2016
	Qualidade da água Subterrânea	Indicador de qualidade da água bruta	Classes de Enquadramento de Aquíferos	0 a 1	Castenheira, 2016
	Qualidade da água Superficial		IQA	0 a 1	CAESB, 2011; Boyko et al., 2012; Koschke et al., 2014
Regulação	Potencial de Erosão	Estimativa da perda de solo por erosão hídrica	Estimativa da taxa de erosão	Ton/ha/ano	Wischmeier e Smith, 1978; Haase et al., 2014; Koschke et al., 2014

Tabela 3.7: Métricas dos Serviços Ecosistêmicos, Fonte: Castro, 2017, Continuação.

Função	Serviço	Descrição	Indicador	Métrica	Fonte Referência
Regulação	Potencial de Risco ao Alagamento	Suscetibilidade de ocorrência de alagamentos	Suscetibilidade ao alagamento	-	Eigenbrod et al., 2011; Rodriguez et al., 2015; Neto et al., 2017
	Escoamento Superficial	Taxa de escoamento superficial	Taxa de escoamento superficial	%	SCS, 1972; Dobbs et al., 2014; Koschke et al., 2014; Derkzen et al., 2015; Jia et al., 2015
Cultural	Área Verde Recreação	Taxa de área verde	Relação entre a área verde e a área total	%	Haase et al., 2012; Larondelle e Haase 2013; Dobbs et al., 2014; Haase et al., 2014; Derkzen et al., 2015; Rodriguez et al., 2015; Grêt-Regamey et al., 2016; Kain et al., 2016

Todos os indicadores propostos foram normalizados para valores numa escala de 0 (menor prestação) a 1 (excelente prestação), para que pudessem ser comparados posteriormente. A integração dos serviços ecosistêmicos para a obtenção do índice de potencial de serviços ecosistêmicos urbanos (IPSEU) foi realizada por meio do somatório igualmente ponderado dos indicadores de PSEU. Segundo Dobbs *et al.* (2014), quando não se possui informações sobre qual serviço ecosistêmico é mais importante em relação a outro, convém ponderá-los igualmente para análise do potencial de prestação.

Os mapas dos potenciais de prestação de serviços ecosistêmicos por serviço da área urbana do DF estão ilustrados na Figura 3.24. No total, foram analisados oito serviços dos quais quatro são de provisão, três estão relacionados a regulação e um ao aspecto cultural da água.

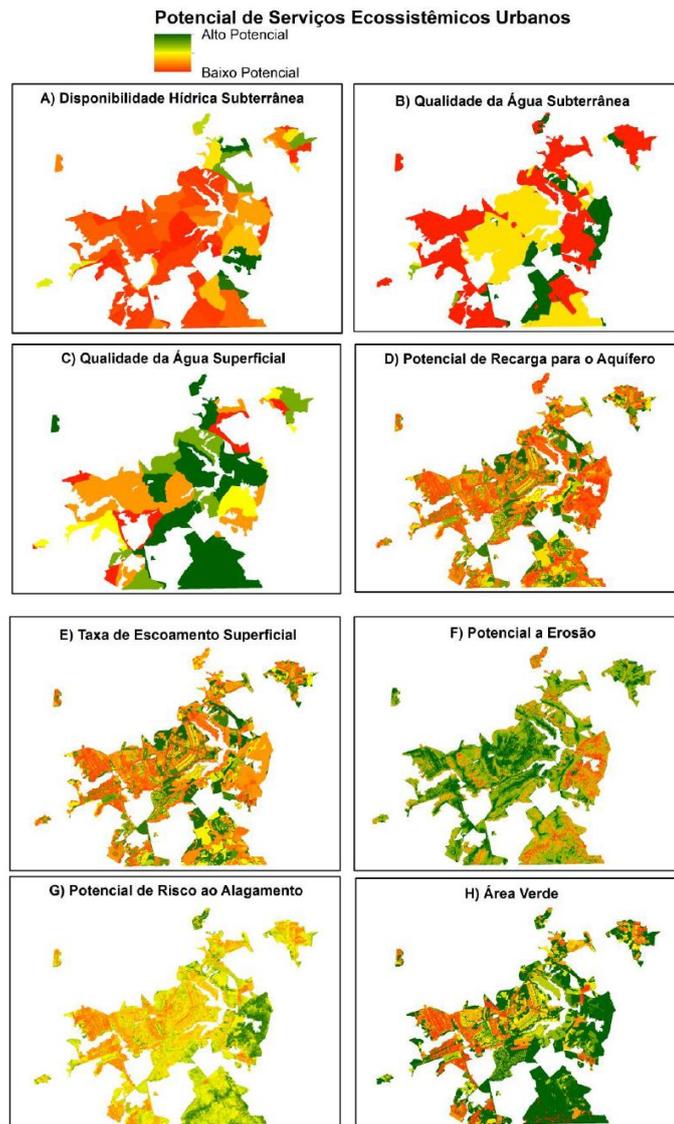


Figura 3.24: Indicadores do potencial de prestação de serviços ecossistêmicos urbanos. A) Disponibilidade hídrica subterrânea; B) Qualidade da água subterrânea; C) Qualidade da água superficial; D) Potencial de recarga para o aquífero; E) Taxa de escoamento superficial; F) Potencial de erosão; G) Potencial risco ao alagamento e; H) Área Verde, (Castro, 2017).

A integração dos serviços ecossistêmicos estudados por Castro (2017), foi realizada a partir de um somatório igualmente ponderado de todos os serviços, gerando como resultado o mapa ilustrado na Figura 3.27 e o gráfico de índice de prestação de serviços ecossistêmicos urbanos por UST na Figura 3.26.

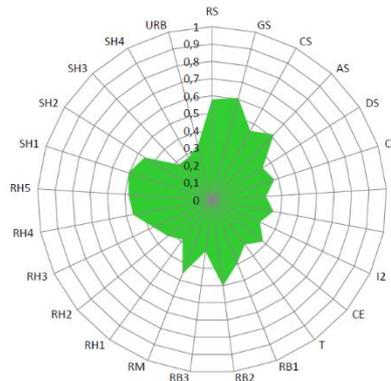


Figura 3.25: Gráfico com os valores médios do IPSEU por UST para o DF, (Castro, 2017).

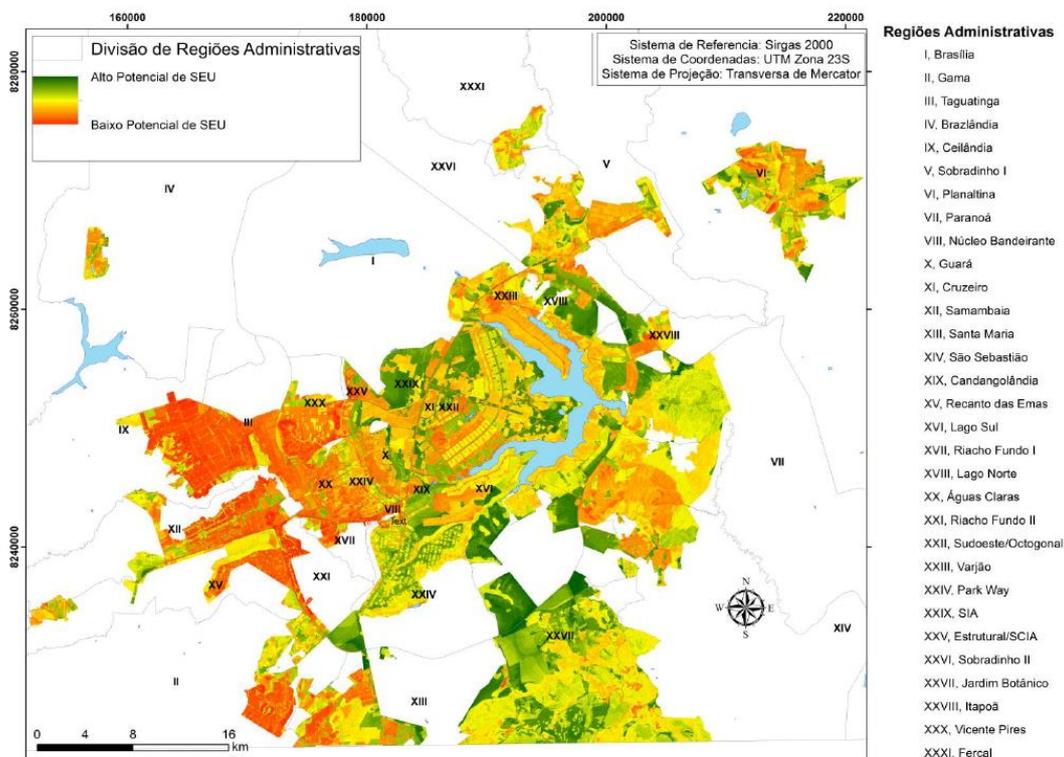


Figura 3.26: Distribuição espacial do Índice do Potencial de Prestação de Serviços Ecosistêmicos Urbanos do DF, (Castro, 2017).

Os potenciais de prestação de serviços ecossistêmicos urbanos foram ponderados com pesos iguais tendo como objetivo gerar um índice que apontasse o grau de prestação dos serviços ecossistêmicos urbanos. Os valores dos SE foram integrados e normalizados de 0 a 1 de modo que, quanto mais próximo de 1, maior é o potencial de prestação do serviço.

Na área urbana do DF, os valores dos SE variaram de 0,08 a 0,9, e as USTs que apresentaram o melhor potencial são as que possuem poucos espaços impermeabilizados e grande presença

de áreas verdes como, por exemplo, nas regiões administrativas de Brasília, Lago Sul e Jardim Botânico. As USTs que apresentaram menor potencial de prestação de serviços ecossistêmicos se concentram na porção oeste do DF, como mostrado na Figura 3.26.

Uma das críticas à avaliação dos serviços realizada por Castro (2017), é a utilização do método SCS para avaliação do escoamento superficial com dados de chuva obtidas de séries históricas, utilizando a precipitação média anual como base para cálculo do escoamento, o que pode acarretar em erros de representação na escala temporal de geração de escoamento superficial. Um ponto chave de discussão sobre esse tópico seria a escolha de chuvas mais representativas na análise de prestação desses serviços. Dois questionamentos podem ser levantados: (i) “Seria melhor o uso de uma simulação por eventos utilizando a equação IDF?” ou (ii) “A utilização de séries contínuas de dados históricos médios e simulação de base contínua?”.

O SE referente a alagamentos foi bastante semelhante para as quatro USTs consideradas, com o valor entorno de 0,40. Os dados utilizados para análise do alagamento foram elementos calculados a partir do relevo da região onde a UST está instalada, com o cruzamento com o mapa de fluxo acumulado. O mapa de fluxo acumulado no GIS identifica onde a água acumula-se em uma certa bacia de drenagem e, geralmente, pode identificar talvegues e canais naturais de drenagem. O estudo desse serviço ecossistêmico poderia ser aprimorado cruzando-se com estudos de rede de drenagem locais, verificando onde pode haver redes sobrecarregadas ou com uma manutenção deficiente que pode também contribuir para ocorrência de alagamentos nas áreas urbanas.

O serviço de potencial de erosão teve valores bastante elevados para as USTs RM, RB1 e RB2, próximos a 1. A UST RH5 por sua vez apresentou um valor próximo a 0,70. Considerando que nas áreas urbanas o solo se encontra consolidado pela compactação ao longo do tempo e compactação mecanizada realizada na construção de novas edificações, a análise da erosão de áreas urbanas utilizando a USLE, desenvolvida para áreas rurais, pode ser deficiente e não representativa.

A avaliação da qualidade da água em áreas urbanas através do IQA pode não ser recomendada, devido ao fato de que esses índices são desenvolvidos para particularidades específicas, sendo necessário ajustá-lo e, em geral, os IQAs são índices pouco restritivos (Carvalho, 2014).

O fenômeno que mais tem interferência na qualidade das águas urbanas é o *First Flush*, que é definido como o fenômeno de transporte das cargas de poluentes acumuladas na superfície pelos primeiros milímetros de chuva escoados. A caracterização desse fenômeno é fundamental para dimensionamento de intervenções para tratamento da poluição difusa carregada pelas águas pluviais, como por exemplo as bacias de retenção, LIDs e BMPs (Costa *et al.*, 2018). O estudo da USEPA (1983), destaca que o tratamento do escoamento superficial das primeiras parcelas de chuva reduz em até 80% dos poluentes que, em sua maior parte, são sólidos suspensos. Na bibliografia, há divergências sobre a porcentagem de poluentes que esta primeira parcela da chuva pode transportar. Yazaki *et al.* (2012) e Artina (1997) afirmam que os primeiros 5 a 10 mm de chuva que atingem a superfície, transportam 50% dos poluentes, enquanto Porto e Tucci (1995) estimaram que os primeiros 20 mm de chuva podem carrear até 90% dos poluentes.

No PDDU (Concremat, 2008) verificou-se que em 95% dos eventos, as lâminas de precipitação são iguais ou inferiores a 22,5 mm no Distrito Federal e por esse motivo esse valor de precipitação foi escolhido para dimensionamento de reservatórios de qualidade da água.

Quanto ao serviço de recarga de aquíferos, Castro (2017) destaca que grande parte da população que é atendida por poços perfurados, localiza-se em áreas onde a disponibilidade hídrica subterrânea e o potencial de recarga é baixo, segundo a avaliação da prestação dos serviços e mapa de perdas de áreas de recarga do ZEE.

Para Eigenbrod *et al.* (2011), em relação ao crescimento da área urbana, o melhor padrão de ocupação a ser implementado dependerá do SE considerado, destacando o desafio de prever e gerenciar, de forma sustentável, os serviços ecossistêmicos sob o crescimento da malha urbana. Todos os SE analisados possuem uma relação direta ou indireta com os recursos hídricos, geomorfologia e tipo de solo, e esses serviços atuam na manutenção do ciclo hidrológico, possibilitando a continuidade da disponibilidade hídrica (Castro, 2017).

4. METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa consiste na avaliação quantitativa dos impactos no manejo das águas pluviais dos padrões de uso e ocupação do solo urbano no Distrito Federal, utilizando as *Urban Structure Types* mapeadas por Castro (2017), e os loteamentos desenvolvidos utilizando como base os projetos originais das quadras do Plano Piloto, disponibilizados pelo Sistema de Documentação Urbanística e Cartográfica (SISDUC – SEDUH), e vetorização a partir de imagens de ortomosaico.

O estudo foi realizado utilizando modelagem computacional, com o modelo PCSWMM, sendo concebidos o traçado e dimensionamento da rede de drenagem, variação dos tipos de solo, uso e ocupação, vegetação e relevo para observar seus efeitos em cada padrão de ocupação urbana nas redes de drenagem, além de avaliar o uso de medidas compensatórias para amortecimento da vazão de pico e restauração de serviços ecossistêmicos.

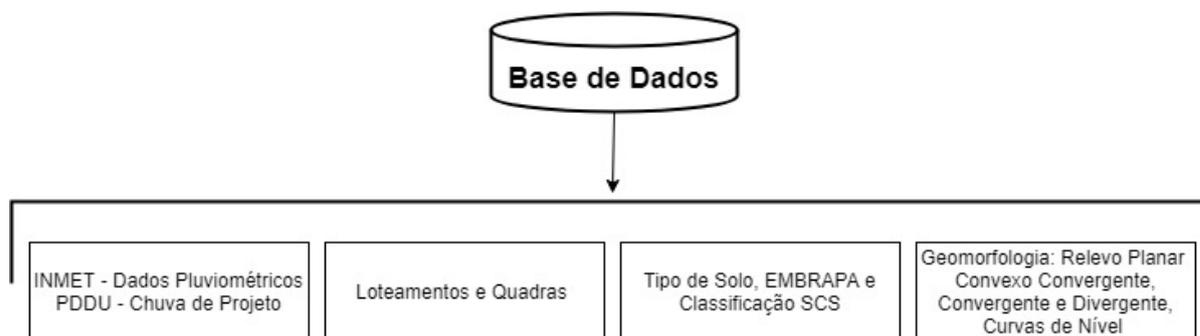


Figura 4.1: Fluxograma da Base de Dados.

Obtiveram-se primeiramente os dados pluviométricos monitorados pela estação do INMET, os quais foram preparados para realizações de simulações contínuas na modelagem. Para simulação de eventos, a chuva de projeto com período de retorno de 10 anos foi obtida através da equação IDF do PDDU, e discretizada em blocos alternados com intervalos de 5 min.

Os dados de uso e ocupação foram obtidos por meio da montagem das USTs e da concepção urbanística dos loteamentos, através do desenho das quadras com auxílio do CAD, e mapeamento do uso e ocupação com o GIS.

Relacionando-se os tipos de solos constantes na base de dados da EMBRAPA com os tipos de solo da SCS, utilizaram-se dois tipos predominantes de solo do DF (Latosolo – A e Cambissolo – B), que ocupam uma área superior a 80% do território, para entrada no modelo SWMM.

As geomorfologias escolhidas buscaram representar dois casos críticos de topografia, em áreas de novos loteamentos (Jardim Botânico e São Sebastião), e área com problemas críticos de drenagem recorrentes (Vicente Pires). A topografia determinou o traçado da rede e direcionamento das águas no terreno e procurou-se as melhores alternativas de traçado e dimensionamento do ponto de vista econômico e locação das medidas compensatórias de maneira mais eficiente para cada simulação.

O fluxograma metodológico seguido é mostrado na Figura 4.2, e a Árvore de casos geradas nas Figura 4.3 a 4.6.

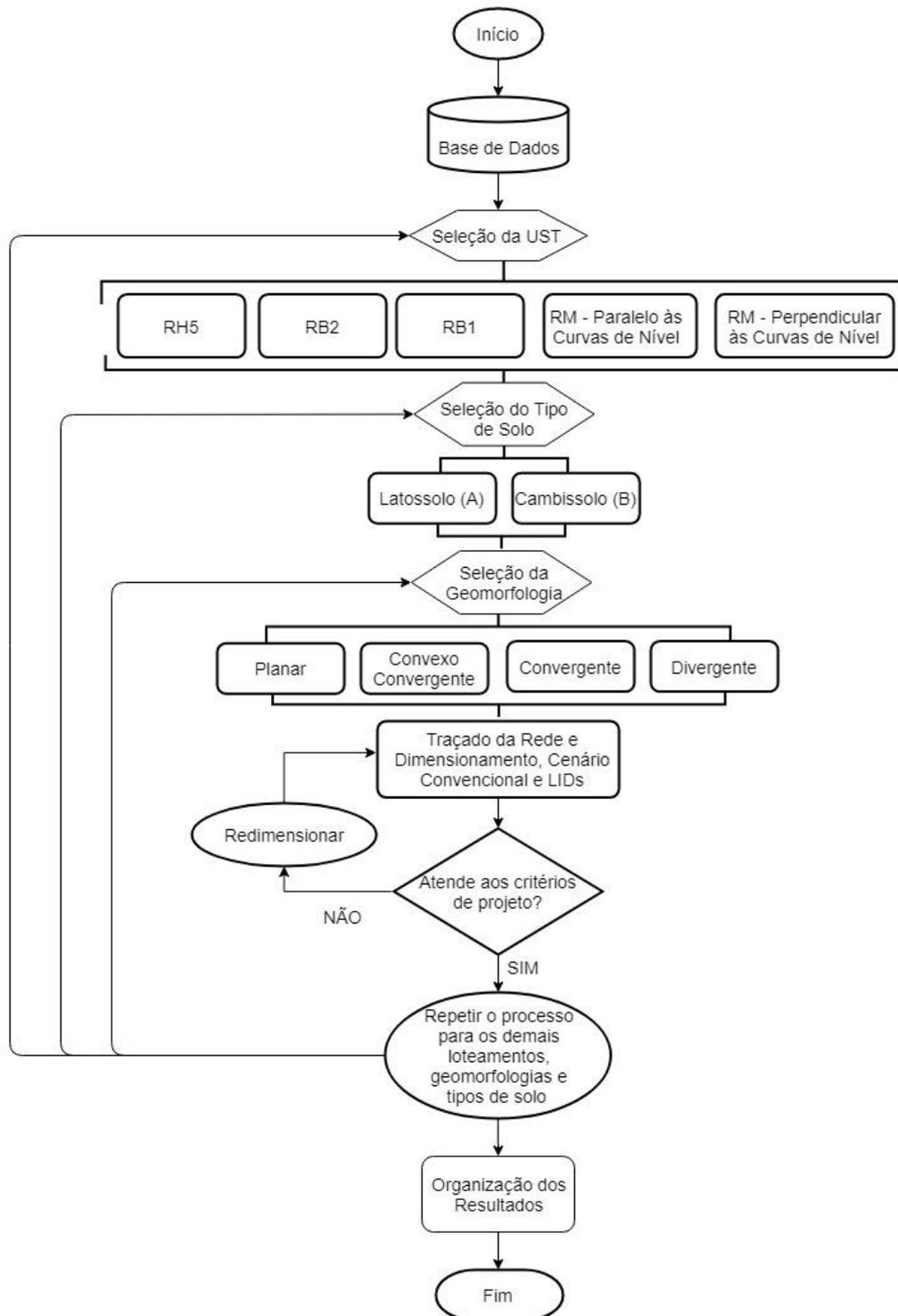


Figura 4.2: Fluxograma Metodológico.

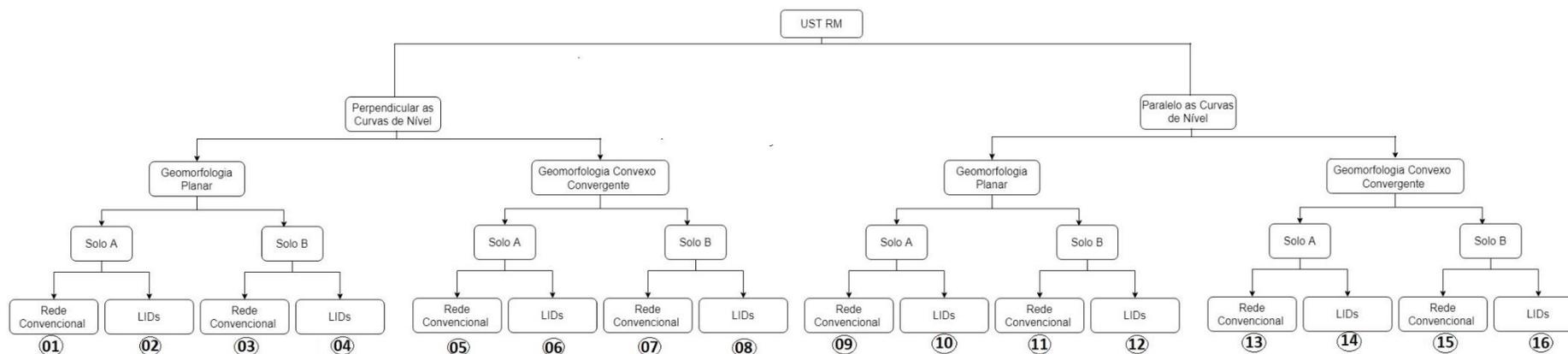


Figura 4.3: Árvore de Casos para a UST RM.

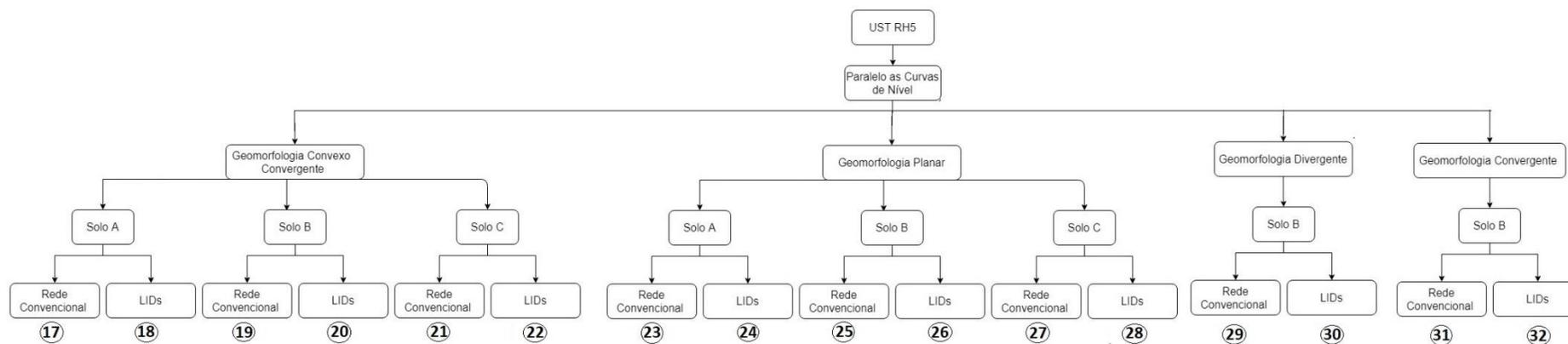


Figura 4.4: Árvore de Casos para a UST RH5.

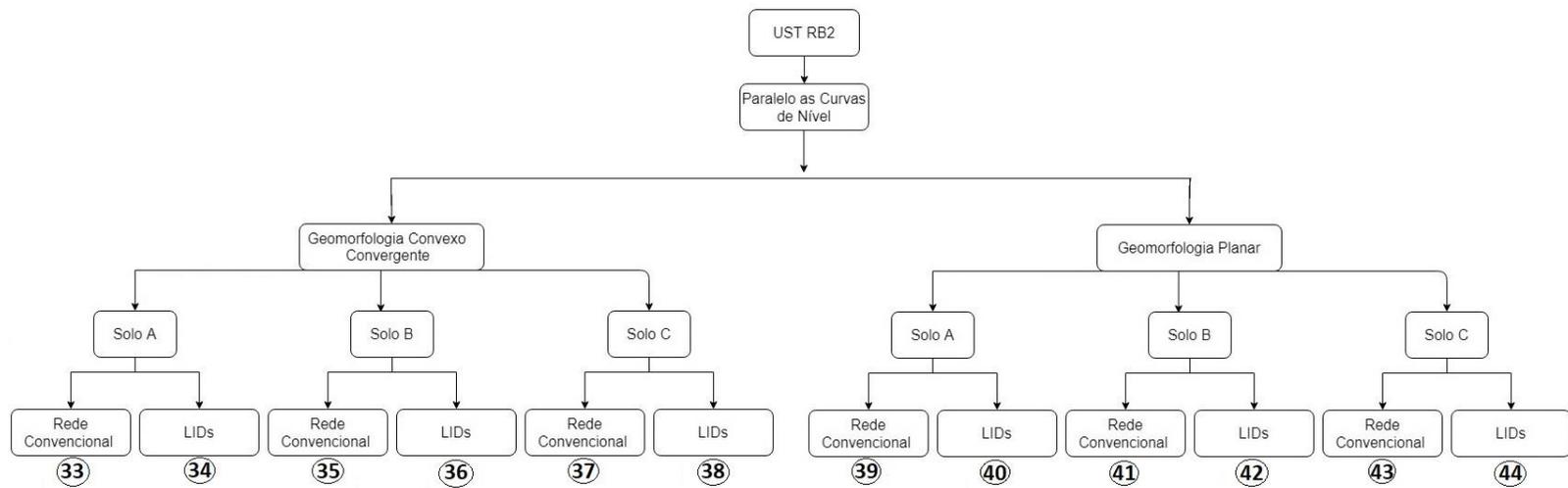


Figura 4.5: Árvore de Casos para a UST RB2.

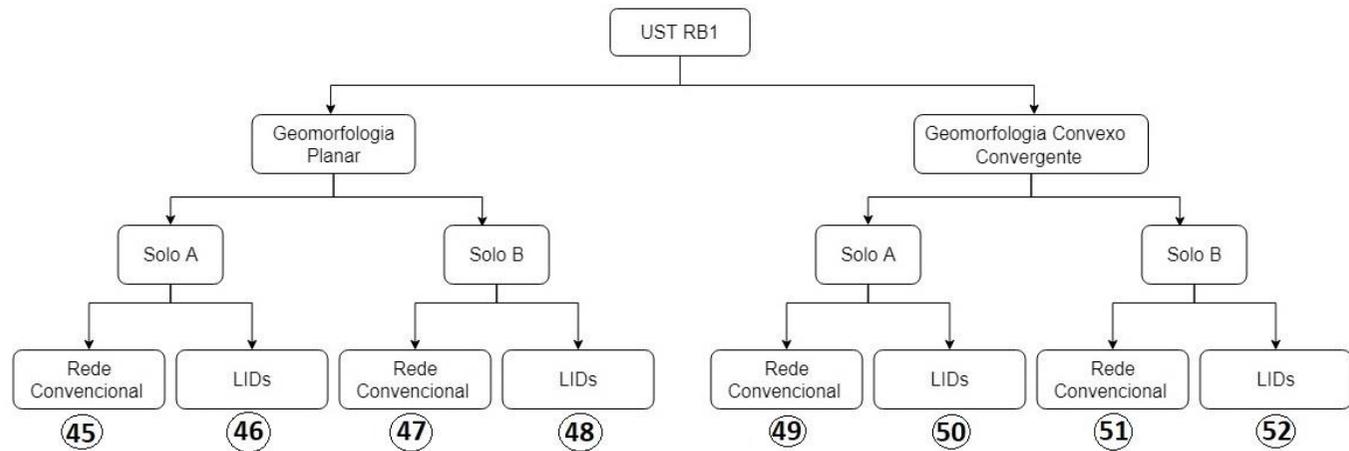


Figura 4.6: Árvore de Casos para a UST RB1.

As normas de projeto estabelecidas no Plano Diretor de Drenagem Urbana – PDDU, (ADASA, 2018), Lei da permeabilidade (GDF, 2017b), Termo de Referência da NOVACAP (NOVACAP, 2019) e demais instrumentos políticos e normativos foram aplicados para o dimensionamento da rede de drenagem.

Após o traçado e determinação do escoamento e infiltração pelo método CN, e evapotranspiração através das medições do tanque classe A, as simulações hidráulicas foram realizadas pelas equações completas de Saint Venant da onda dinâmica, dentro do modelo PCSWMM, simulando a rede convencional e o uso de técnicas compensatórias, utilizando a simulação de um evento com tempo de retorno de 10 anos, e uma simulação de base contínua de um ano, para verificar os melhores cenários para cada padrão de ocupação urbana, em redução de escoamento e recarga das águas subterrâneas.

O detalhamento dos procedimentos metodológicos foi realizado nos itens subsequentes, primeiramente iniciando com a caracterização da área de estudo, parâmetros de projeto das redes de drenagem e LIDs, proposta urbanística dos loteamentos e quadras, serviços ecossistêmicos quantificados e métricas utilizadas, descrição do cenário de modelagem apresentando a matriz resultante e, por fim, quantificação dos custos envolvidos nas obras de drenagem urbana.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

4.1.1. Distrito Federal

O Distrito Federal, localizado no Centro-Oeste Brasileiro, possui área territorial de 5779,997 km², população estimada de 2.974.703 habitantes e densidade populacional de 444,60 hab/km² (IBGE,2017), mostrado na Figura 4.7.

O DF está localizado na cabeceira de três importantes bacias hidrográficas, a do Tocantins/Araguaia, São Francisco e Paraná. Sua disponibilidade hídrica é mais restrita, por este motivo a preservação dos recursos hídricos é de extrema importância. Neste aspecto, os sistemas de drenagem urbana devem ser projetados de maneira a reduzir as enchentes, preservar a qualidade da água e calhas dos corpos receptores, (ADASA, 2018).

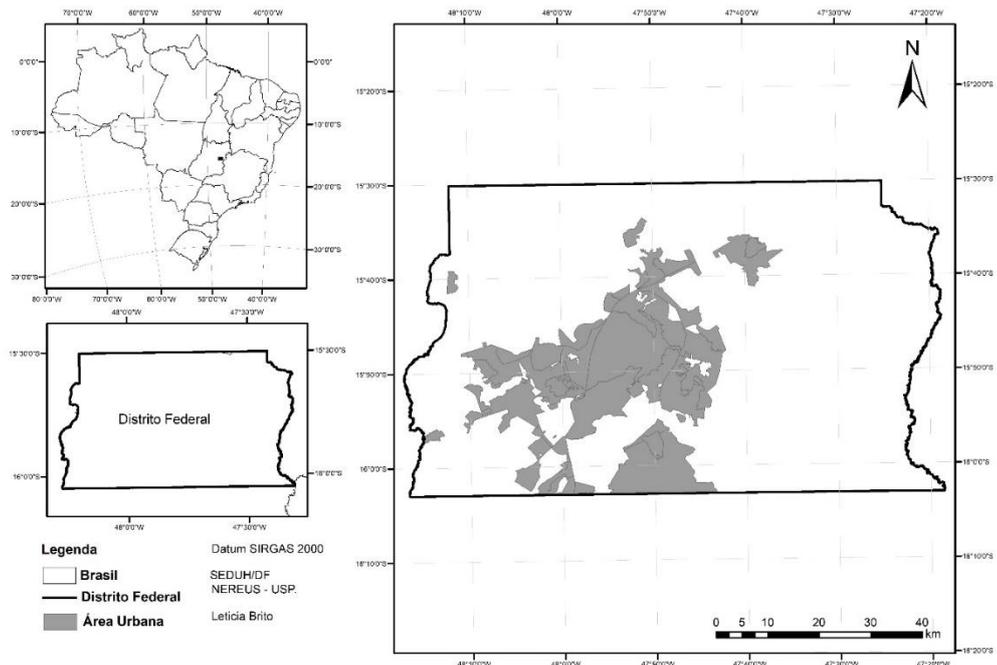


Figura 4.7: Localização do DF e áreas de estudo.

A localização das USTs escolhidas para as análises está representada na Figura 4.8, bem como uma apresentação do arranjo de cada uma delas.

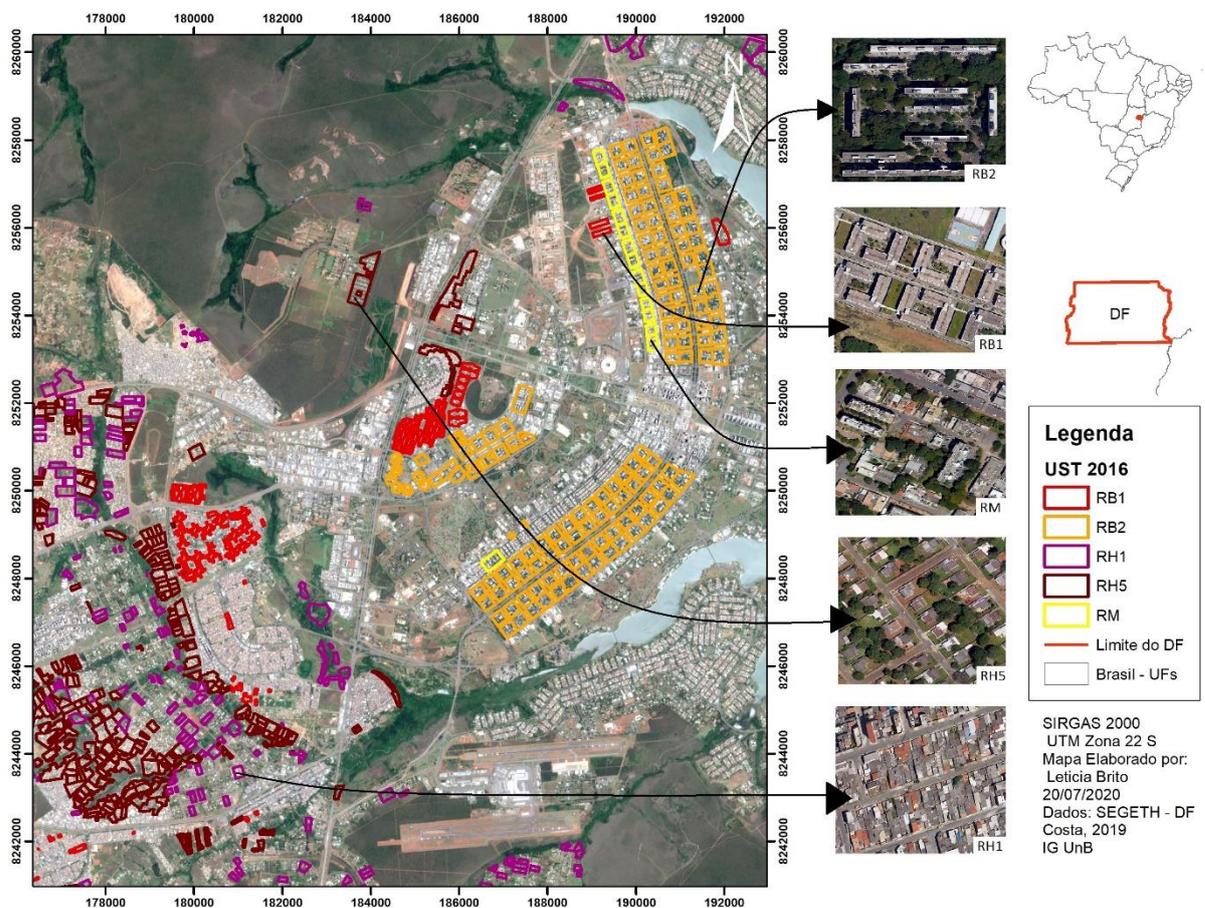


Figura 4.8: Localização do DF e áreas de estudo.

4.1.2 Tipos de Solos

As principais classes de solos e suas porcentagens em relação a área do território encontrados no Distrito Federal estão descritos na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Tipos de Solos do Distrito Federal, (Reatto et al., 2004; EMBRAPA,1978).

Tipo de Solo, Classificação Brasileira	Porcentagem em Relação a área do DF
Latossolos	54,5%
Cambissolos	30,98%
Gleissolos e Espodossolos	3,98%
Argissolos	2,89%
Nitossolos	1,36%
Neossolos Quartzênicos	0,5%
Plintossolos	0,4%
Neossolos Flúvicos	0,18%
Chernossolos	0,08%

Os principais solos brasileiros com ocorrência no DF foram estudados por Sartori *et al.* (2005) e sua correspondência com os tipos de solo de classificação da USGS para obtenção dos valores de CN foram estabelecidas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Tipos de solo, e enquadramento de acordo com os grupos hidrológicos de solo propostos pelo SCS. (Sartori et al., 2005).

Enquadramento	Tipos de Solo
Grupo A	Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho, com textura argilosa, Latossolo Vermelho-Amarelo com textura média e horizonte superficial não arenoso.
Grupo B	Latossolo Vermelho-Amarelo com textura média e horizonte superficial arenoso, Neossolo Quartzarênico, Argissolos Vermelho ou Vermelho e Amarelo de texturas diversas.
Grupo C	Argissolo de diversas texturas, Cambissolos de textura média, Cambissolo Háptico ou Húmico com características latossólicas, Espodossolos e Neossolos Flúvicos.
Grupo D	Gleissolos, Chernossolos, Argissolos com mudança estrutural abrupta, Cambissolos que não se enquadrem no Grupo C, Plintossolos distróficos.

Os parâmetros de condutividade hidráulica dos solos constantes no DF foram estudados por Lima *et al.* (2013) e Fiori *et al.* (2010). O estudo de Fiori *et al.* (2010) consistiu na amostragem indeformada de solos, em profundidades de 50 a 200 cm para determinação da condutividade hidráulica pelo método *Open end Hole*, e da condutividade hidráulica da zona

não saturada do solo, fundamental para avaliação das condições de infiltração e eficiência na recarga de aquíferos. A classificação da condutividade hidráulica dos solos foi realizada em superfície para camadas até 50 cm, e em profundidade de 50 a 200 cm. A pesquisa de Lima *et al.* (2013) consistiu no desenvolvimento de uma base de dados de solos para aplicação em modelagem em uma bacia do bioma Cerrado, sem a influência de outros biomas. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de profundidades de 15 a 60 cm para ensaios de condutividade hidráulica saturada, granulometria, densidade aparente e determinação do teor de matéria orgânica dos solos. Os valores médios dos parâmetros obtidos estão descritos na Tabela 4.3, onde o parâmetro 01 trata-se da condutividade hidráulica não saturada em superfície (até 50 cm); o parâmetro 02 a condutividade hidráulica não saturada em profundidade (50 a 200 cm); parâmetro 03 a condutividade hidráulica saturada em superfície (até 30 cm); e o parâmetro 04 a condutividade hidráulica saturada em profundidade (30 a 100 cm).

Tabela 4.3: Valores médios dos parâmetros de Condutividade Hidráulica saturada e não saturada, por tipo de solo do DF. (Lima et al. (2013) & Fiori et al. (2010)).

Tipo de solo	Parâmetro 01 (m/s)	Parâmetro 02 (m/s)	Parâmetro 03 (m/s)	Parâmetro 04 (m/s)
Latossolo Vermelho	10^{-6}	10^{-6}	$1,70 \cdot 10^{-4}$	$1,28 \cdot 10^{-4}$
Latossolo Vermelho Amarelo	10^{-6}	10^{-6}	$3,09 \cdot 10^{-4}$	$1,11 \cdot 10^{-4}$
Latossolo Amarelo	-	-	$7,23 \cdot 10^{-4}$	$1,40 \cdot 10^{-4}$
Neossolo Quartzarênico	10^{-5}	10^{-6}	$7,81 \cdot 10^{-5}$	$2,86 \cdot 10^{-5}$
Cambissolo	10^{-6}	10^{-7}	$2,43 \cdot 10^{-4}$	$7,29 \cdot 10^{-5}$
Gleissolo	10^{-6}	10^{-7}	$1,37 \cdot 10^{-4}$	$1,37 \cdot 10^{-4}$
Plintossolo	10^{-6}	10^{-7}	$1,54 \cdot 10^{-4}$	$1,54 \cdot 10^{-4}$

Nota: '-' valor não informado.

Por porcentagem de representatividade do território, os tipos de solos escolhidos para desenvolvimento da modelagem foram os solos A e B, representando, por sua vez, os solos do tipo Latossolos, que são muito permeáveis, e o Cambissolo, um solo pouco permeável.

4.1.3 Vegetação

O DF está localizado em sua totalidade dentro do bioma Cerrado que possui ecologia e fisionomia de savanas da América, similar a outros continentes como por exemplo a África, parte da Oceania e Ásia. A Fitoecologia caracteriza-se por Savanas Parque, Savanas Gramíneo – Lenhosa, Áreas de Influência Urbana e Agricultura (MMA, 2006).

Para efeito desse estudo, foram utilizados apenas os tipos de vegetação gramado, mata de galeria, campo limpo com espécies arbustivas e herbáceas e algumas árvores, áreas vegetadas com altura média do estrato arbóreo entre 10 e 30 m apresentando superposição da copa das árvores, áreas alagáveis com vegetação gramínea que sofre influência de inundações periódicas e solo exposto com retirada da cobertura vegetal, conforme nos estudos realizados por Costa (2013) com vegetação típica do cerrado, Silva (2016) e Ponciano (2016) adaptado do estudo de Ferrigo (2014).

4.1.4 Clima e Hidrologia

O clima do Distrito Federal é caracterizado por uma sazonalidade com dois períodos distintos, seco de maio a setembro com baixas taxas de precipitação, baixa nebulosidade, alta taxa de evaporação e baixas umidades relativas do ar, e o período chuvoso entre outubro e abril. A classificação Köppen para o Distrito Federal é Tropical de Savana, porém a sensação térmica da população depende da temperatura, umidade relativa, ventilação e radiação solar. No DF, tem-se uma variação do clima de acordo com a altitude. O clima Tropical observado na altimetria de 1.000 m, tem a temperatura média do mês mais frio em torno de 18°C. Por sua vez o Tropical de Altitude I tem uma variação de menos de 18°C e superior a 22°C nas cotas 1.000 a 1.200 m. Por fim, o Tropical de Altitude II tem variação do mês mais frio com temperatura inferior a 18°C e o mês mais quente inferior a 22°C nas cotas acima de 1.200 m (Cardoso *et al.*, 2014; Campos, 2004; Fonseca *et al.*, 2001).

A precipitação média anual varia entre 1200 a 1700 mm, na qual a estação chuvosa representa 84% do total anual, com o trimestre mais chuvoso de Novembro a Janeiro, e o mês mais chuvoso é Dezembro. O período seco vai de Maio a Setembro, sendo o trimestre mais seco nos meses de Junho a Agosto (Fonseca *et al.*, 2001).

Como visto anteriormente o DF está localizado na cabeceira de três grandes bacias hidrográficas. O Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal, classifica-as como Regiões Hidrográficas, e dentro destas estão situadas sete bacias hidrográficas: Rio Corumbá, Rio Descoberto, Rio Paranoá, Rio São Bartolomeu, Rio São Marcos, Rio Preto e Rio Maranhão. Nestas, existem 40 unidades de gerenciamento de recursos hídricos, como por exemplo a Bacia Hidrográfica do Rio Paranoá, abrange cinco unidades hidrográficas, sendo estas a do Córrego Bananal, Lago Paranoá, Riacho Fundo, Ribeirão do Gama e Ribeirão do Torto, estas ocupando uma área total de 1.054,5 km², sendo 100% desta área situada dentro do território do DF (GDF, 2012).

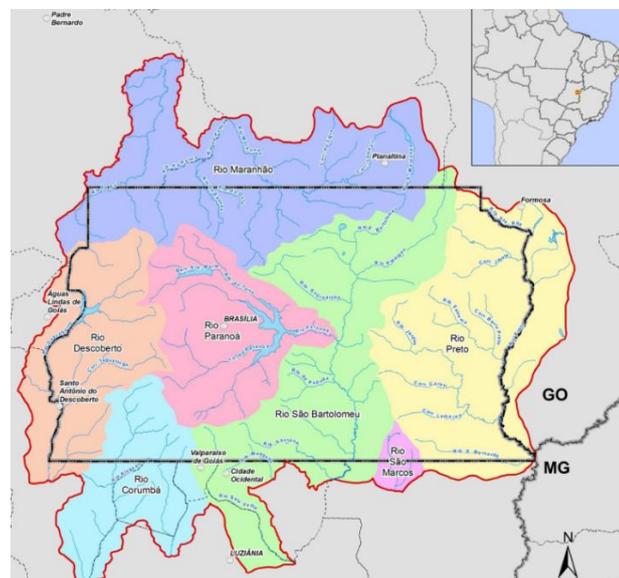


Figura 4.9: Mapa Bacias Hidrográficas do Distrito Federal. (GDF, 2012).

O monitoramento das precipitações e vazões dos corpos superficiais é realizado por estações pluviométricas e fluviométricas. Junto a Agência Nacional de Águas – ANA, estão registradas 329, sendo estas geridas pela ANA e também por órgãos como a CAESB, ADASA, EMBRAPA e INMET (ANA, 2018).

Os dados pluviométricos para obtenção da chuva de simulação contínua foram obtidos da estação de código 01547004 do INMET. Após a obtenção, os dados foram sistematizados e tratados para correção de falhas e valores nulos.

4.1.5 Topografia

De acordo com o Lousada e Campos (2005), existem dois principais zoneamentos geomorfológicos do Distrito Federal, um proposto por Novaes Pinto (1994) e outro por Martins e Baptista (1998), ambos utilizados nos estudos de compartimentação geomorfológica do ZEE DF.

Novaes Pinto (1987, 1994 *apud.* Lousada & Campos 2005) dividiu o DF em três macrounidades (A, B e C) cada uma ocupando aproximadamente um terço do total do território. A unidade A está associada a região de chapada e abrange cerca de 34% do território do Distrito Federal, com cotas altimétricas acima de 1000 metros e relevo plano a suave ondulado. A macrounidade B refere-se a região de dissecação intermediária com relevo fracamente dissecado ocupando 31% do território. A macrounidade C, por sua vez, refere-se a região de vales e depressões ocupadas pelos rios, abrangendo 35% do território.

A classificação de Martins e Baptista (1998 *apud.* Lousada & Campos 2005) delinea cinco compartimentos geomorfológicos, relacionando algumas delas a metodologia de Pinto (1994) e acrescentando a classificação por declividades. Os compartimentos delimitados pelo autor são: Planaltos (regiões de chapadas), Planos Intermediários (dissecação intermediária), Planícies (região dissecada de vales), Rebordos (com declividade <20%) e Escarpas com declividades maiores que 45%.

Os estudos da compartimentação geomorfológica do ZEE DF, integrou as duas classificações apresentadas e criou uma nova com cinco compartimentos (Seraphim, 2018):

- (a) Planos Elevados: apresentam relevo plano a suave ondulado, baixa densidade de drenagem, predominância de Latossolos, declividades inferiores a 10% e cotas altimétricas superiores aos 1100 metros.
- (b) Planos Intermediários: corresponde às áreas com padrão de relevo plano a suave ondulado, baixa densidade de drenagem, ampla predominância de Latossolos, declividades inferiores a 12% e cotas altimétricas entre 950 e 1050 metros.
- (c) Vales dissecados: compreende as áreas com relevo ondulado a forte ondulado, alta densidade de drenagem, ampla predominância de Cambissolos, declividades superiores a 20% e cotas inferiores a 800 metros.

- (d) Rebordos: correspondem às áreas de relevo ondulado, densidade de drenagem moderada, predominância de Cambissolos, declividades entre 10 e 20% e cotas entre 950 e 1100 metros.
- (e) Rampas Íngremes: apresentam padrão de relevo forte ondulado a escarpado, alta densidade de drenagem, ampla predominância de Latossolos, declividade superior a 25% e cota altimétrica entre 800 e 1100 metros.

Martins et al. (2004) avaliou a evolução da geomorfologia do DF e integrou os diversos estudos e metodologias na área. O autor apresenta os principais perfis topográficos das vertentes do DF, e a qual geomorfologia esses são principalmente encontrados, conforme Figura 4.10.

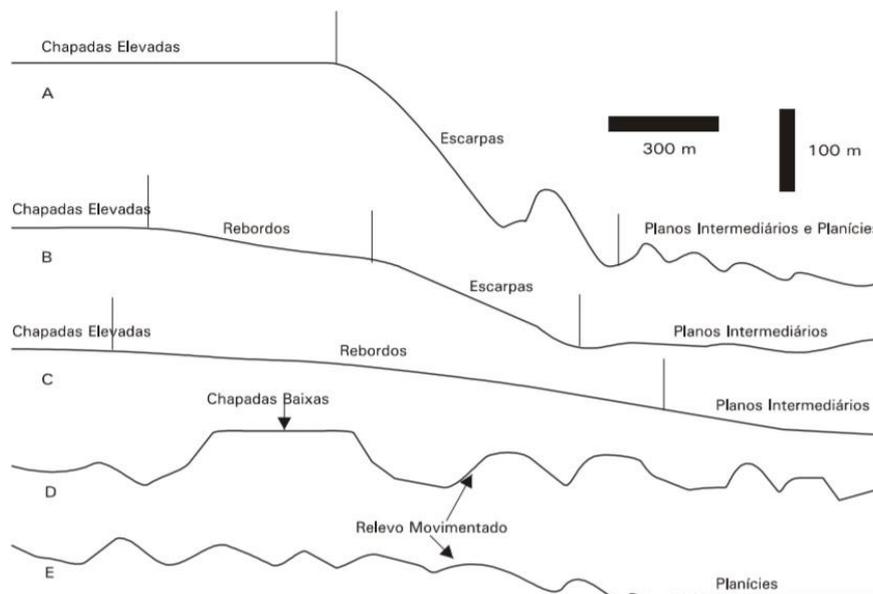


Figura 4.10: Vertentes do DF, (A) Transição Chapadas Elevadas/Escarpas/Planos intermediários na porção norte do semidomo de Brasília mostrando vertentes com elevada declividade e maior índice de aprofundamento da drenagem; (B) Transição Chapadas Elevadas/Rebordos/Planos Intermediários na porção leste do semidomo de Brasília, mostrando vertentes com declividades intermediárias; (C) Transição Chapadas Elevadas/Rebordos/Planos Intermediários na porção interna do semidomo de Brasília, mostrando vertentes com declividades baixas; (D) Planos Intermediários na bacia do São Bartolomeu e do Descoberto mostrando a presença de chapadas baixas e relevo movimentado; (E) Planos Intermediários e Planícies na Bacia do Maranhão mostrando relevo movimentado e plano, (Martins, 2000).

Com base nos trabalhos analisados na revisão bibliográfica, foram utilizados os padrões topográficos convexo-convergente, típico da região administrativa do Jardim Botânico, e planar, concentrado na região administrativa de Vicente Pires, buscando-se analisar condições críticas e desfavoráveis para a urbanização e instalação das redes de drenagem, a localização destas regiões administrativas está representada na Figura 4.11. O estudo da geomorfologia é crucial na concepção do projeto de drenagem, pois ela dita o caminhamento da água no terreno, velocidade do escoamento e taxa de infiltração.

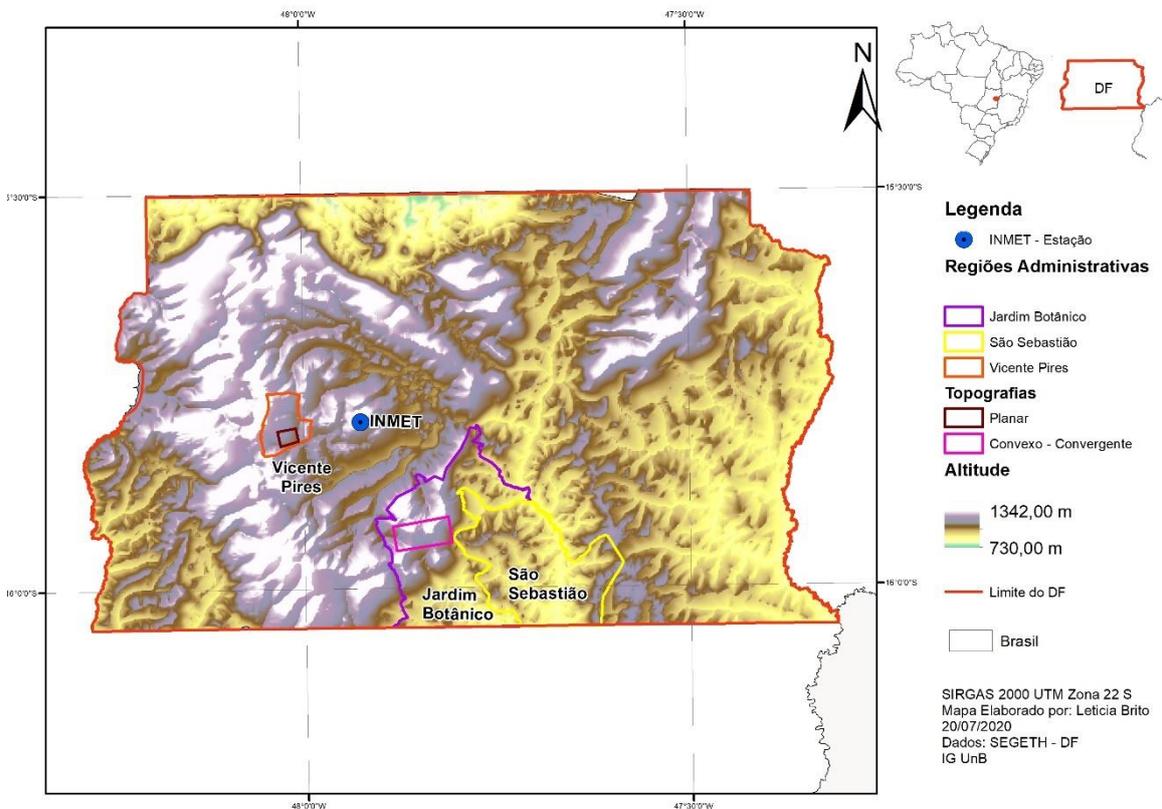


Figura 4.11: Localização das Regiões Administrativas Estudadas, Estação do INMET e Relevo do DF.

A primeira geomorfologia analisada, conforme ilustrado na Figura 4.12, possui declividade média de 2,68%, altitudes variando de 1.100 a 1.150 m curvatura com índices negativos no plano e no perfil caracterizando assim sua vertente como convexa e convergente comumente encontrada na região administrativa do Jardim Botânico, na compartimentação geomorfológica do Pediplano Contagem Rodeador, Plano Elevado.

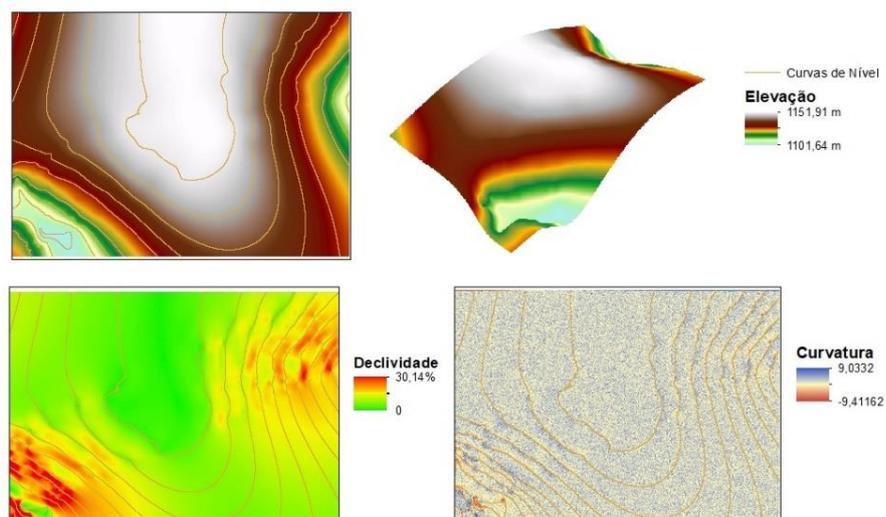


Figura 4.12: Relevo de Estudo 01.

A segunda geomorfologia analisada, conforme ilustrado na Figura 4.13, possui declividade média de 3,32%, altitudes variando de 1.110 a 1.250 m e índice de curvatura do plano e do perfil próximas de zero, sendo assim sua vertente é caracterizada como convexa e convergente comumente encontrada na região administrativa de Vicente Pires, localizada no compartimento geomorfológico do Pediplano de Brasília, Plano Intermediário.

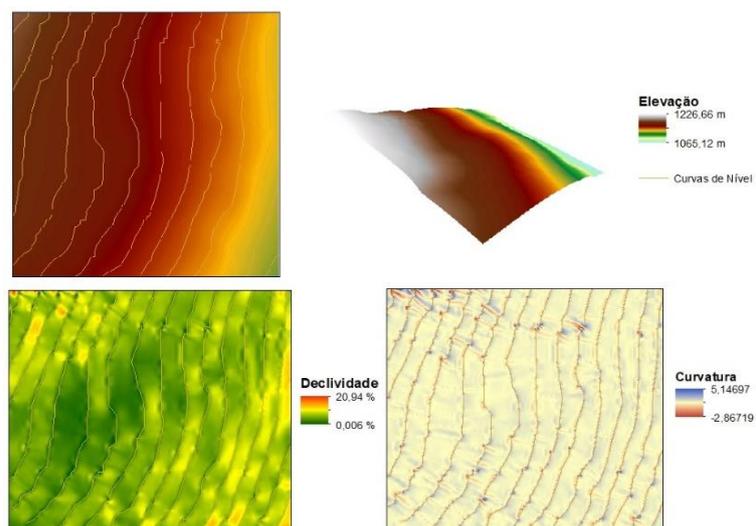


Figura 4.13: Relevo de Estudo 02.

Os padrões topográficos escolhidos apresentam desafios quanto ao projeto de drenagem, pois um condiciona a rede a possuir diversas ramificações e o outro, por apresentar alta declividade, gerando grandes velocidades de escoamento.

4.2 PROPOSTA URBANÍSTICA DE LOTEAMENTOS E QUADRAS

Para escolha das quadras e USTs a serem analisadas, levaram-se em consideração sua representatividade em relação ao território, áreas com alagamentos recorrentes, espaço disponível para inserção de técnicas compensatórias, padrões comuns no Plano Piloto que estão sendo replicados em outras regiões administrativas, e padrão residencial unifamiliar que possui grande potencial de uso de LIDs.

Para uma primeira discussão, foram escolhidas as quadras 700/900 que estão situadas na Asa Norte, via W3, área com alagamentos recorrentes, principalmente nas faixas de 09 a 12, devido à presença de grandes áreas impermeáveis nas quadras 900 em áreas públicas e privadas.

A quadra 700 escolhida foi a SHCGN 709, UST do tipo RM (Figura 4.14) que apresenta alta densidade de ocupação do solo, com construções de alto padrão e lotes variando de 250 a 500 m², e edificações de 3 até 6 pavimentos. Nesta UST foram identificadas 8 classes de uso e ocupação do solo, obtendo um CN médio de 70,1 para o solo A, 80,7 para o solo tipo B e 86,8 para o solo tipo C.



Figura 4.14: UST Residencial Misto, Classificação do CN para o solo A.

A UST RB1, encontrada nessas configurações nas quadras 900, SGAN 911/912, apresenta média densidade construtiva, com construções de médio padrão, sem tamanho de lote definido, pois estão localizadas em condomínios de apartamentos, com edificações de até 6 pavimentos, conforme ilustrado na Figura 4.15. Nesta UST foram identificados 6 tipos de

uso e ocupação do solo, obtendo um CN médio de 80,3 para o solo tipo A, e 87,3 e 90,9 para os solos tipo B e C respectivamente.

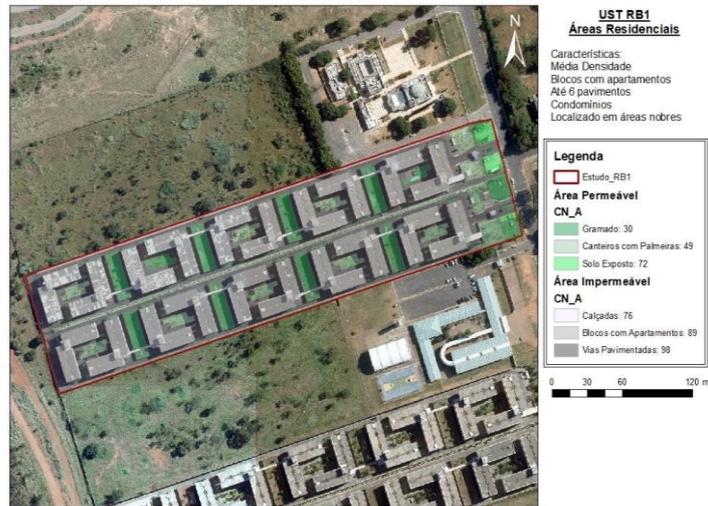


Figura 4.15: UST Residencial de Apartamentos Baixos, Classificação do CN para o solo A.

Para um segundo ensaio, foram utilizados dois padrões residenciais unifamiliares distintos, um de alta taxa de ocupação, RH1, típica da região administrativa de Vicente Pires, e um de baixa taxa de ocupação, RH5, encontrada na região do Parkway. Neste caso o enfoque foi a quantificação de serviços ecossistêmicos, destacando principalmente a recarga de águas subterrâneas, desenvolvido em conjunto com Beatriz Costa, aluna do Instituto de Geociências (IG). Neste caso, as duas USTs foram escolhidas devido seu grande diferencial em relação a taxa de área permeável e impermeável para avaliar os dois extremos de provisão de serviços, a UST RH1 conta com mais de 90% de área impermeável ilustrada na Figura 4.16 e a RH5 por sua vez com 30% ilustrada na Figura 4.17.

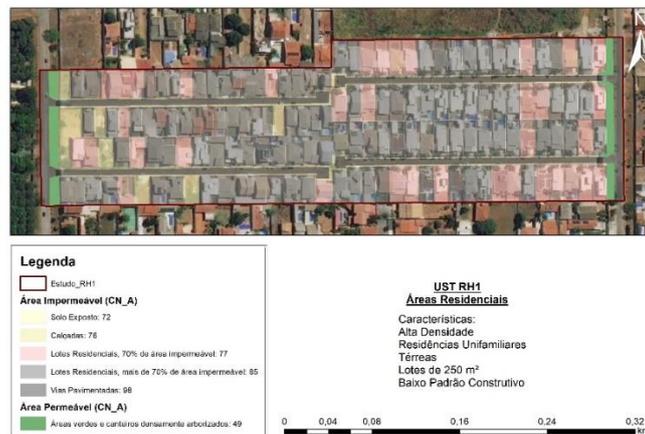


Figura 4.16: UST Residencial de Baixo Padrão , Classificação do CN para o solo A.

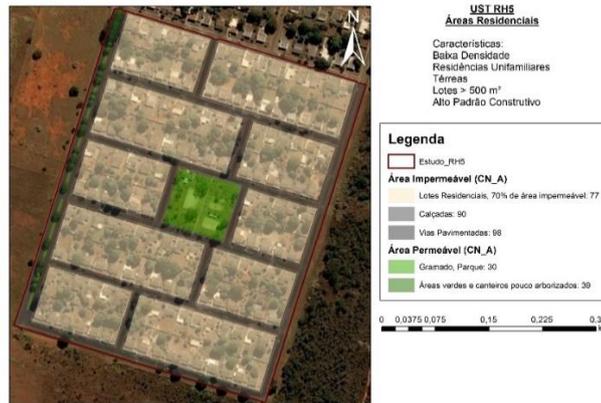


Figura 4.17: UST Residencial de Alto Padrão, Classificação do CN para o solo A.

Para desenho dos loteamentos, foram escolhidas as USTs com maior porcentagem de área verde para utilização de medidas compensatórias de drenagem urbana e avaliação da prestação de serviços ecossistêmicos, são elas: residenciais multifamiliares RM, RB2 e RB1, e unifamiliar RH5.

O loteamento da UST RM foi traçado utilizando a quadra piloto SHCGN 709, a partir da planta original obtida no site da SISDUC/SEDUH e medições feitas na imagem de ortomosaico. Trata-se de uma área de ocupação mista, com residências unifamiliares, blocos de apartamentos multifamiliares e áreas institucionais com escolas, quadras poliesportivas ou centros de convivência. A disposição das quadras foi realizada com auxílio de software CAD, e a largura das avenidas entre elas foi adotada de acordo com as dimensões da avenida W3 Norte, e entre quadras 709/710. A primeira proposta foi a ocupação urbana perpendicular as curvas de nível, e a segunda proposta para o arranjo é o traçado urbanístico paralelo as curvas de nível conforme Figura 4.18.

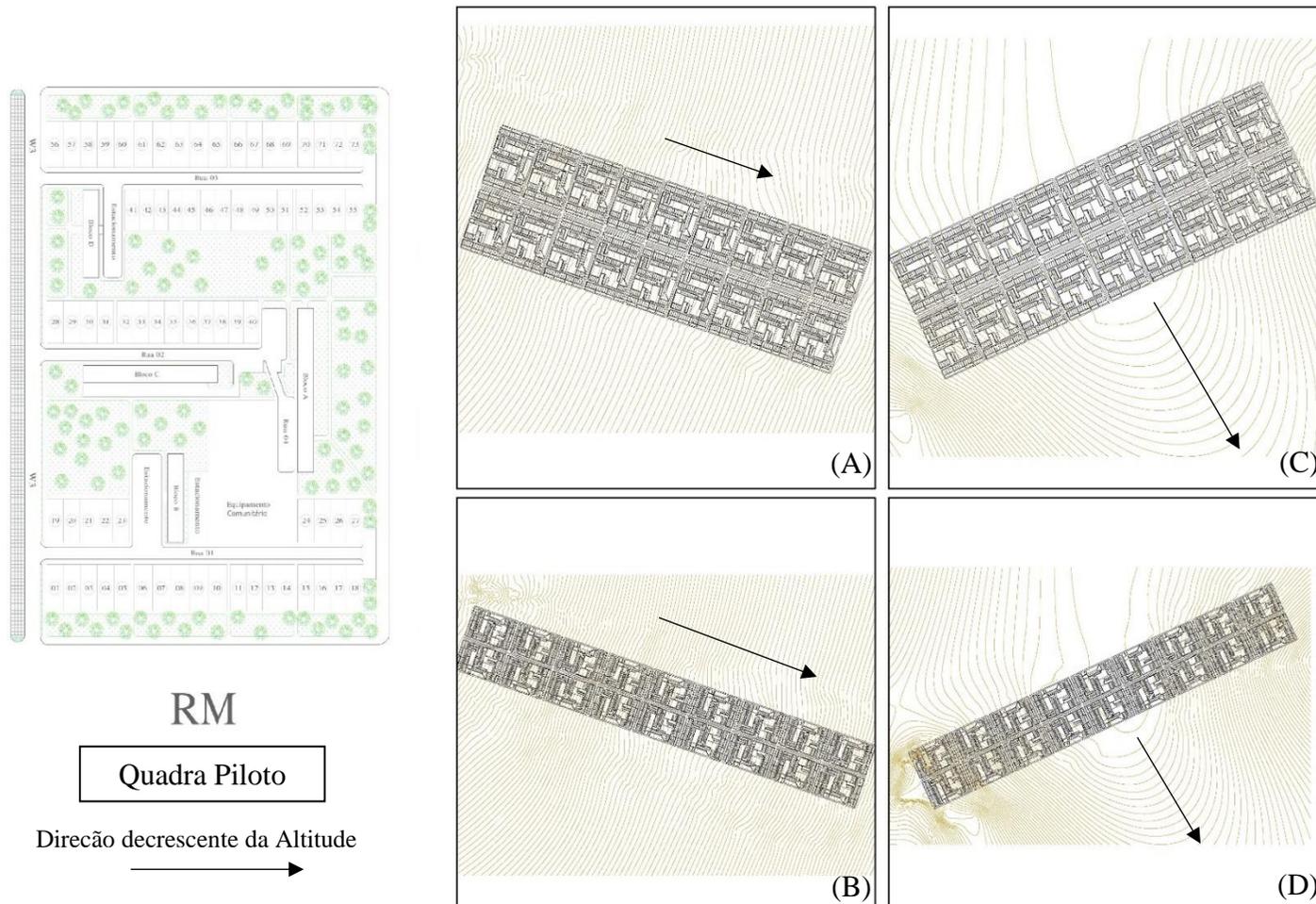


Figura 4.18: Loteamento UST RM – Duas Rotações em Relação as Curvas de Nível, Relevo Planar (A) Paralelo as Curvas, (B) Perpendicular as Curvas, Relevo Convexo Convergente (C) Paralelo as Curvas, (D) Perpendicular as Curvas.

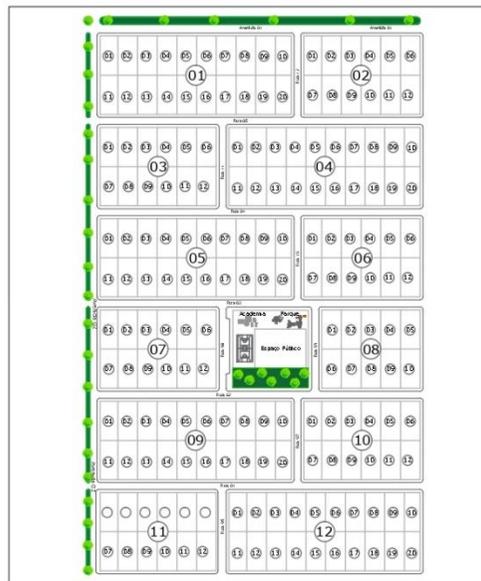
A análise da disposição das quadras em relação as curvas de nível nos permitem analisar como a drenagem se comporta em relação a disposição da quadra, qual tem o traçado de rede mais crítico, qual apresenta maiores valores de vazão e como se comportam os tempos de pico. Em relação ao cenário de LIDs a rotação das quadras também pode influenciar o tempo de enchimento das valas e a locação mais eficiente.

O segundo loteamento proposto, com a UST RH5, se baseou em um loteamento de classe média com lotes de até 500 m² com residências unifamiliares, menos de 70% de taxa de impermeabilização do lote com pequenos parques no centro do loteamento, e traçado urbanístico perpendicular. A proposta urbanística segue na Figura 4.19.

Utilizando a mesma taxa populacional do loteamento da UST RH5, foi elaborado um loteamento baseado nas superquadras 400 originais do Plano Piloto, de padrão de ocupação RB2. Este foi traçado para comparação com o loteamento RH5, para analisar o adensamento populacional em prédios, com maior aproveitamento dos equipamentos urbanísticos e menor taxa de impermeabilização do terreno, como ilustrado na Figura 4.20.

Por fim, o loteamento da UST RB1, seguiu a configuração das quadras 900, conforme uso e ocupação mapeado em lote, expandindo para uma área de 100 ha, conforme ilustrado na Figura 4.21.

Após o traçado urbanístico dos loteamentos seguiu-se para etapa de traçado da rede de drenagem e dimensionamento seguindo os parâmetros estabelecidos no item 4.3, e análise da provisão dos serviços ecossistêmicos, detalhados no item 4.4.



RH5

Quadra Piloto

Direção decrescente da Altitude

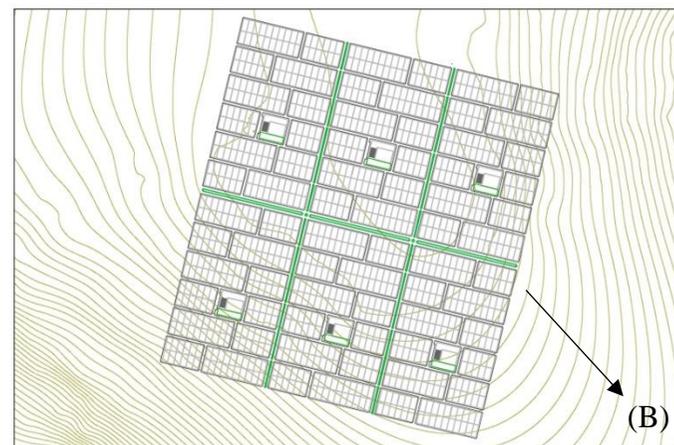
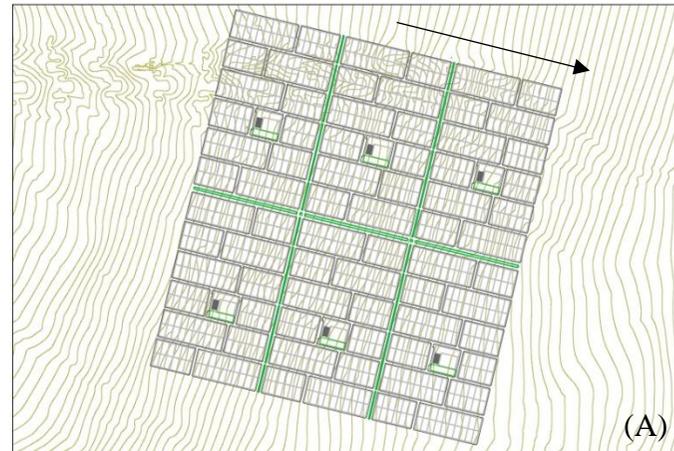
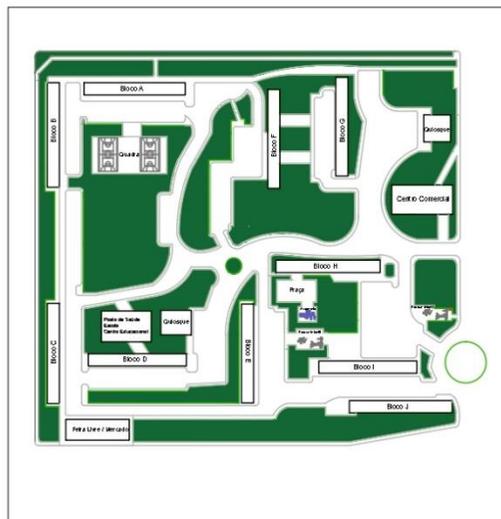


Figura 4.19: Loteamento UST RH5, (A) Relevo Convexo Convergente, (B) Relevo Planar



RB2

Quadra Piloto

Direção decrescente da Altitude

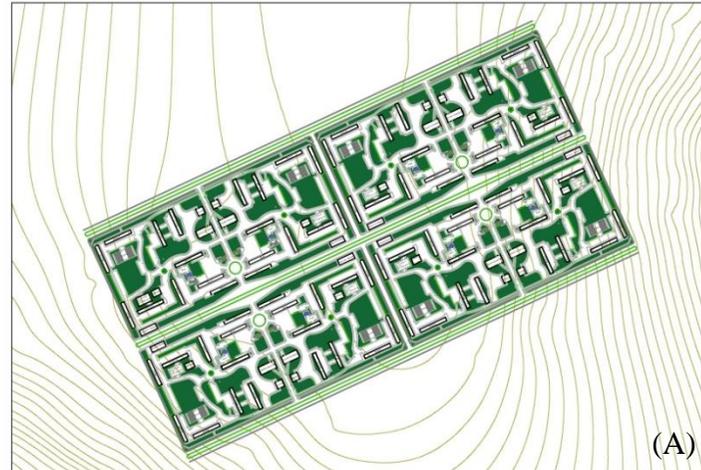
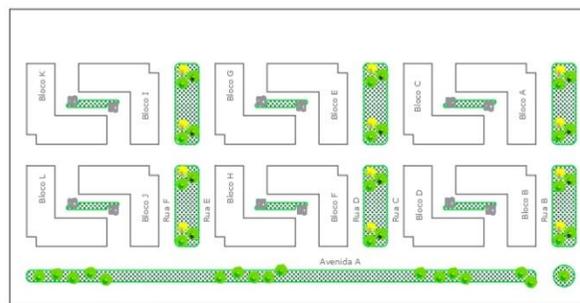


Figura 4.20: Loteamento UST RB2, (A) Relevo Convexo Convergente, (B) Relevo Planar



RB1

Quadra Piloto

Direção decrescente da Altitude

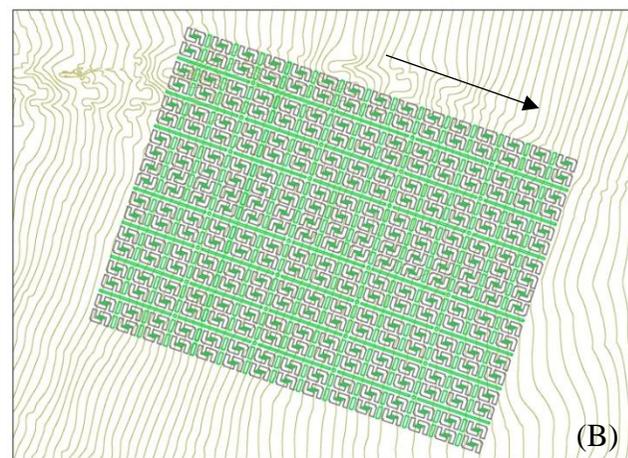
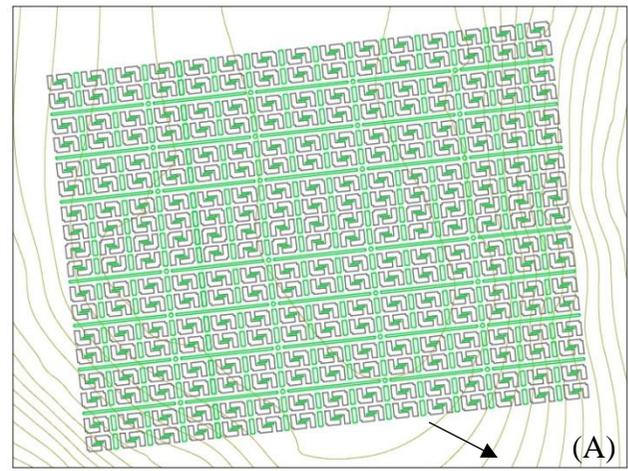


Figura 4.21: Loteamento UST RB1, (A) Relevo Convexo Convergente, (B) Relevo Planar

4.3 PARÂMETROS DE PROJETO

Esta seção traz um detalhamento sobre os parâmetros seguidos nos projetos das redes de drenagem dos loteamentos e quadras propostas no item 4.2, detalhando os critérios de projeto da rede de drenagem e medidas compensatórias e, por fim, as métricas utilizadas na avaliação dos serviços ecossistêmicos.

4.3.1 Dimensionamento da Rede

A rede de drenagem foi traçada de acordo com a topografia, e as sub bacias foram divididas de acordo com a divisão dos quarteirões com as bissetrizes das esquinas. Foram seguidos os parâmetros para elaboração de projetos especificados no Termo de Referência da NOVACAP (NOVACAP, 2019) e adotados alguns parâmetros visando custo executivo da obra, sendo eles:

- Velocidade Máxima: 6,0 m/s
- Rugosidade da Tubulação de Concreto: $n = 0,015$
- Rugosidade da Tubulação de Tunnel Liner: $n = 0,023$
- Rugosidade da Tubulação de PEAD: $n = 0,010$
- Declividade mínima da rede: 0,5%
- Vazão limitada a 82% da capacidade do conduto
- Recobrimento de 1,5 vezes o diâmetro
- Recobrimento de 0,6 m para tubulação PEAD
- Profundidade máxima adotada para os poços de visita de 6,00 m
- Profundidade mínima adotada para os poços de visita de 1,50 m
- Diâmetro mínimo de 600 mm
- Diâmetro máximo de 3000 mm

O dimensionamento ocorreu por processos iterativos, onde estimava-se um diâmetro inicial, e recalculava-se a partir do momento que este não atendesse aos critérios acima citados. Os diâmetros comerciais para os materiais citados, seguiram os disponíveis nas tabelas de composição orçamentária e fornecedores pesquisados no DF.

De acordo com a necessidade de dissipação de energia, foram utilizados degraus, tubos de queda, ou materiais com maior rugosidade, para atendimento da velocidade máxima.

4.3.2 Chuva de Projeto

Para o cálculo de intensidade da chuva de projeto, foi utilizada a equação IDF (Intensidade, Duração, Frequência) do Distrito Federal (CONCREMAT, 2008):

$$I = \frac{1574,7 \cdot TR^{0,207}}{(Tc+11)^{0,884}} \quad (\text{Equação 4.1})$$

Onde:

I: Intensidade da chuva em mm/h.

TR: Tempo de Retorno em anos, para microdrenagem utilizar TR=10 anos.

Tc: Tempo de concentração em minutos.

A chuva de projeto de 10 anos de tempo de recorrência foi discretizada em blocos alternados de intervalos de 5 minutos e duração de 24 horas, com uma lâmina total precipitada de 91,67 mm, conforme ilustrado na Figura 4.22.

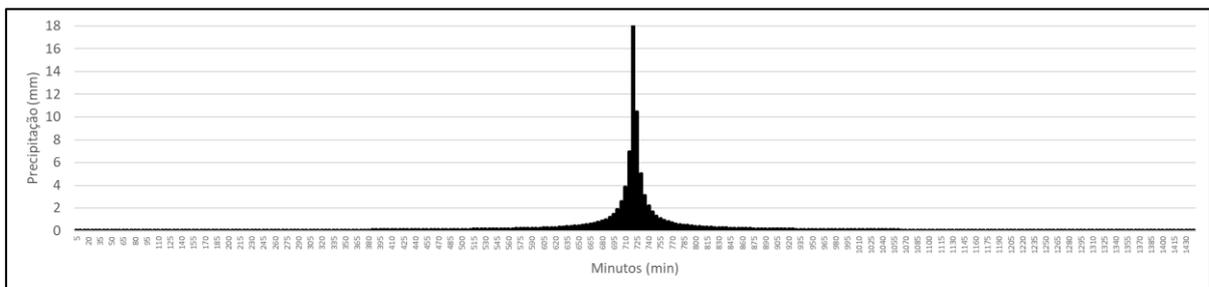


Figura 4.22: Chuva de Projeto TR 10 Anos.

Para cálculo do tempo de concentração foi utilizada a fórmula de Kirpich (Tomaz, 2019):

$$T_c = 57 \cdot \left(\frac{L^{1,155}}{H^{0,385}} \right) \quad (\text{Equação 4.2})$$

Onde:

Tc: Tempo de Concentração (min)

L: Comprimento do Talvegue (m)

H: Diferença de Cotas (m)

Apesar do fato da rede de drenagem ser dimensionada para um evento com tempo de retorno fixo, para as pesquisas em hidrologia urbana que buscam avaliar os diversos efeitos sobre o escoamento superficial, qualidade da água e infiltração, muitas vezes a simulação de eventos extremos pode não ser representativo para obtenção de parâmetros gerais. A simulação de base contínua é vantajosa para obter a frequência de ocorrência de eventos de interesse, relacionar parâmetros de quantidade e qualidade (Rossman & Huber, 2016), melhor representação dos processos hidrológicos para uma série de precipitações, incluindo os períodos secos entre elas, e a possibilidade de representação de eventos de chuva reais de variadas magnitudes, durações e tempos de recorrência (Carvalho, 2018) . Este tipo de simulação também é recomendado para dimensionamento de medidas compensatórias e avaliação da provisão de serviços ecossistêmicos.

A chuva de simulação contínua foi obtida a partir dos dados do INMET, estação de Brasília, em que se calcularam os totais anuais (mm), médias mensais (mm) e a média dos totais anuais (mm). A partir desses dados selecionou-se um “ano médio”, que tivesse os totais mensais próximo das médias mensais e o total anual próximo a média dos totais anuais. Esses dados de chuva contínua foram utilizados com o objetivo de avaliar a prestação de serviços ecossistêmicos.

O ano de 2005 – 2006 foi o que atendeu os critérios acima estabelecidos, com um total anual de 1457 mm de precipitação. A Figura 4.23 mostra o gráfico de input do modelo SWMM, ilustra o comportamento da estação seca e chuvosa do ano hidrológico considerado.

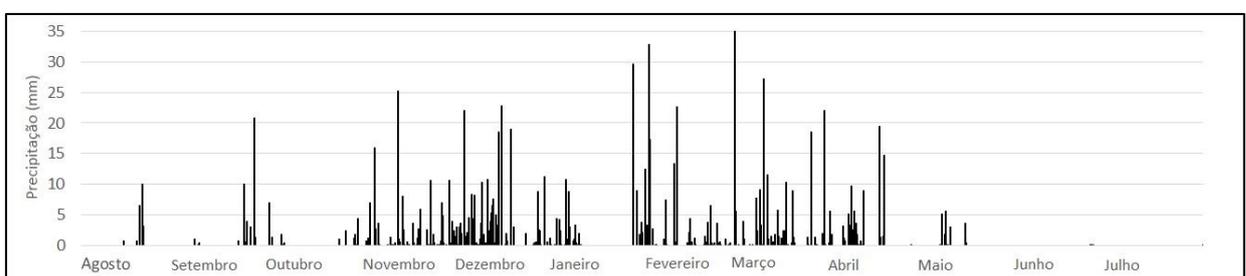


Figura 4.23: Chuva de Projeto Simulação Contínua.

4.3.3 Cálculo de Infiltração e Escoamento Superficial

O método do *Curve Number* (CN), foi utilizado para estimativa do escoamento superficial e infiltração. O método é baseado em um parâmetro relacionado com o uso e ocupação do solo

e as características do solo e realiza o balanço hídrico, com base em duas hipóteses, a primeira é que a razão entre o escoamento superficial e o escoamento superficial potencial é igual a razão entre a infiltração acumulada no solo e a máxima infiltração acumulada, e a segunda considera a estimativa das perdas iniciais como sendo igual a 20% do potencial máximo de infiltração de água pelo solo (Collischonn & Dornelles, 2015):

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \text{ (Equação 4.3)}$$

S: Potencial máximo de retenção, após o escoamento superficial iniciar (mm)

CN: Parâmetro relacionado as características do solo e ocupação

Para determinação do CN deve-se avaliar o uso e ocupação do solo e o grupo hidrológico do solo. Os quatro grupos hidrológicos (A, B, C e D) determinados de acordo com sua taxa de infiltração.

Desta forma, ao relacionar com a cobertura do solo presente na Tabela 4.4, obtém-se o CN, o que determina o potencial máximo de retenção (S) na Equação 4.3, e a precipitação efetiva pela Equação 4.4.

Tabela 4.4: CN para as diversas coberturas e tipos de solo. (USDA, 1986).

Cobertura	Solo A	Solo B	Solo C	Solo D
Espaço aberto				
Cobertura gramada <50%	68	79	86	89
Cobertura Gramada entre 50% e 75%	49	69	79	84
Cobertura Gramada maior que 75%	39	61	74	80
Áreas Pavimentadas				
Distrito Urbano Comercial com 85% de área Impermeável	89	92	94	95
Impermeável				
Distrito Industrial com 72% de área impermeável	81	88	91	93
Bairros residenciais com 65% de impermeabilização	77	85	90	92
Bairros residenciais com 38% de impermeabilização	61	75	83	87

Desta forma, para cálculo da precipitação efetiva:

$$Hq = \frac{(P - I_a)^2}{(P + 0,8 S)} \quad (\text{Equação 4.4})$$

Hq: Precipitação efetiva (mm)

P: Precipitação total (mm)

I_a: Abstração Inicial (mm)

S: Capacidade de retenção (mm)

Dentro do SWMM para a simulação com o método CN é necessário atribuir como zero os parâmetros relativos a superfícies impermeáveis (%imperv, DS imperv e n_imperv), visto que o CN em si já considera a porcentagem impermeável do uso e ocupação, zerar os parâmetros relativos a rugosidade da superfície e atribuir ao parâmetro “capacidade de estoque da superfície permeável (DS Perv)” o valor da abstração inicial para computar a infiltração.

4.3.4 Evapotranspiração

Para a simulação contínua, foram utilizados dados de evapotranspiração com o objetivo de obter o balanço hídrico completo, para avaliação da provisão dos serviços ecossistêmicos. Dentro do modelo SWMM, a simulação de evapotranspiração pode ser realizada de cinco maneiras (Rossman & Huber, 2016):

- i. Um valor constante em mm/dia
- ii. Médias mensais em mm/dia
- iii. Dados de medição real
- iv. Dados de medição por um arquivo externo
- v. Calculado com o método de Hargreaves a partir de dados de temperatura

Para esse estudo buscou-se um ano médio de evapotranspiração, a partir de dados medidos do Tanque Classe A (FAL – UnB), entrando assim com os dados de médias mensais. A Figura 4.24 mostra os valores de entrada no modelo de evapotranspiração.

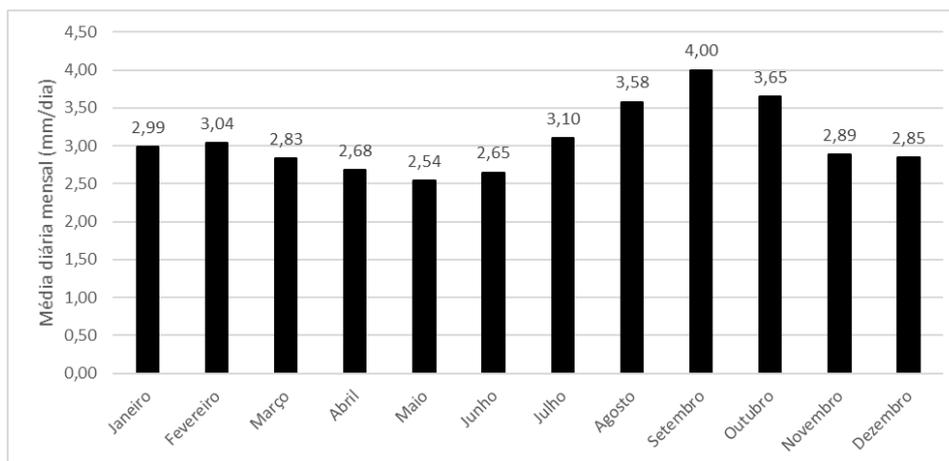


Figura 4.24: Evapotranspiração utilizada na Simulação Contínua.

Para conversão dos dados de evaporação do tanque classe A em evapotranspiração real, adotou-se um fator multiplicativo de 0,70.

4.3.5 LIDS

Com o objetivo de atingir as condições de pré-desenvolvimento, foram elaborados cenários com a utilização de medidas de controle na fonte de acordo com o espaço disponível para inserção das técnicas. Foram utilizadas trincheiras, valas de infiltração e trincheiras associadas com valas, com os parâmetros de dimensionamento apresentados na Tabela 4.5 e estrutura funcional na Figura 4.25.

Tabela 4.5: Parâmetros de dimensionamento das medidas compensatórias.

Vala de Infiltração	
Altura da Berma (mm)	700
Volume de Vegetação	0
Rugosidade de Manning	0,25 (Gramado)
Declividade (m/m)	0,00001
Declividade do Talude (m/m)	1:1
Trincheira de Infiltração	
Altura da Berma (mm)	100
Volume de Vegetação (Fração)	0
Rugosidade de Manning	0,022 (Similar Gabião)
Declividade (m/m)	0
Profundidade (mm)	1900
Volume de Vazios (Fração)	0,40
Taxa de Infiltração (mm/h)	24,5 (Latossolo); 2,45 (Cambissolo)
Fator de Colmatação	0
Coefficiente de Infiltração do Dreno (mm/h)	Variável de acordo com o Comprimento
Altura do Dreno (mm)	5
Diâmetro do Dreno (mm)	110

Trincheira de Infiltração Associada com Vala (Vala-Trincheira)	
Altura da Berma (mm)	1000
Volume de Vegetação (Fração)	0
Rugosidade de Manning	0,15 (Gramado e Brita)
Declividade (m/m)	0
Profundidade (mm)	2500
Volume de Vazios (Fração)	0,60
Taxa de Infiltração (mm/h)	24,5 (Latossolo); 2,45 (Cambissolo)
Fator de Colmatação	0

A trincheira associada a vala foi uma proposição de um novo dispositivo, onde aumenta-se a capacidade de armazenamento e infiltração utilizando áreas menores. Este dispositivo foi concebido em reuniões de projeto junto a NOVACAP na discussão sobre instalação de técnicas compensatórias nas vias W4 Norte, próximo ao Detran DF e UniCEUB, e estádio Mané Garrincha, com o objetivo de amortecer as ondas de cheia que estão ocasionando alagamentos nas faixas 9-12 da via W3 Norte.

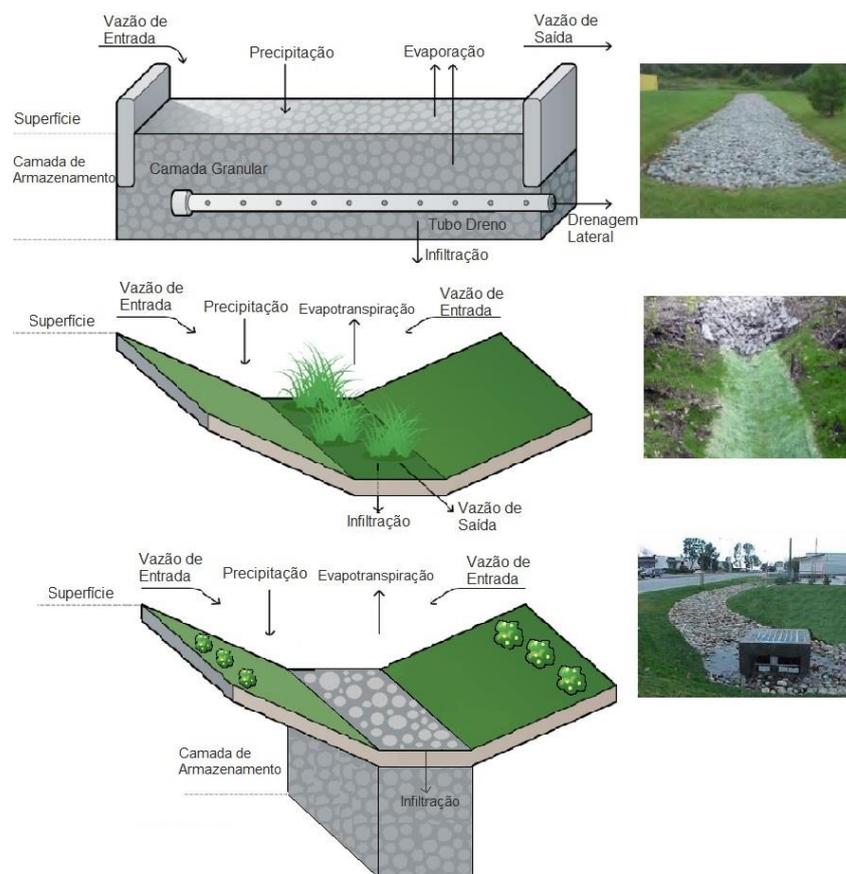


Figura 4.25: Desenho esquemático das Técnicas Compensatórias, (A) Trincheira de Infiltração e (B) Valas de Infiltração, (C) Trincheira associada com Vala de Infiltração.

Os parâmetros de dimensionamento das técnicas compensatórias foram definidos conforme a faixa de valores estabelecidas por Rossman e Huber (2016), as trincheiras de recarga conforme ADASA (2018) e parâmetros de infiltração e porosidade de Latossolos e Cambissolos apresentados por Carvalho *et al.* (2012), Lima *et al.* (2013) e USDA (1986).

4.4 SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

Conforme a proposta de Castro (2017), apresentada na seção 3.8, foram selecionados quatro serviços considerando a relevância para a manutenção dos recursos hídricos, propondo a quantificação destes a partir da modelagem com simulação contínua para os serviços de recarga de aquíferos e qualidade da água superficial e simulação de eventos para o SE de alagamento. A Tabela 4.6 apresenta as métricas utilizadas por Castro (2017) e as propostas neste estudo.

Tabela 4.6: Serviços ecossistêmicos analisados e métricas para quantificação.

Função	Serviço	Métrica Castro (2017)	Métrica Proposta
Provisão	Potencial de Recarga de Aquíferos	Taxa máxima de água disponível para recarga do aquífero (%)	Recarga efetiva medida através do balanço hídrico da bacia em simulação contínua (mm/ano)
	Qualidade da água superficial	IQA	Comparação entre a lâmina de runoff gerada pelo cenário de redes convencionais e a amortecida pelas medidas compensatórias, absorvendo as águas do First Flush (%)
Regulação	Risco de Alagamento	Suscetibilidade de ocorrência de alagamentos	Eficiência das medidas compensatórias em amortecimento de ondas de cheia, ganho em mm da chuva de projeto (%)
	Escoamento Superficial	Taxa de escoamento superficial	Aumento em relação a vazão de pré-desenvolvimento calculada e a estabelecida pela ADASA. Incremento de escoamento (l/s.ha)

Cont.

Tabela 4.6: Serviços ecossistêmicos analisados e métricas para quantificação, Continuação.

Função	Serviço	Métrica Castro (2017)	Métrica Proposta
Regulação	Compactação do solo	Não avaliado	Perda da capacidade de infiltração do solo devido ao processo de urbanização (%)
	Movimento de Terra	Não avaliado	Volume em m ³ necessário de escavação para execução da rede de drenagem e medidas compensatórias

Outra hipótese utilizada neste estudo foi a simulação da compactação do solo nas áreas urbanas devido ao processo de instalação, onde para as quadras RM e RB1 foram elaborados três cenários, utilizando como cenário base de comparação o solo tipo A, do grupo hidrológico de solos da USGS, em condições naturais, e os tipos B e C, para simular a perda da capacidade de infiltração do solo devido compactação.

Para equacionamento da recarga efetiva, levou-se em conta os três componentes do balanço hídrico, a infiltração, escoamento e evapotranspiração. A água que efetivamente atinge o nível freático, é resultado da parcela de infiltração menos a parcela evapotranspirada e interceptada pela vegetação, desta forma:

$$R_{ef} = I_{nf} - E_{vapo} \text{ (Equação 4.5)}$$

Onde:

R_{ef} : Recarga de aquífero efetiva (mm/ano)

I_{nf} : Parcela Infiltrada (mm/ano)

E_{vapo} : Parcela Evapotranspirada (mm/ano)

A medição do serviço de qualidade da água superficial seguiu a hipótese da absorção de poluentes do *first flush*, conforme discutido na seção 3.8 (Concremat, 2008; Costa *et al.*, 2018; USEPA, 1983; Yazaki *et al.*, 2012; Artina, 1997 & Porto e Tucci, 1995), por medidas compensatórias. Desta forma a melhoria na qualidade da água foi obtida através da lâmina

de escoamento gerada no cenário de redes convencionais e no cenário de LIDs, na simulação contínua comparando o percentual de redução de escoamento gerado. Este percentual de redução do escoamento gerado está diretamente ligado à inferência de que as valas de infiltração assimilem de forma efetiva as primeiras parcelas de chuva que contém mais de 90% dos poluentes presentes na superfície. Essa inferência foi realizada de maneira conservadora, e pode somente ser utilizada como indicador de melhoria na qualidade da água superficial.

$$Q_a = \frac{R_{rede} - R_{LID}}{R_{rede}} \text{ (Equação 4.6)}$$

Q_a : Qualidade da Água Melhorada (%)

R_{rede} : Lâmina de Escoamento superficial gerado no cenário de redes convencionais (mm)

R_{LID} : Lâmina de Escoamento superficial gerado no cenário de LIDs (mm)

O serviço ecossistêmico de prevenção de alagamentos provisionado pelo uso de medidas compensatórias foi analisado seguindo o aumento no tempo de retorno na chuva de blocos alternados necessário para que a rede, tanto no cenário convencional, quanto no cenário de LIDs, estivesse em condição de sobrecarga e pelo menos dois PVs fossem inundados. A porcentagem de resiliência em ganho de tempo de retorno foi calculada subtraindo as lâminas de precipitação necessárias para sobrecarregar a rede no cenário convencional e de valas, dividindo pela chuva que ocasiona sobrecarga no cenário de redes convencional. Este serviço foi calculado conforme demonstrado na equação 4.7.

$$E_{LIDs} = \frac{L_{TR-Rede} - L_{TR-LIDs}}{L_{TR-Rede}} \text{ (Equação 4.7)}$$

E_{LIDs} : Ganho em eficiência das LIDs em amortecimento de alagamentos (%)

L_{TR} : Lâmina de precipitação simulada associada a um tempo de retorno 'X' que ocasiona condição de alagamento no projeto (mm)

Por fim, o escoamento superficial, considerado como um desserviço neste estudo, foi obtido através da vazão e tempo de pico gerados nos cenários simulados, comparando-os com as

condições de pré-desenvolvimento, quanto maior fosse a vazão gerada, maior o desserviço causado.

4.5 MODELAGEM MATEMÁTICA

Para realizar a modelagem utilizou-se o Modelo SWMM, sendo feitas simulações hidrológicas e hidráulicas da rede de drenagem de cada padrão de ocupação urbana, variando o tipo de solo, declividade, topografia, simulando com chuvas reais e de projeto, de modo a avaliar o comportamento hidrológico de cada padrão de ocupação e seus impactos na rede de drenagem urbana, e o potencial de provisão de serviços ecossistêmicos.

O estudo foi realizado em duas escalas: uma micro, a nível de quadra, e outra com uma perspectiva macro, com um projeto de urbanismo baseado na replicação das quadras estudadas em uma área de aproximadamente 100 ha. A Tabela 4.7 mostra a matriz de arranjos gerados para as quadras.

Tabela 4.7: Arranjos modelados para as quadras, escala micro.

Relevo	Arranjo	UST	Solo	Projeto de Drenagem
Real	1	RM	A	Convencional
		RM	B	Convencional
		RM	C	Convencional
	2	RM	A	LIDs
		RM	B	LIDs
		RM	C	LIDs
	3	RB1	A	Convencional
		RB1	B	Convencional
		RB1	C	Convencional
	4	RB1	A	LIDs
		RB1	B	LIDs
		RB1	C	LIDs
	5	RH1	A	Serviços Ecossistêmicos
	6	RH5	A	Serviços Ecossistêmicos

Para os loteamentos foram gerados um total de 20 arranjos simulados, variando os projetos de rede de drenagem, tipo de solo e geomorfologia. A Tabela 4.8 mostra o detalhamento dos arranjos simulados.

Tabela 4.8: Arranjos modelados para os Loteamentos experimentais, escala macro.

Relevo	Arranjo	UST	Solo	Projeto de Drenagem
Convexo Convergente	1	RM Paralelo	A	Convencional
		RM Paralelo	B	Convencional
	2	RM Paralelo	A	LIDs
		RM Paralelo	B	LIDs
	3	RM Perpendicular	A	Convencional
		RM Perpendicular	B	Convencional
	4	RM Perpendicular	A	LIDs
		RM Perpendicular	B	LIDs
	5	RH5	A	Convencional
		RH5	B	Convencional
	6	RH5	A	LIDs
		RH5	B	LIDs
	7	RB1	A	Convencional
		RB1	B	Convencional
	8	RB1	A	LIDs
		RB1	B	LIDs
	9	RB2	A	Convencional
		RB2	B	Convencional
	10	RB2	A	LIDs
		RB2	B	LIDs
Planar	11	RM Paralelo	A	Convencional
		RM Paralelo	B	Convencional
	12	RM Paralelo	A	LIDs
		RM Paralelo	B	LIDs
	13	RM Perpendicular	A	Convencional
		RM Perpendicular	B	Convencional
	14	RM Perpendicular	A	LIDs
		RM Perpendicular	B	LIDs
	15	RH5	A	Convencional
		RH5	B	Convencional
	16	RH5	A	LIDs
		RH5	B	LIDs
	17	RB1	A	Convencional
		RB1	B	Convencional
	18	RB1	A	LIDs
		RB1	B	LIDs
	19	RB2	A	Convencional
		RB2	B	Convencional
	20	RB2	A	LIDs
		RB2	B	LIDs

Logo após a simulação e obtenção de resultados de todos os cenários, foram estimados os custos de projeto das redes de drenagem de acordo com a base de dados nacional (SICRO, SINAPI, TCPO) e local (orçamentos NOVACAP), para quantificação do custo por geomorfologia das redes de drenagem estudadas.

O traçado da rede, dimensionamento e disposição das medidas compensatórias para cada caso encontram-se reunidos no Apêndice A.

4.6 CUSTO DA REDE DE DRENAGEM

O custo da rede de drenagem foi estimado com base em tabelas de composição orçamentária de referência nacional, SICRO (Sistema de custos referenciais de obra), SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil) e TCPO (Tabela de Composições de Preços para Orçamento).

Para cálculo do custo da rede de drenagem foram consideradas as composições referentes aos diâmetros da rede, que incluem no geral o preço de instalação, preparação da superfície do terreno para assentamento da tubulação e mão de obra, medidos por metro de rede instalada. Outros custos adicionais levados em conta foram a escavação, reaterro de vala e escoramento de vala por pontaletes ou escoramento descontínuo, sendo os serviços de movimentação de terra medidos em metros cúbicos, e o escoramento de vala em metros quadrados.

O custo da instalação de bocas de lobo e condutos de ligação, foram considerados como uma fração do custo total da rede, adicionando-se 2% ao final do cálculo. A estimativa dessa fração foi realizada com base em orçamentos cedidos pela NOVACAP e pesquisas de orçamentos de obras públicas.

Ao final foi calculado o custo de implantação da rede de drenagem por metro executado em função da geomorfologia, para averiguar qual relevo possui o maior custo de instalação da rede de drenagem.

5. RESULTADOS

Na seção 5.1 são apresentadas as simulações das quadras com diferentes USTs, como uma visão da particularidade de cada tipo de morfologia urbana estudado. Nessa simulação foi levado em conta o projeto de rede real, de acordo com o cadastro da rede de drenagem da NOVACAP e ADASA, e topografia de acordo com o local de instalação da quadra.

O estudo de impacto da mudança do grupo hidrológico do solo de A para C, considerando como hipótese a perda da capacidade de infiltração e compactação do solo após a instalação das áreas urbanas, foi realizado para USTs RB1 e RM. Para esse estudo também foi considerado o uso de medidas compensatórias para tentar reestabelecer as condições de pré-desenvolvimento, com parâmetros de infiltração do solo das condições iniciais pré-urbanização, visto que a instalação dessas medidas pode, de maneira indireta, recuperar parte da capacidade de infiltração do solo. Os resultados estão apresentados na seção 5.1.1.

Para as USTs RH5 e RH1 foi realizado um estudo com base em estudos conjuntos com o Instituto de Geociências (IG), sobre a provisão dos serviços ecossistêmicos de recarga de aquíferos para construção do índice de potencial de prestação de serviços ecossistêmicos relacionados a água para áreas urbanas (IPSEAU), introduzindo a modelagem com o SWMM para auxiliar essa quantificação, visto que na metodologia proposta por Castro (2017) a quantificação era realizada através do cruzamento de camadas raster de mapas no ArcGIS. O SWMM permitiu para essa análise uma quantificação mais dinâmica em relação ao tempo, podendo analisar a provisão de serviços para diversos eventos de precipitação, em diversas escalas temporais. Para essa análise os resultados são apresentados na seção 5.1.2.

Para análise do impacto dos padrões de ocupação urbana nas condições de pré-desenvolvimento foram elaborados dois cenários, um para cada geomorfologia estudada, para cálculo da vazão de pré-desenvolvimento para a área e relevos estudados para posterior comparação com a vazão regulada pela ADASA, discutidos na seção 5.2.

Logo após na seção 5.3 são expostos os resultados dos loteamentos experimentais, avaliando o comportamento hidrológico de cada padrão, dimensionamento e traçado da rede de drenagem, avaliação de custos e serviços ecossistêmicos.

Na seção 5.4 são apresentadas as comparações entre o melhor e o pior padrão, segundo os dados analisados e obtidos, e explorando os impactos destes para o tipo de solo C, menos permeável.

Para aprofundar a discussão sobre os efeitos das características geomorfológicas na geração de escoamento superficial, no item 5.5 são mostrados os cenários simulados para as topografias divergente e convergente, ambas para o padrão RH5.

Por fim na seção 5.6 é feita uma discussão destacando os principais resultados obtidos e as limitações do estudo propondo sugestões para futuras pesquisas.

5.1 ANÁLISE DO EFEITO DO TIPO DE SOLO E DO PADRÃO DE OCUPAÇÃO NA INFILTRAÇÃO E GERAÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Para analisar os efeitos da mudança do tipo de solo na geração de escoamento foram elaborados cenários com as USTs RB1 e RM, considerando a rede cadastrada pela NOVACAP e a topografia real onde a quadra está instalada. Foram também propostas medidas compensatórias para amortecimento dos impactos causados pela mudança do tipo de solo.

Para os padrões RH5 e RH1 foram elaborados cenários para quantificação do serviço ecossistêmico de recarga de aquíferos prestado em cada uma delas, utilizando a modelagem no SWMM como ferramenta de avaliação da provisão desse serviço.

5.1.1 Quadras RB1 e RM – Estudo do aumento da Vazão de Pico com a Compactação do Solo em Áreas Urbanas e a Utilização de Medidas Compensatórias

Para simular a compactação do solo nas áreas urbanas para as USTs RM e RB1, devido ao processo de instalação, foram elaborados três cenários, utilizando como cenário base de comparação o solo tipo A, do grupo hidrológico de solos da USGS, em condições naturais, e o tipo B e C, para simular a perda da capacidade de infiltração do solo devido compactação. Os resultados obtidos para as USTs estudadas estão apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Resultados da simulação de deterioração da estrutura do solo no processo de urbanização

UST RB1		
Cenário	Vazão (m³/s)	Comparações
CN A	0,4337	Cenário Base
CN B	0,4610	Aumento de 6%
CN C	0,5087	Aumento de 17%
UST RM		
Cenário	Vazão (m³/s)	Comparações
CN A	0,6765	Cenário Base
CN B	1,1483	Aumento de 70%
CN C	1,4609	Aumento de 116%

Nota-se que a mudança do grupo hidrológico do solo devido à perda da capacidade de infiltração pode gerar grandes acréscimos de vazão de 6% até mais 100 % em relação ao solo base.

Para o padrão de ocupação urbana Residencial Misto, foram utilizadas valas de infiltração para amortecimento da vazão de pico com objetivo de atingir a vazão máxima de pré-desenvolvimento conforme o espaço disponível. Para verificar as condições extremas, as valas foram alocadas nas áreas verdes e canteiros, ocupando 100% da área disponível. A chuva de projeto para análise de eficiência das valas foi de 5 anos. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Resultados da simulação de Valas de Infiltração para a UST RM

Cenário	Vazão	Vazão com a utilização de Valas	Amortecimento
CN A	0,4757	0,4381	8%
CN B	0,7742	0,5888	24%
CN C	1,0543	0,5975	43%

Devido ao espaço disponível, não foi possível atingir a vazão de pré-desenvolvimento utilizando somente as valas de infiltração, mas é possível obter reduções da vazão de pico com a utilização de uma técnica de detenção, utilizando o espaço disponível próximo ao exutório, com a instalação de uma bacia de detenção de uso múltiplo com volumes de 662 m³ para o solo A, e 993 m³, 1260 m³ para os solos tipo B e C respectivamente.

Para a UST RB1, foram utilizadas trincheiras de infiltração, ocupando os espaços disponíveis e com uma localização estratégica para amortecimento da vazão de pico. Foi simulada a eficiência das medidas compensatórias para as chuvas de projeto de 2, 5 e 10 anos de tempo de recorrência. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Resultados da simulação de técnicas compensatórias para a UST RB1.

TR	Cenário	Vazão sem LIDs (m ³ /s)	Vazão com o uso de LIDs (m ³ /s)	Amortecimento
10	CN A	0,4337	0,1960	54,81%
	CN B	0,461	0,2333	49,40%
	CN C	0,5087	0,2760	45,74%
5	CN A	0,3725	0,1468	60,59%
	CN B	0,3988	0,1782	55,31%
	CN C	0,4306	0,2074	51,83%
2	CN A	0,3028	0,0814	73,11%
	CN B	0,3194	0,1125	64,77%
	CN C	0,3493	0,1475	57,77%

Nesse caso também não foi possível atingir a vazão de pré-desenvolvimento para a UST RB1, e não é possível a utilização de uma técnica de detenção sem a supressão de vagas de estacionamento, próximo ao exutório da rede. Não foi considerada a hipótese de reservatórios subterrâneos devido aos custos, em geral elevados.

5.1.2 Quadras RH1 e RH5 – Estudo da provisão do serviço ecossistêmico de recarga de aquíferos

Utilizando a metodologia proposta por Castro (2017) e Costa (2019), aliada à modelagem do SWMM, quantificou-se o potencial de recarga de aquíferos a partir da simulação com um evento de período de retorno de 10 anos. A Tabela 5.4 mostra os resultados obtidos para os parâmetros de infiltração, escoamento, calculando-se, desta forma, a recarga de aquíferos.

Tabela 5.4: Resultados dos parâmetros para construção do Índice de Prestação de Serviços Ecossistêmicos Urbanos relacionados a Água (IPSEU).

Parâmetro	RH1	RH5
Infiltração Potencial (mm)	55,46	114,23
Disponibilidade de água para recarga (%)	3,8	7,5
Potencial de Recarga de Aquíferos (%)	7,4	16,8
Escoamento Superficial (m ³ /s)	1,1636	0,7218

Para construção do IPSEU, os resultados obtidos foram normalizados de 0 a 1, para que posteriormente fossem somados de maneira igualitária, conforme discutido por Dobs *et al.* (2014). Prosseguindo desta forma, obtiveram-se os valores de IPSEU de 0,038 para a UST RH1, e 0,083 para a UST RH5.

Visto os dois padrões possuem densidade de ocupação bem diferenciados, sendo o RH1 com maior densidade e área impermeabilizada e o RH5 com baixa densidade e uma menor área impermeabilizada, infere-se que a densidade de ocupação e morfologia influem diretamente na prestação de serviços ecossistêmicos ligados a água para áreas urbanas.

5.2 VAZÃO DE PRÉ-DESENVOLVIMENTO PARA O CENÁRIO DE LOTEAMENTOS EXPERIMENTAIS

A vazão de pré-desenvolvimento foi calculada seguindo duas metodologias, utilizando primeiramente a vazão de restrição da Resolução nº 09/2011 da ADASA de 24,4 l/s. ha, e utilizando o método SCS no modelo SWMM. Para aplicação do SWMM, o curva-número adotado para a ocupação de cerrado no solo A foi de 45, e para o solo B, de 58.

O valor da vazão de pré-desenvolvimento estabelecida na Resolução 09/2011 da ADASA, foi obtido pela aplicação do método racional, utilizando a chuva de projeto da IDF da CONCREMAT (2008), e o coeficiente de escoamento superficial de 0,15 para uma área de 100 ha (ADASA, 2018).

Considerando o coeficiente de *runoff* de 0,15, equivalente a áreas gramadas com solo de alta permeabilidade, leva a um valor muito restritivo quando comparado a permeabilidade de solos como o Cambissolo e Argissolo. Para que este valor atinja as condições de solos menos permeáveis seria necessário aumentar o coeficiente para pelo menos 0,55 (Jabôr, 2018).

Para cálculo da vazão de pré-desenvolvimento neste trabalho, adotou-se a locação das bacias em relação às curvas de nível para entrada no modelo conforme ilustrado na Figura 5.1, onde se considerou uma área retangular de 100 hectares, com um exutório a jusante, a chuva de projeto da equação IDF da CONCREMAT (2008), e o valor de CN de 45 para o solo A, e para o solo B de 58, considerando uma cobertura do solo de cerrado nativo.

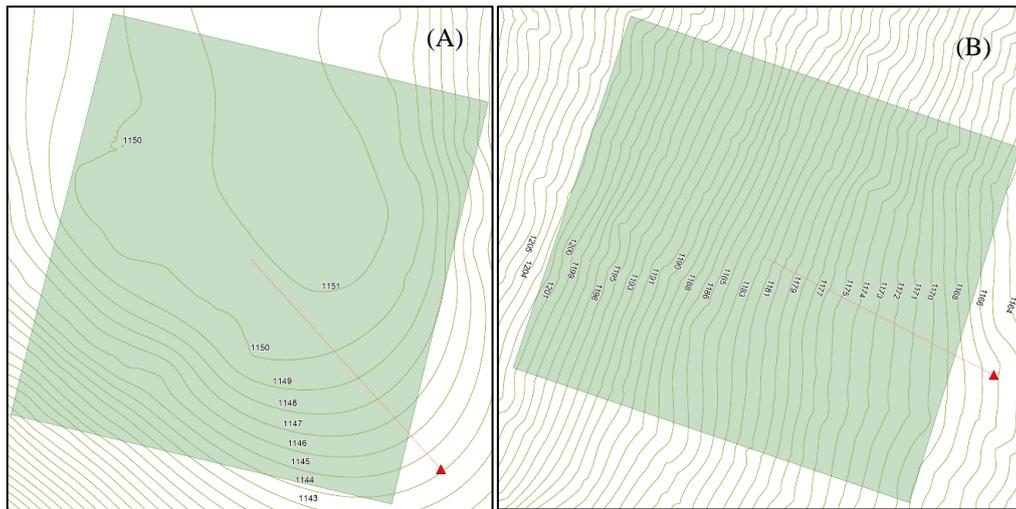


Figura 5.1: Bacias modeladas para o cenário de pré-desenvolvimento e localização em relação as curvas de nível, (A) Relevo Convexo Convergente e (B) Relevo Planar.

Os resultados obtidos foram de 60 l/s.ha para o solo A, e 90 l/s.ha para o solo B para a chuva de projeto, TR 10 Anos, do PDDU. Adotaram-se os menores valores entre os resultados obtidos para as duas geomorfologias para facilitar o cálculo e comparações entre os cenários posteriores, e também para preservação de um parâmetro de pré-desenvolvimento que não gerasse vazões de pico elevadas, sendo quase similares a pós urbanização.

Nas primeiras simulações observou-se que não havia geração de escoamento superficial para o CN e o evento considerado, devido à alta permeabilidade do solo e consideração do parâmetro de abstração inicial, que se refere a capacidade de retenção de água pelo solo, ser muito alto. Tendo como hipótese de que o escoamento superficial não poderia ser nulo para o evento considerado, foram assumidos alguns parâmetros para possibilitar a geração da vazão de pré-desenvolvimento. Foi necessário a adoção de um valor nulo para a abstração inicial no modelo (DS PERV), e considerar a taxa de impermeabilidade do modelo de 25% para gerar os resultados obtidos.

A vazão de pré-desenvolvimento calculada para o solo A foi 2,5 vezes maior que a obtida pela ADASA, e para o solo B, 3,5 vezes maior. Nota-se que a diferença do tipo de solo pode afetar as condições de pré-desenvolvimento, e destaca-se a hipótese de que a vazão de pré-desenvolvimento estabelecida pela regulação esteja descompassada para solos menos permeáveis.

5.3 LOTEAMENTOS PROJETADOS COM BASE EM ESTRUTURAS URBANAS USUAIS NO DF

Nesta seção serão abordados os resultados obtidos para os loteamentos projetados, ilustrados nas Figuras 4.16, 4.17, 4.18 e 4.19. O projeto urbanístico seguiu o traçado original das quadras 700 e 400 do Plano Piloto para as USTs RM e RB2, o traçado das quadras da região das 900 para a UST RB1 e o da UST RH5 o traçado de quadras de loteamentos da região administrativa do Riacho Fundo e Park Way. O dimensionamento da rede e o traçado foi realizado de acordo com o explanado no item 4.3, conforme a legislação vigente.

Primeiramente na seção 5.3.1 serão demonstradas as vazões de pico geradas em função da geomorfologia e do padrão de ocupação, mostrando qual padrão gera uma maior taxa de escoamento superficial, e a influência da geomorfologia nesse processo. Para tentar reestabelecer as condições de pré-desenvolvimento foram elaborados cenários com a aplicação de medidas compensatórias, calculando a efetividade das medidas em função do amortecimento do volume de escoamento superficial gerado.

No item 5.3.2 são mostrados os custos de instalação da rede de drenagem obtidos em função do padrão de ocupação e da geomorfologia. Notou-se que a topografia possui uma influência bastante considerável nesta dimensão do projeto.

Por fim no item 5.3.3 são apresentadas as avaliações da provisão de serviços ecossistêmicos por padrão de ocupação e geomorfologia.

5.3.1 Impacto dos padrões de ocupação urbana no ambiente por relevo e o uso de LIDs para reestabelecer as vazões de pré-desenvolvimento

Nesta seção serão discutidos os resultados obtidos de vazões unitárias por padrão de ocupação residencial em função do relevo e do solo, utilizando a chuva de projeto com período de retorno de 10 anos, e os resultados da utilização de medidas compensatórias para reestabelecer as condições de pré-desenvolvimento. O gráfico ilustrado na Figura 5.2 demonstra os resultados obtidos de vazões unitárias, por padrão de ocupação para o relevo convexo convergente e tipo de solo nos cenários de rede convencional e LIDs.

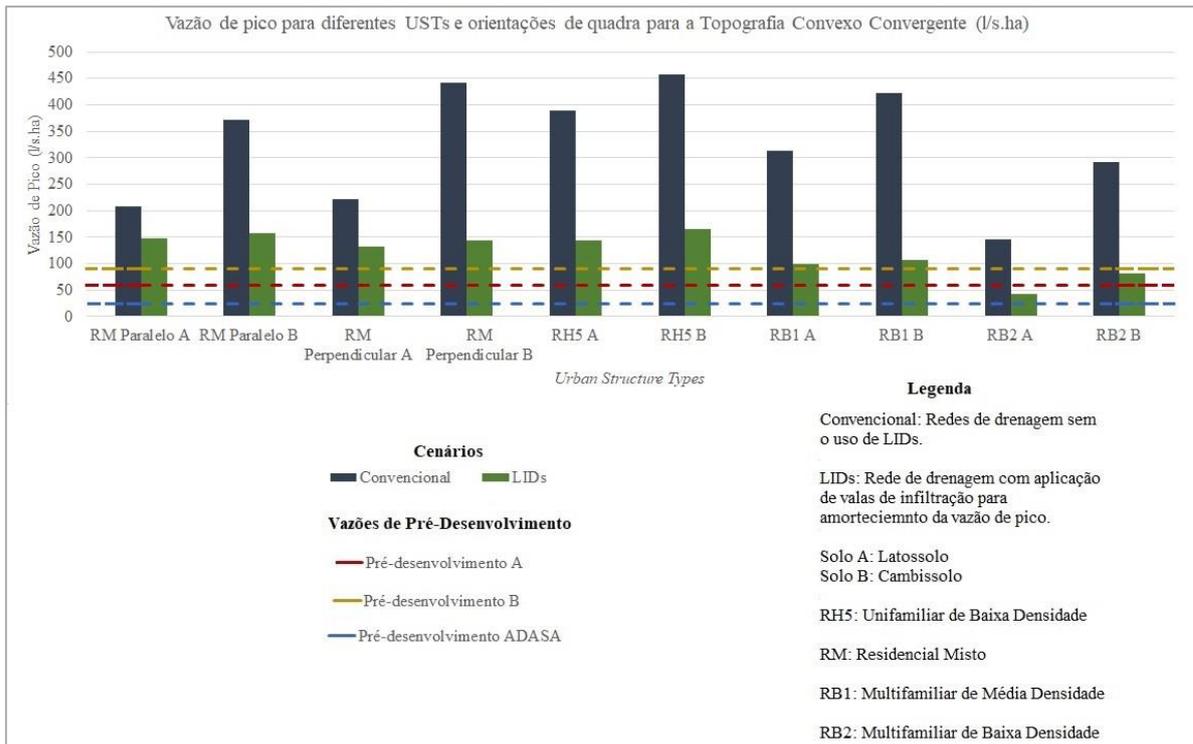


Figura 5.2: Gráfico de vazões unitárias por padrão de ocupação residencial, relevo convexo convergente.

Como esperado, a UST RB2 gerou o menor impacto sobre as vazões de pré-desenvolvimento, devido à grande taxa de áreas verdes presentes nesse padrão. Em contraponto, a UST com maior impacto sobre as vazões de pré-desenvolvimento foi a RH5. Apesar de os dois padrões possuírem a mesma taxa populacional, a UST RH5 apresenta menor quantidade de áreas verdes, e maior taxa de áreas impermeáveis.

Quanto a análise da posição da quadra em relação as curvas de nível, para o loteamento residencial misto (RM), foi possível notar que para o relevo convexo convergente, a posição das quadras paralelas as curvas de nível foi levemente mais propícia do que a perpendicular, avaliando a vazão de pico gerada. Este fato pode estar aliado à posição da quadra paralela às curvas de nível ter sido locada em uma região de menor declividade, influenciando nas taxas de infiltração, desta forma gerando um menor volume de escoamento superficial.

A UST RB1, apresentou resultados intermediários em relação aos padrões analisados. Porém é possível observar que devido à grande taxa de área impermeável desse padrão, a vazão unitária obtida para o solo A se assemelha a vazão unitária obtida para o solo B da UST RB2, porém ainda menor do que a vazão do solo A para a UST RH5.

Para o cenário de LIDs a UST que demonstrou maior eficiência foi a RB2, seguida pela RB1 e RH5. A UST RM teve a pior eficiência no amortecimento da vazão de pico por medidas compensatórias, esse fato pode estar aliado à geometria da quadra e arranjo, que necessitaria de um estudo mais aprofundado de melhor localização para obtenção de uma maior eficiência com o uso de LIDs.

A locação das valas-trincheira foi realizada seguindo o traçado urbanístico e a topografia, para aproveitar o caminamento natural das águas na UST, conforme arranjo. A locação, disposição das LIDs está demonstrada no Apêndice A. Os parâmetros utilizados no projeto estão especificados na Tabela 4.5.

Quanto ao reestabelecimento das vazões de pré-desenvolvimento, considerando as vazões calculadas, os padrões em que foi possível atingir a vazão de meta foi o RB2 para o solo A e B. Para os padrões RM, RH5 e RB1 não foi possível atingir as condições de pré-desenvolvimento somente com a utilização de valas-trincheira, no entanto há espaço disponível nas USTs RM e RH5 para locação de técnicas de retenção para amortecimento da vazão remanescente. A Tabela 5.5 mostra o volume e profundidade necessários de armazenamento da técnica de retenção para atingir a vazão de pré-desenvolvimento calculada e a de pré-desenvolvimento da ADASA.

O espaço disponível para locação das bacias de retenção na UST RH5 e RM, localiza-se no centro de cada unidade UST, em uma quadra poliesportiva de 40 metros de comprimento por 20 metros de largura (Dimensões para quadras poliesportivas de escolas de ensino público – Bauer, FNDE). Para cada unidade foi alocada uma bacia de retenção. Para a UST RB1, não há espaço disponível dentro da Bacia, no entanto a nível de análise foi adotada uma área necessária para que a profundidade da bacia não exceda 3,00 metros, devido ao volume de escavação e impacto ambiental no manejo do solo da bacia.

Tabela 5.5: Cenário de LIDs - Volume remanescente a ser amortecido por técnicas de detenção para atingir as condições de pré-desenvolvimento, Relevo Convexo Convergente.

Padrão UST	Volume de armazenamento para a vazão calculada (m³)	Volume de armazenamento para a vazão regulada pela ADASA (m³)	Área Disponível para Locação das Bacias de Detenção (m²)	Profundidade por Bacia necessária para a vazão calculada (m)	Profundidade por Bacia necessária para a vazão regulada pela ADASA (m)
RM Paralelo A	9519,19	15527,10	14400	0,70	1,10
RM Paralelo B	7297,74	17401,00	14400	0,55	1,25
RM Perpendicular A	8276,29	14357,20	14400	0,60	1,00
RM Perpendicular B	6609,22	17039,00	14400	0,50	1,20
RH5 A	5778,71	9253,93	4800	1,20	1,95
RH5 B	6475,71	12423,40	4800	1,35	2,60
RB1 A	2503,33	4974,67	2000	1,25	2,50
RB1 B	1401,66	7327,21	2500	0,60	2,95
RB2 A	-	2040,07	1600	-	1,30
RB2 B	-	4269,86	1600	-	2,70

Em geral, os padrões instalados em ambas geomorfologias aumentaram em média de 140 a quase 600% a geração de escoamento superficial em comparação a vazão de pré-desenvolvimento calculada. Os resultados para o relevo planar estão expostos no gráfico ilustrado na Figura 5.3.

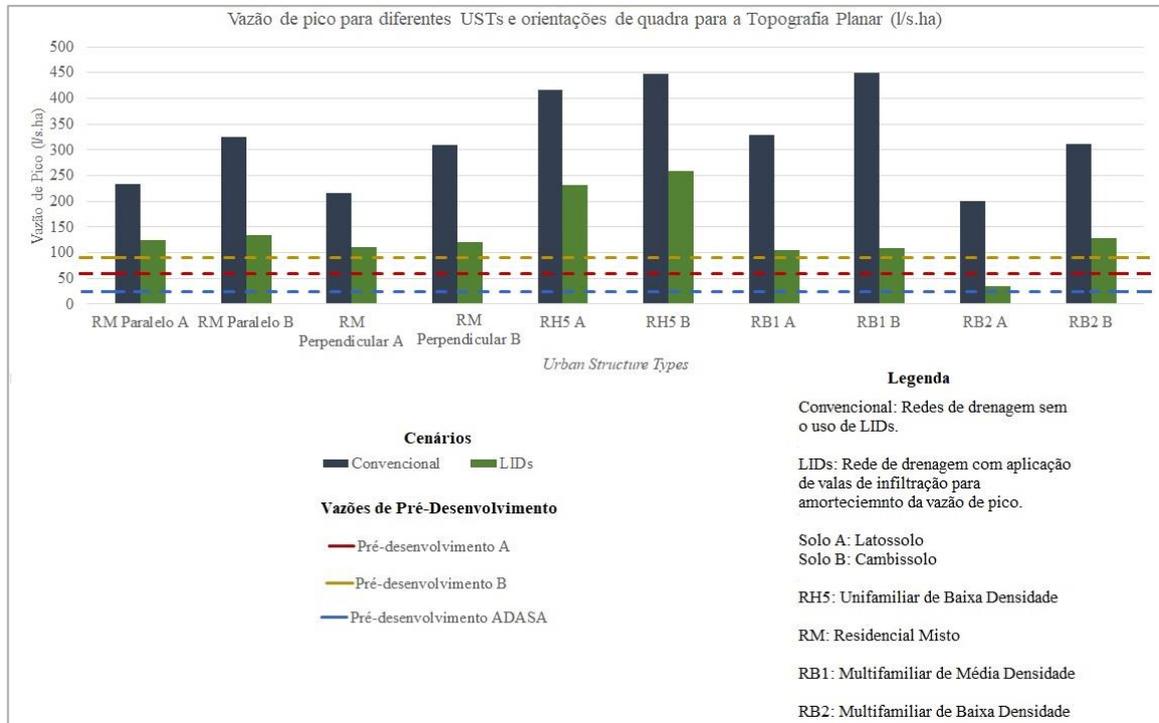


Figura 5.3: Gráfico de vazões unitárias por padrão de ocupação residencial, relevo planar.

Em média o relevo planar gerou vazões 11% maiores em comparação a geomorfologia convexo convergente, para as USTs RH5, RB1 e RB2. Para esta geomorfologia a disposição das quadras perpendiculares as curvas de nível para o padrão RM, apresentou uma menor geração de runoff, em comparação a disposição paralela.

A geomorfologia planar seguiu as mesmas tendências de comportamento dos padrões no geral, sendo o RB2 o que gera o menor impacto, porém para este caso, a UST que apresentou maior impacto foi a RB1 para o solo B.

Observou-se para o cenário de LIDs um melhor desempenho da UST RB2, RB1 e a UST RM na configuração perpendicular. No entanto a única UST em que foi possível atingir as condições de pré-desenvolvimento para esta geomorfologia foi a RB2 para o solo A, as demais ainda possuem volumes excedentes a serem abatidos utilizando técnicas de retenção.

A Tabela 5.6 mostra o volume e profundidade necessários de armazenamento da técnica de retenção para atingir a vazão de pré-desenvolvimento calculada e a de pré-desenvolvimento da ADASA, utilizando das mesmas áreas e técnicas apresentadas para a geomorfologia convexo convergente.

Tabela 5.6: Cenário de LIDs - Volume remanescente a ser amortecido por técnicas de detenção para atingir as condições de pré-desenvolvimento, Relevo Planar.

Padrão UST	Volume de armazenamento para a vazão calculada (m³)	Volume de armazenamento para a vazão regulada pela ADASA (m³)	Área Disponível para Locação das Bacias de Detenção (m²)	Profundidade por Bacia necessária para a vazão calculada (m)	Profundidade por Bacia necessária para a vazão regulada pela ADASA (m)
RM Paralelo A	8853,97	15135,25	14400	0,65	1,05
RM Paralelo B	6713,39	17415,16	14400	0,50	1,25
RM Perpendicular A	7638,38	19324,06	14400	0,55	1,35
RM Perpendicular B	5523,85	16594,95	14400	0,40	1,15
RH5 A	12289,06	17330,56	5800	2,15	3,00
RH5 B	16040,51	25622,34	8500	1,90	3,00
RB1 A	2610,69	5071,54	2000	1,30	2,55
RB1 B	1597,01	7428,2	2500	0,65	3,00
RB2 A	-	1646,80	1600	-	1,05
RB2 B	648,39	4111,52	1600	0,45	2,60

No geral a UST planar gerou um menor volume necessário de bacias de detenção para amortecimento da vazão de pico remanescente para atingir as condições de pré-desenvolvimento.

A avaliação da eficiência de LIDs por relevo, está demonstrada na Figura 5.4, no gráfico eficiência de LIDs, considerando o amortecimento em volume do escoamento superficial gerado em função da morfologia urbana.

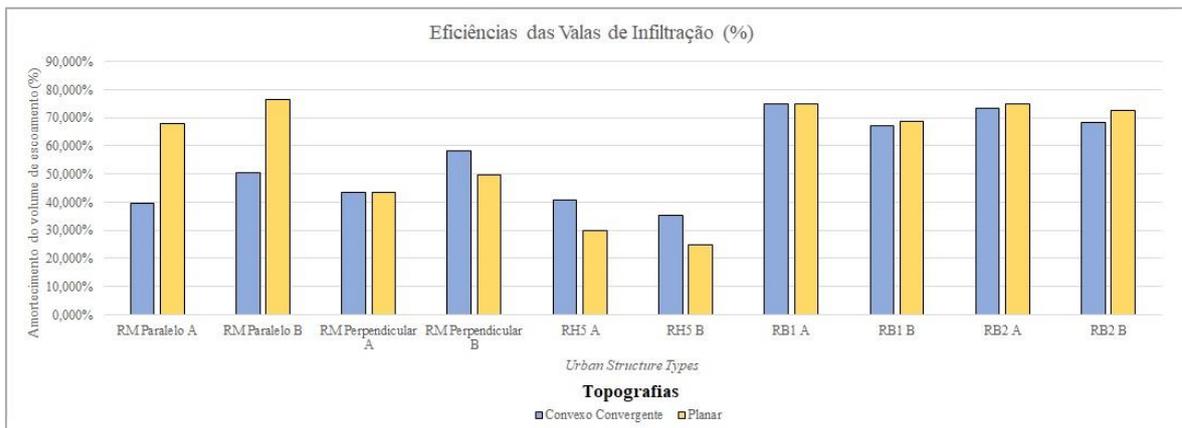


Figura 5.4: Gráfico da eficiência das medidas compensatórias em volume por padrão de ocupação residencial.

A eficiência das LIDs variou em função do padrão e geomorfologia. Para a UST RM a posição das quadras e geomorfologia teve um papel fundamental na eficiência das medidas compensatórias, sendo a posição paralela mais favorável para amortecimento no relevo planar, e a perpendicular para o relevo convexo convergente. Embora a posição paralela das quadras tenha gerado um maior volume de escoamento superficial para a geomorfologia planar, o amortecimento deste volume excedente pela medida compensatória foi quase 30% maior em comparação a geomorfologia convexo convergente. A hipótese a ser levantada nesse caso é que a posição da quadra em relação a topografia tem influência direta no direcionamento da água entre as áreas permeáveis e impermeáveis. O arranjo da quadra onde a direção das curvas de nível estiver mais propícia para direcionar a água das áreas impermeáveis para as medidas compensatórias, apresentará por consequência um maior abatimento no volume de escoamento e maior eficiência da LID.

É possível ressaltar também que apesar de no geral o relevo planar ter demonstrado uma eficiência de LIDs levemente superior para a maior parte dos cenários simulados, esta

geomorfologia gerou uma área necessária de bacias de retenção para amortecimento da vazão remanescente maior que na geomorfologia convexa, devido ao maior volume de escoamento superficial gerado.

5.3.2 Custo de Implantação de rede por relevo

Conforme os critérios técnicos discutidos na seção 4.6, o cálculo do custo da rede prosseguiu com o uso de planilhas, seguindo a composição dos sistemas referenciais de orçamento brasileiros para obras civis.

O resultado do custo da rede para este estudo é apresentado por metro executado para possibilitar comparações de instalações em diferentes geomorfologias para estudos futuros. O gráfico retratado na Figura 5.5 mostra o custo da rede de drenagem por metro executado em função da geomorfologia e do padrão de ocupação.

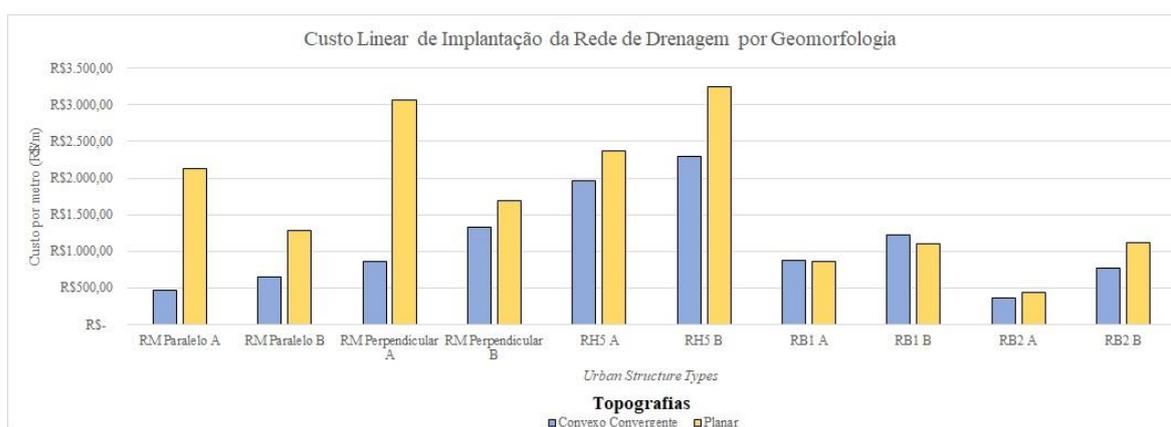


Figura 5.5: Gráfico do custo de implantação da rede de drenagem em função da geomorfologia e padrão de ocupação.

Constata-se observando o gráfico da Figura 5.4 que a geomorfologia planar apresenta custos maiores que a geomorfologia convexo convergente. A UST RB1 apresentou ligeiramente um custo maior para a geomorfologia convexo convergente devido ao traçado dos coletores, porém as maiores vazões e diâmetros para este padrão se apresentaram na geomorfologia planar.

O fato de o relevo planar apresentar no geral custos mais elevados se deve a altas declividades, que levaram a maiores vazões, necessidade de dispositivos de queda e

materiais mais rugosos para dissipação de energia devido a altas velocidades próximas ao exutório.

Outra constatação para justificativa dos custos é que a geomorfologia convexo convergente, que se encontra próximo a divisores naturais de bacias, possibilita uma melhor divisão das áreas de contribuição para os condutos, gerando assim menores vazões e uso também de menores diâmetros com custos mais baixos.

A relação dos custos por diâmetro é ilustrada na Figura 5.6, onde nota-se que esta relação não ocorre de maneira linear.

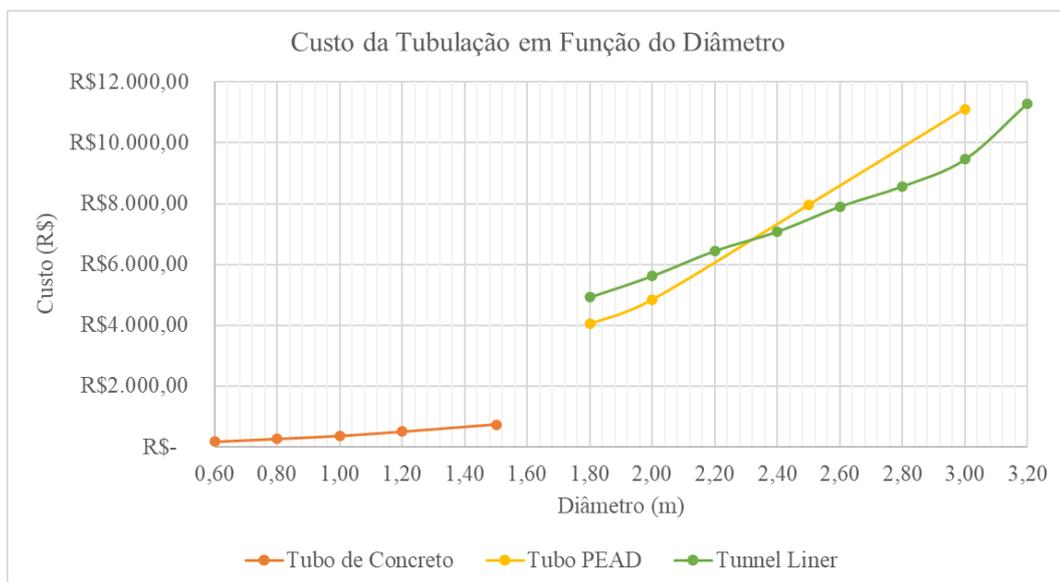


Figura 5.6: Gráfico do custo da tubulação de drenagem, Materiais: Concreto Armado até 1,50 m e PEAD e Tunnel Liner para diâmetros acima de 1,80 m. (Fonte: SINAPI Desonerada, SICRO)

Após o diâmetro de 1,50 metros o custo da tubulação apresenta um salto crescente, se estabilizando próximo aos diâmetros de 1,80 e 2,00 e logo após crescente com maior intensidade até o diâmetro máximo de 3,00 metros. Quanto maior o uso de tubulações de diâmetros maiores, maior o custo final da obra, isto pode ser observado principalmente na mudança de tipo de solo, apresentando um salto no custo em média de 30% devido a menor capacidade de infiltração do solo B em comparação ao solo A.

Para ambas geomorfologias, a UST que levou ao menor custo de instalação é a RB2, devido essa possuir maior porcentagem de áreas permeáveis e gerar uma menor vazão de pico, utilizando menores diâmetros e apresentando um menor custo de escavação. A UST que se apresentou mais onerosa para ambos os casos foi a RH5, devido a sua maior porcentagem de áreas impermeáveis em comparação aos demais padrões estudados, e possivelmente sua compactidade, que gera um menor número de ramificações da rede de drenagem sobrecarregando os troncos principais nas avenidas, como pode ser observado no traçado completo da rede no Apêndice A.

Analisando os traçados de rede, observa-se que alguns padrões demandam uma maior extensão de tubulações, em comparação a outros, devido ao arranjo das edificações e da infraestrutura, e do direcionamento do relevo. A Tabela 5.7 mostra a extensão de rede média de cada padrão. Buscou-se fazer um traçado que atendesse todos os lotes e áreas contribuintes.

Tabela 5.7: Extensão de Rede em função do Padrão de Ocupação.

Padrão	Extensão de Rede (m)
RM Paralelo	21.576,75
RM Perpendicular	20.494,72
RH5	10.201,88
RB1	12.751,59
RB2	10.860,12

Observa-se que o padrão de ocupação RM apresenta uma maior extensão de rede em comparação aos demais, isso se deve à disposição das edificações que por sua vez exigem um traçado mais ramificado, atendendo áreas de contribuição no geral pequenas. As demais USTs apresentaram extensões de rede ligeiramente semelhantes, devido a um traçado urbanístico mais ortogonal para os casos da RH5 e RB1, e a menor área impermeável contribuinte para o caso da UST RB2.

A declividade onde já se fazia necessário o uso de técnicas para dissipação de energia encontrada foi de 3,00% comparando-se todos os traçados e projetos desenvolvidos. A partir deste valor foi necessário o uso de degrau, dispositivos de queda ou materiais mais rugosos para dissipação da energia para atender os critérios máximos de velocidades estabelecidos na legislação. As Figuras 5.7 a 5.14 mostram os perfis críticos para as USTs RM e RH5 onde

foi necessário o uso de técnicas de dissipação de energia. As demais USTs apresentaram vazões de pico menores nos exutórios e menores velocidades nos troncos principais.

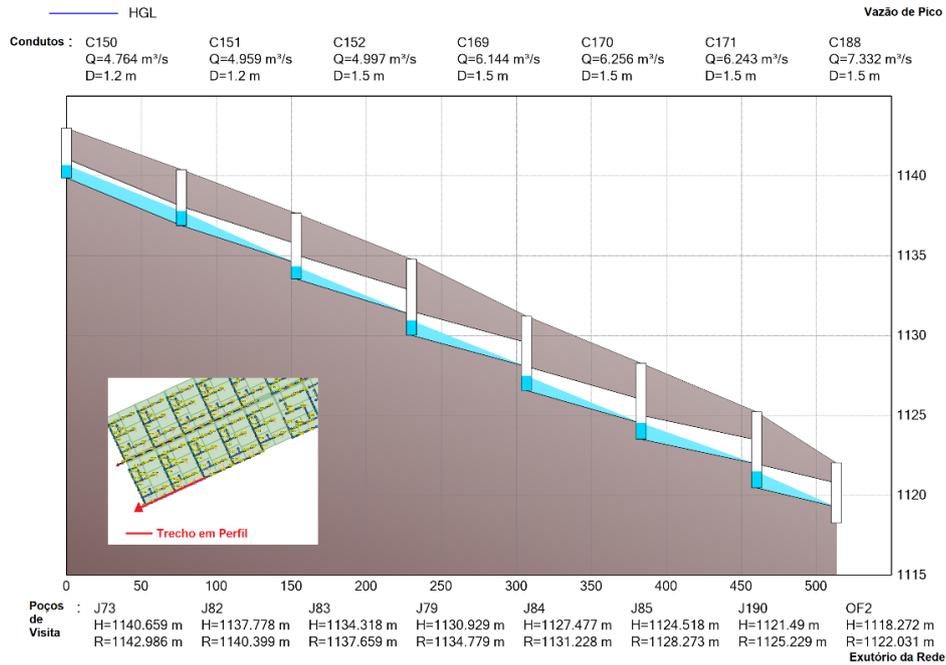


Figura 5.7: Perfil da Rede para o Cenário da Morfologia Urbana RM paralela as curvas de nível, Topografia Convexo Convergente, Solo A, Trecho Crítico de C150 a C188, próximo ao exutório em destaque (Traçado completo da rede no Apêndice A)

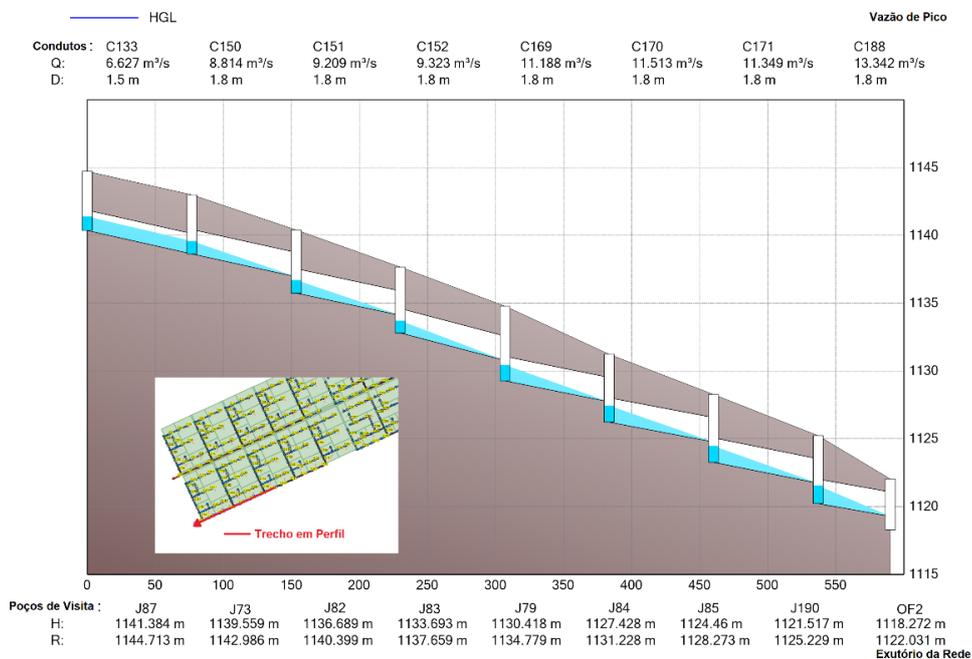


Figura 5.8: Perfil da Rede para o Cenário da Morfologia Urbana RM paralela as curvas de nível, Topografia Convexo Convergente, Solo B, Trecho Crítico de C133 a C188, próximo ao exutório em destaque (Traçado completo da rede no Apêndice A)

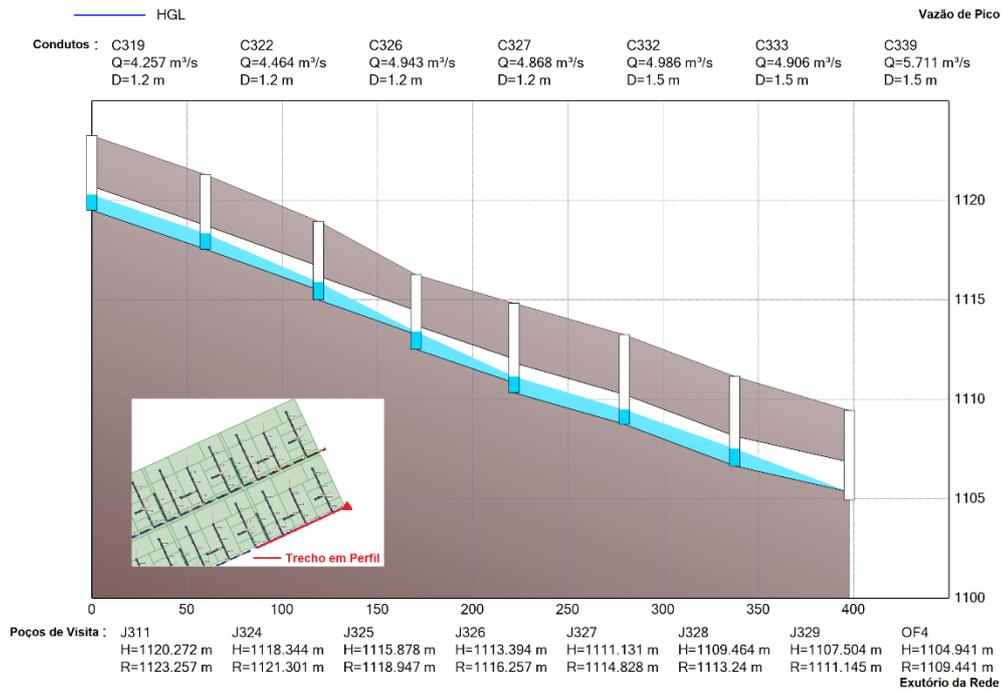


Figura 5.9: Perfil da Rede para o Cenário da Morfologia Urbana RM perpendicular as curvas de nível, Topografia Convexo Convergente, Solo A, Trecho Crítico de C319 a C339, próximo ao exutório em destaque (Traçado completo da rede no Apêndice A)

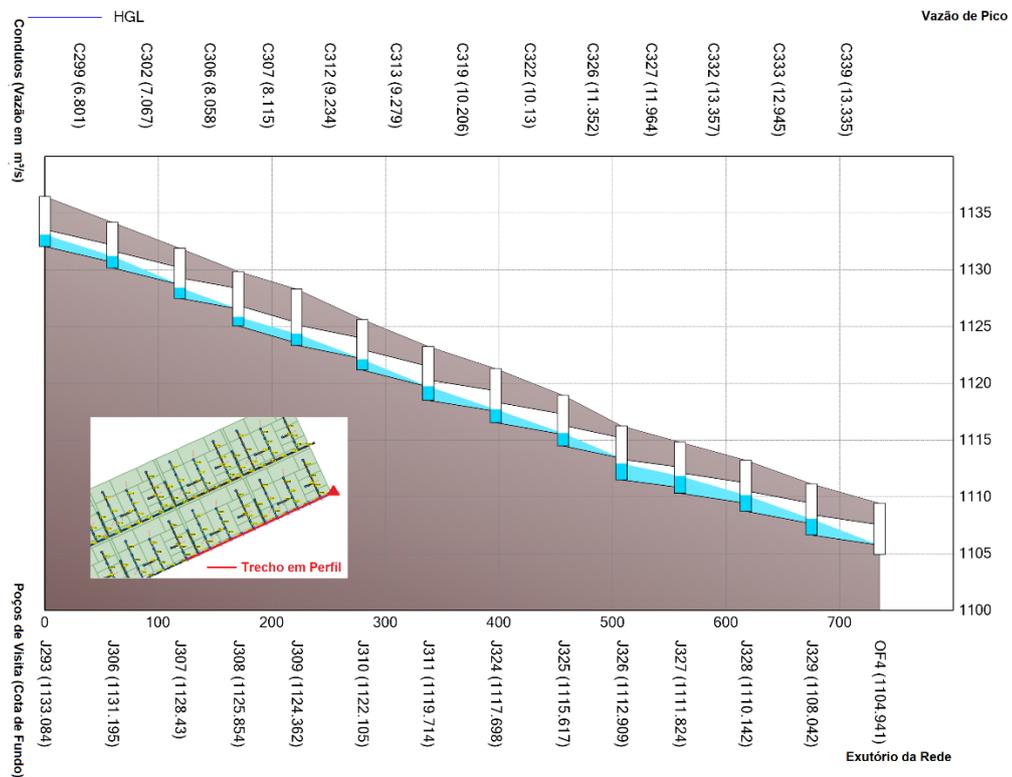


Figura 5.10: Perfil da Rede para o Cenário da Morfologia Urbana RM perpendicular as curvas de nível, Topografia Convexo Convergente, Solo B, Trecho Crítico de C299 a C339, próximo ao exutório em destaque (Traçado completo da rede no Apêndice A)

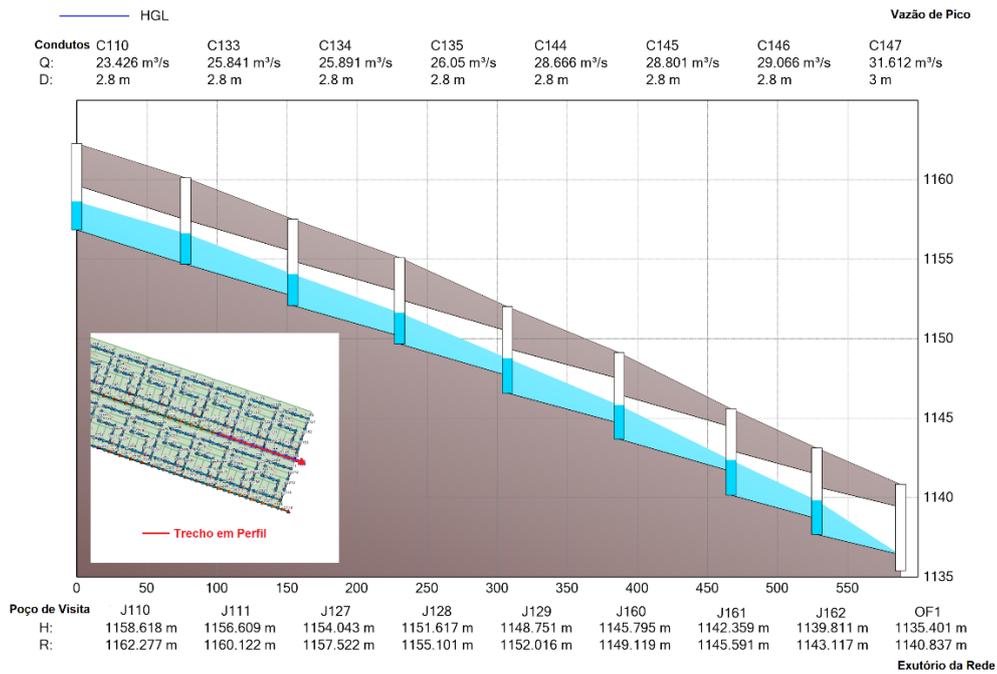


Figura 5.11: Perfil da Rede para o Cenário da Morfologia Urbana RM paralelo as curvas de nível, Topografia Planar, Solo A, Trecho Crítico de C110 a C147, próximo ao exutório em destaque (Traçado completo da rede no Apêndice A)

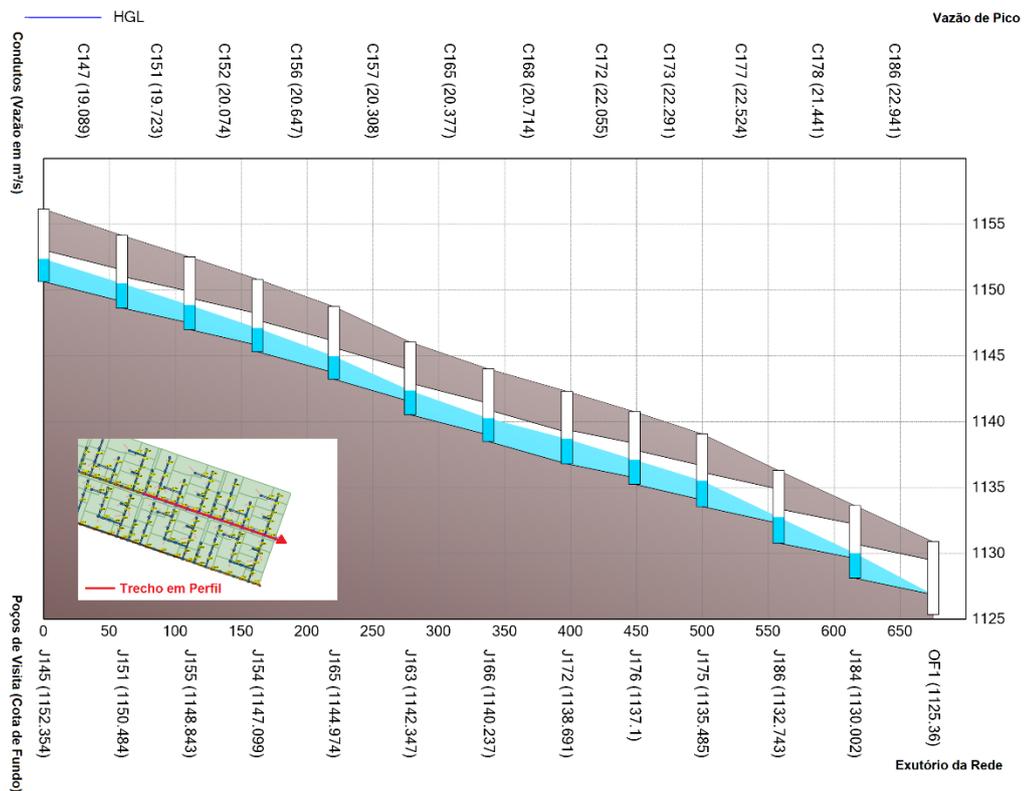


Figura 5.12: Perfil da Rede para o Cenário da Morfologia Urbana RM perpendicular as curvas de nível, Topografia Planar, Solo B, Trecho Crítico de C147 a C186, próximo ao exutório em destaque (Traçado completo da rede no Apêndice A)

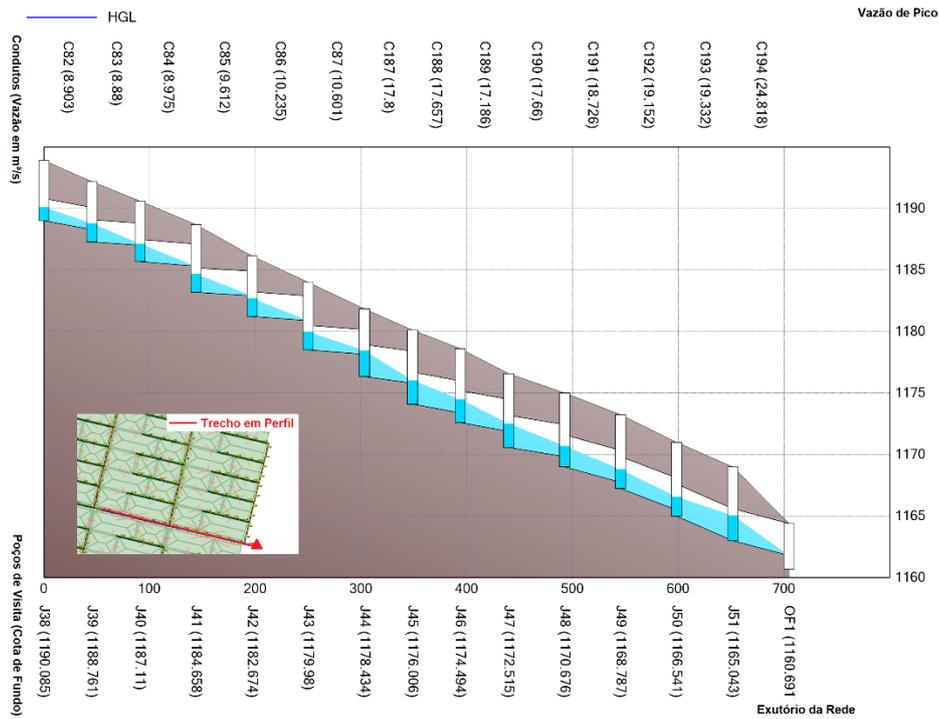


Figura 5.13: Perfil da Rede para o Cenário da Morfologia Urbana RH5, Topografia Planar, Solo A, Trecho Crítico de C82 a C194, próximo ao exutório em destaque (Traçado completo da rede no Apêndice A)

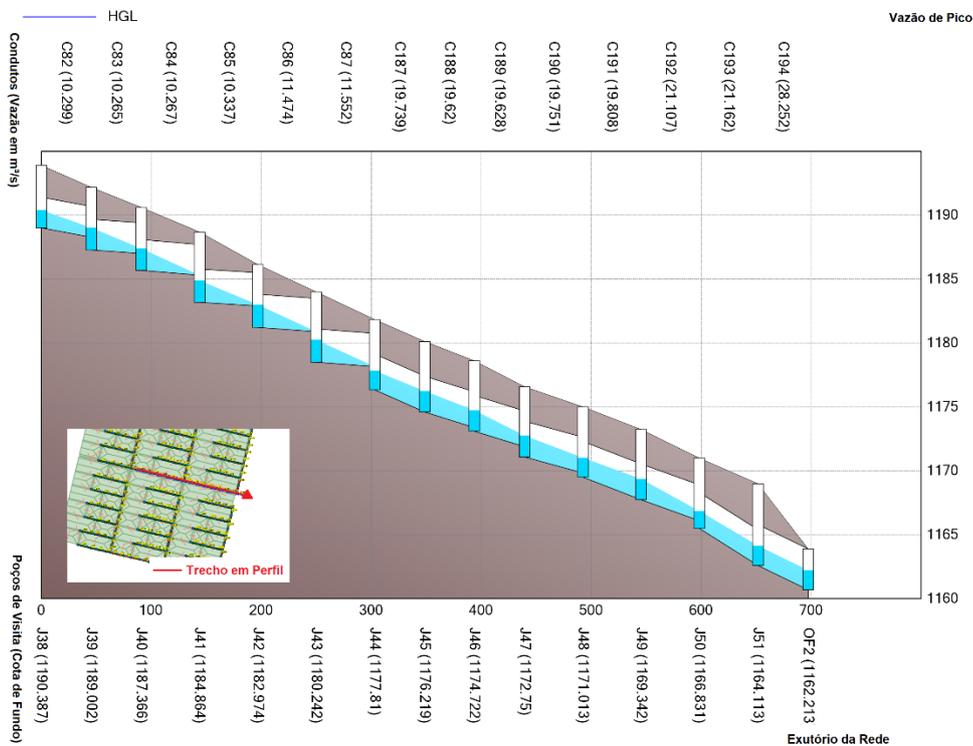


Figura 5.14: Perfil da Rede para o Cenário da Morfologia Urbana RH5, Topografia Planar, Solo B, Trecho Crítico de C82 a C194, próximo ao exutório em destaque (Traçado completo da rede no Apêndice A)

Outra dimensão que também possui influência sobre os custos de implantação da rede de drenagem é o dimensionamento dos condutos, que é fortemente influenciada pela direção da topografia do terreno que define por onde os condutos de drenagem devem transitar, de maneira a ter um melhor aproveitamento e eficiência. Conforme citado na seção 3.4, sobre a otimização de dimensionamento de redes de drenagem, o traçado proposto pode não ser o ótimo em questão de aproveitamento da capacidade máxima de vazão dos condutos, porém pode nos levar a uma base de custo de implantação por geomorfologia, e apontar qual padrão e geomorfologia onde seria necessária a aplicação de um esforço maior de otimização econômica de rede. Outro argumento que também pode ser levantado é o fato de o novo enfoque dos projetos de drenagem estarem aliados a diminuição do volume de água que atinge as redes de drenagem por meio do uso de medidas compensatórias, diminuindo assim o custo da rede e a utilização de grandes diâmetros.

5.3.3 SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

Nesta seção são levantadas discussões sobre os aspectos ambientais dos projetos de drenagem, onde são demonstrados os estudos de serviços ecossistêmicos prestados pelos padrões de ocupação urbana, infiltração e recarga de aquíferos, melhoria da qualidade da água superficial e prevenção de alagamentos utilizando medidas compensatórias, e os desserviços gerados como por exemplo escoamento superficial e movimento de terra.

Nas Figuras 5.15 e 5.16 apresentam-se os gráficos de balanço hídrico obtidos por geomorfologia, padrões de ocupação urbana e cenários simulados.

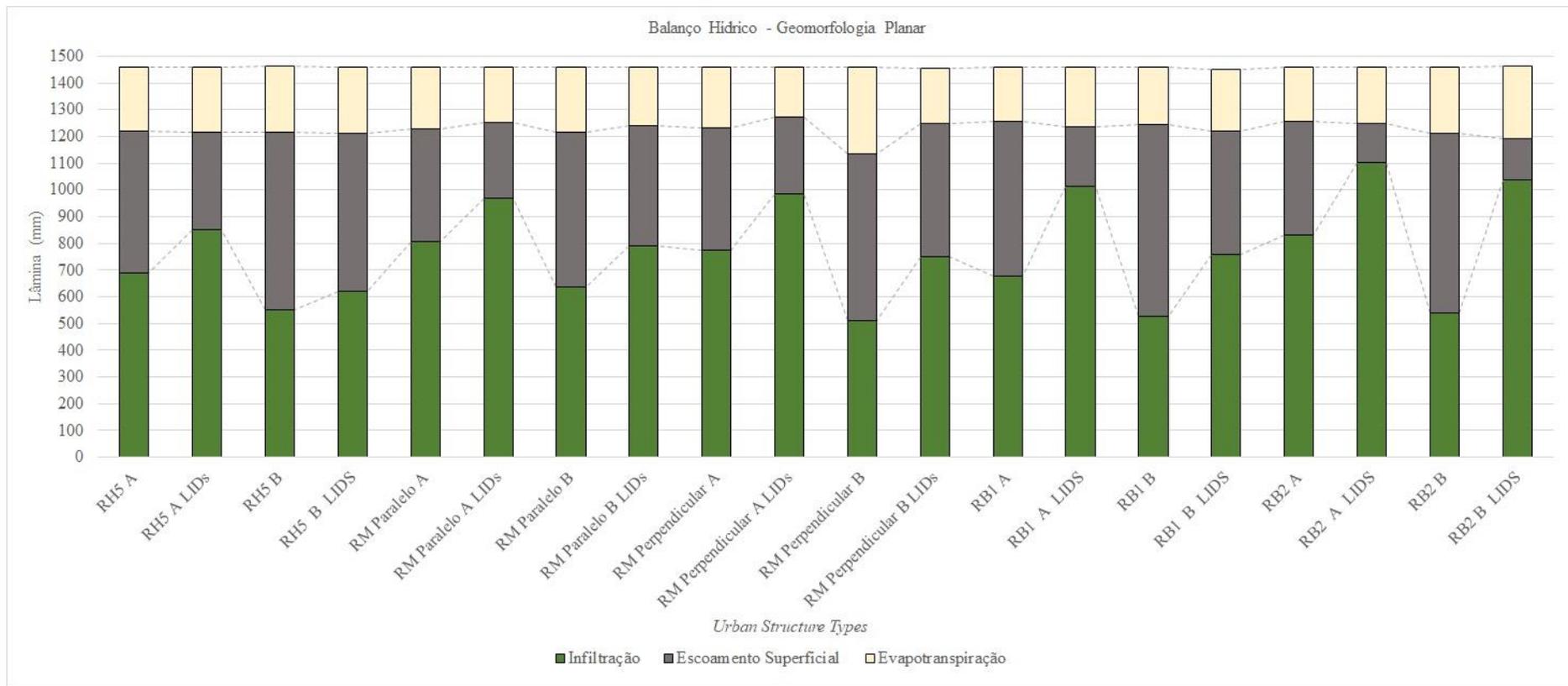


Figura 5.15: Gráfico do Balanço Hídrico em função da Geomorfologia e do Padrão de Ocupação, Relevo Planar.

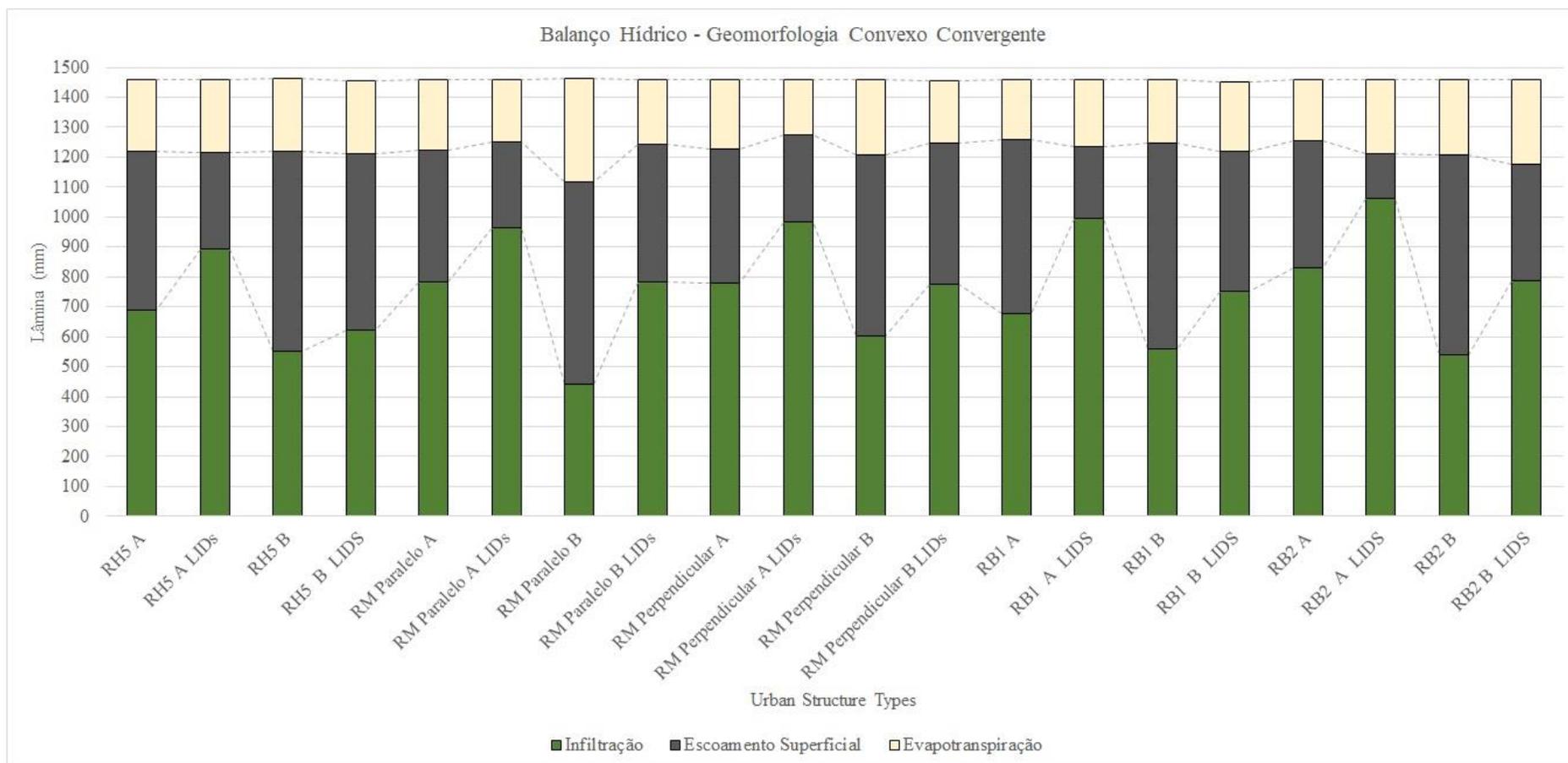


Figura 5.16: Gráfico do Balanco Hídrico em função da Geomorfologia e do Padrão de Ocupação, Relevo Convexo Convergente

5.3.3.1 Recarga Efetiva de Aquíferos

A quantificação da recarga efetiva de aquíferos foi realizada através das simulações de modelo contínuo pelo cálculo do balanço hídrico e logo após aplicando os valores obtidos na equação 4.5, apresentada na seção 4.4.

A Tabela 5.8 e 5.9 mostra os valores encontrados para a infiltração e evapotranspiração do balanço hídrico em função da geomorfologia e UST, obtendo-se por final a recarga efetiva de aquíferos para todos os cenários dimensionados.

Tabela 5.8: Recarga Efetiva em função do Padrão de Ocupação, geomorfologia Convexo Convergente.

UST	Evapotranspiração (mm)	Infiltração (mm)	Recarga Efetiva (mm)
RM Paralelo A	235,34	784,45	549,11
RM Paralelo A LIDs	210,11	962,04	751,93
RM Paralelo B	344,64	442,66	98,02
RM Paralelo B LIDs	216,01	784,74	568,72
RM Perpendicular A	230,93	779,39	548,47
RM Perpendicular A LIDs	188,09	984,01	795,92
RM Perpendicular B	252,47	600,68	348,21
RM Perpendicular B LIDs	208,59	774,71	566,12
RH5 A	241,42	688,32	446,91
RH5 A LIDs	242,34	894,86	652,52
RH5 B	242,04	551,56	309,52
RH5 B LIDs	244,45	622,84	378,39
RB1 A	201,65	675,44	473,80
RB1 A LIDs	223,40	995,06	771,66
RB1 B	214,37	560,61	346,24
RB1 B LIDs	233,64	750,53	516,89
RB2 A	202,68	829,32	626,64
RB2 A LIDs	249,40	1062,33	812,94
RB2 B	249,59	538,58	288,99
RB2 B LIDs	281,59	785,79	504,20

A UST que levou ao pior desempenho em recarga de aquíferos foi a RH5 para o solo A, e a RM na disposição paralela para o solo B. Considerando o cenário de LIDs a UST que levou ao o pior desempenho em recarga foi a RH5 para o solo A e B, isto pode ser aliado ao fato a

deficiência de direcionamento do escoamento das áreas impermeáveis para as valas-trincheira localizadas nos canteiros centrais.

A UST que levou ao melhor desempenho em recarga foi a RB2, tanto para o cenário convencional, quanto para o cenário com utilização de medidas compensatórias, seguida pela UST RM e RB1.

A utilização de medidas compensatórias obteve sucesso na restauração do serviço ecossistêmico de recarga de aquíferos aumentando em média 36,6% a infiltração em comparação ao cenário de redes convencionais, como pode ser notado na Tabela 5.8.

Para a geomorfologia planar o aumento na provisão do serviço recarga foi de 37,1% utilizando LIDs, 0,5 % maior em comparação a geomorfologia convexo convergente, como demonstrado na Tabela 5.9.

Tabela 5.9: Recarga Efetiva em função do Padrão de Ocupação, geomorfologia planar.

UST	Evapotranspiração (mm)	Infiltração (mm)	Recarga Efetiva (mm)
RM Paralelo A	230,892	805,339	574,447
RM Paralelo A LIDs	209,66	967,051	757,391
RM Paralelo B	246,434	635,416	388,982
RM Paralelo B LIDs	215,758	788,519	572,761
RM Perpendicular A	229,027	772,903	543,876
RM Perpendicular A LIDs	187,906	983,865	795,959
RM Perpendicular B	324,039	509,887	185,848
RM Perpendicular B LIDs	206,892	750,338	543,446
RH5 A	241,414	688,322	446,908
RH5 A LIDs	242,092	850,267	608,175
RH5 B	246,05	550,308	304,258
RH5 B LIDs	244,373	619,054	374,681
RB1 A	201,645	675,452	473,807
RB1 A LIDs	223,351	1014,493	791,142
RB1 B	214,981	527,24	312,259
RB1 B LIDs	233,542	756,45	522,908
RB2 A	202,681	829,322	626,641
RB2 A LIDs	212,281	1100,326	888,045
RB2 B	249,588	538,459	288,871
RB2 B LIDs	267,742	1038,351	770,609

Novamente a UST RH5 para o solo A apresentou a menor taxa de recarga em comparação as demais USTs. Para o solo B, diferentemente da geomorfologia convexo convergente a UST RM perpendicular teve o pior desempenho para o cenário convencional. A RB2 aparece outra vez como a maior taxa de recarga dentre as USTs estudadas, seguida pela RM paralela as curvas de nível para o solo A.

Para o cenário de LIDs a UST com desempenho inferior as demais, para os solos A e B, foi a RH5 pelo mesmo motivo apresentado para a geomorfologia convexo convergente. De fato, a locação das medidas compensatórias para esta UST não foi a mais favorável, sendo talvez necessário um estudo de locação mais detalhado e otimizado para melhoria nos valores de recarga. O desempenho superior foi apresentado pela UST RB2, infiltrando mais de 1000 mm para ambos os solos no cenário de LIDs.

A pequena diferença notada entre a eficiência de recarga para os dois relevos pode estar aliado ao evento usado para simulação, onde se apresentam chuvas com menor intensidade que podem ser infiltradas facilmente para ambas topografias. A hipótese levantada nesta discussão é de que em eventos com maiores períodos de retorno a geomorfologia tenha maior influência na capacidade de infiltração do solo e geração de escoamento superficial.

5.3.3.2 Qualidade da Água Superficial

A análise da qualidade superficial da água prosseguiu conforme discutido na seção 3.8, por ADASA (2018), CONCREMAT (2008) e outros autores. Comparou-se a redução nas lâminas de escoamento superficial geradas pelo cenário de redes convencionais com o cenário de LIDs, no balanço hídrico de simulação contínua, inferindo-se desta forma que a absorção pelas medidas compensatórias do escoamento superficial das águas de first flush tenha influência direta na melhoria da qualidade da água superficial. Os resultados são apresentados na Tabela 5.10, com a melhoria da qualidade da água em porcentagem, em função da morfologia urbana e relevo.

Tabela 5.10: Melhoria na qualidade da água pelo uso de medidas compensatórias em função do Padrão de Ocupação e Geomorfologia.

	Convexo Convergente	Planar
RM Paralelo A LIDs	34,34%	32,92%
RM Paralelo LIDs	32,28%	21,73%
RM Perpendicular A LIDs	35,82%	37,00%
RM Perpendicular B LIDs	22,10%	20,46%
RH5 A LIDs	39,49%	30,81%
RH5 B LIDs	11,85%	10,58%
RB1 A LIDs	58,77%	62,08%
RB1 B LIDs	31,77%	35,69%
RB2 A LIDs	65,13%	65,33%
RB2 B LIDs	41,81%	76,99%

É possível notar que a geomorfologia planar possui um desempenho melhor na melhoria da qualidade da água para as USTs RB2 e RB1, a geomorfologia convexo convergente por sua vez teve uma efetividade melhor para as USTs RH5 e RM. Este fato está diretamente aliado à eficiência das LIDs em função do relevo conforme apresentado na seção 5.3.1 e a geração de escoamento superficial por padrão apresentado na Figura 5.2.

Destaca-se que estes valores foram obtidos de maneira conservadora, considerando que as medidas compensatórias assimilem de maneira eficaz as águas das primeiras chuvas, e retenham boa parte dos poluentes presentes na superfície.

5.3.3.3 Movimento de Terra para Instalação das Redes de Drenagem Urbana

Para a instalação da infraestrutura de novos loteamentos é necessário a movimentação de um grande volume de terra até a consolidação da urbanização. Este volume está aliado tanto a instalação das tubulações de água, esgoto e drenagem, quanto a execução das camadas de pavimentação e construção de edificações. Esta movimentação do solo, pode afetar negativamente sua estrutura tornando-o mais impermeável, além de gerar um impacto negativo para o meio ambiente, devido a uma boa parte deste volume não ser manejado de maneira adequada e ser disposto na natureza em “Bota Fora”, onde pode ser carreado e erodido, impactando os recursos hídricos e as condições ambientais destes locais.

Para a quantificação do movimento de terra de cada padrão de ocupação foi considerado o volume de escavação necessário para implantação da tubulação de drenagem em cada

projeto dimensionado. O gráfico ilustrado na Figura 5.17 mostra o volume de terra escavado por padrão de ocupação e geomorfologia.

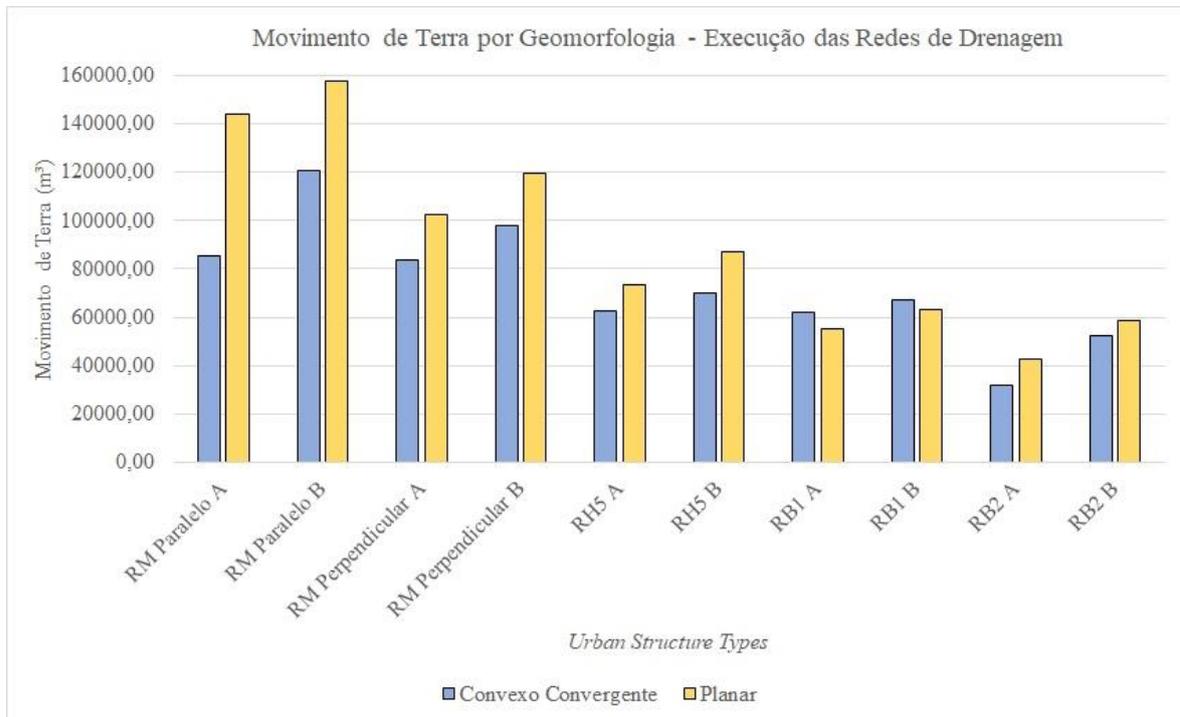


Figura 5.17: Volume de escavação por UST e Geomorfologia, cenário de Redes Convencional.

Os resultados demonstram que a geomorfologia planar gerou maiores volumes de movimento de terra para as USTs em comparação a geomorfologia convexo convergente. Isto se deve ao fato de esta topografia ter gerado um maior volume de escoamento superficial, e também a maiores declividades dos condutos, necessitando de poços de visita mais profundos e também o uso de técnicas de dissipação de energia que por sua vez requerem maior volume de escavação, conforme pode ser visto nos perfis da rede críticos apresentados na seção 5.1.2, Figuras 5.7 a 5.14.

A UST que gerou o maior volume de escavação foi a RM, devido ao traçado da rede e sua extensão que foi a maior em comparação aos demais padrões, e também pelo fato de esta ter utilizado de grandes extensões de redes com diâmetros superiores a 1,5 metros, necessitando de valas com profundidades superiores a 4,0 metros para recobrimento mínimo da rede.

A UST com menor volume de escavação foi a RB2 para ambas as geomorfologias, pois foi a que gerou menor necessidade de uso de grandes diâmetros e menor extensão de traçado dentre as USTs estudadas.

Para execução das LIDs e Bacias de Detenção seria necessário triplicar o volume de movimento de terra em média. No entanto o uso de medidas compensatórias demonstrou a provisão de diversos serviços ecossistêmicos importantes para áreas urbanas, como por exemplo a prevenção de alagamentos, preservação da qualidade da água superficial, recarga de aquíferos, e amenidades paisagísticas nas regiões onde estão instaladas. Os volumes obtidos para o movimento de terra para execução das medidas compensatórias estão retratados na Figura 5.18.

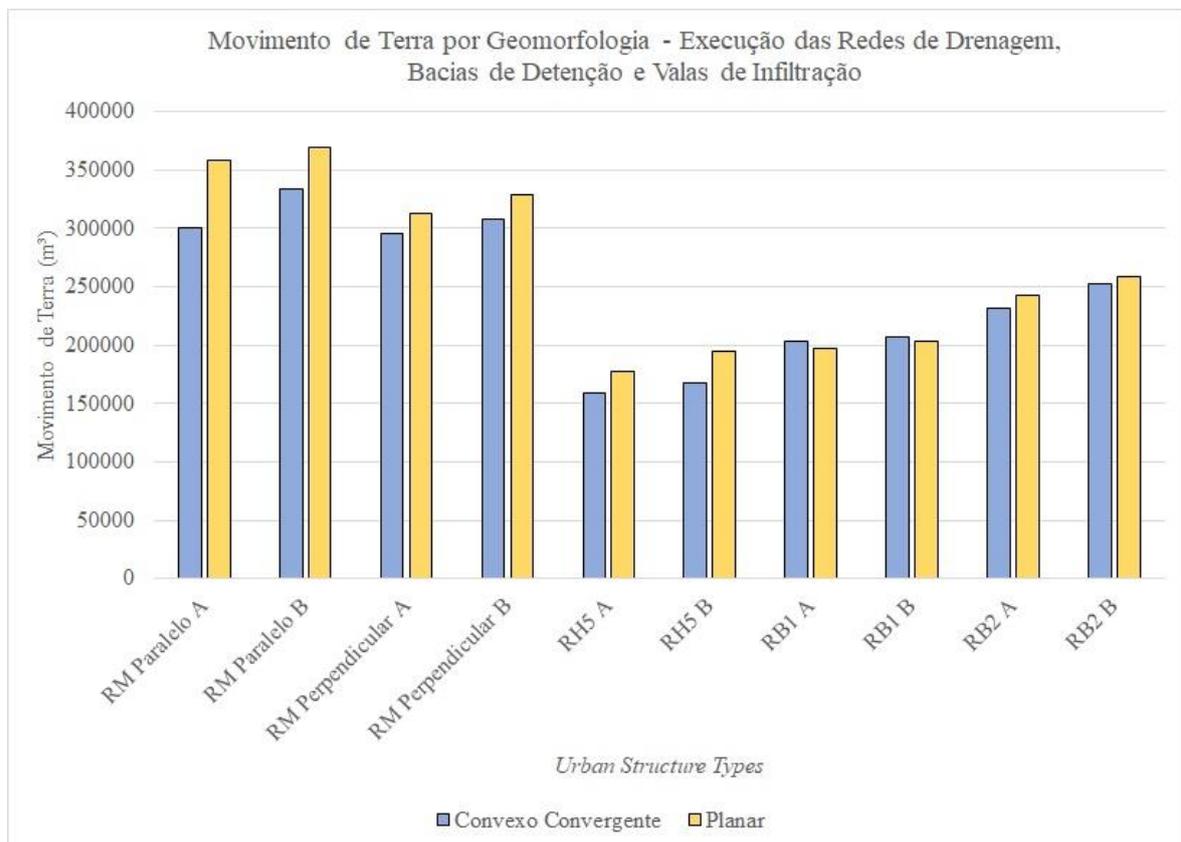


Figura 5.18: Volume de escavação por UST e Geomorfologia, cenário de LIDs e Bacias de Detenção.

A morfologia RM ainda apresenta uma maior movimentação de terra em comparação as demais. Para este caso a UST RB2 apresentou o segundo maior volume de terra movimentado, devido sua área ocupada por medidas compensatórias ser quase 1 hectare

maior em relação as demais USTs. Para este caso a UST RH5 apresentou o menor volume de escavação, porém esta morfologia apresenta uma menor provisão de serviços ecossistêmicos, e necessita de diversas intervenções para atender critérios de projeto técnicos no dimensionamento de redes de drenagem e apresenta um custo elevado de implantação em comparação as morfologias unifamiliares.

É necessário ressaltar que para execução da rede de drenagem grande parte do material escavado é reutilizado no reaterro das valas após o assentamento da tubulação. Para execução das medidas compensatórias o volume escavado obrigatoriamente seria direcionado ao bota fora, e substituído por material granular, que provém de jazidas. Para uma melhor análise econômica da implantação de LIDs e seus benefícios na provisão de serviços ecossistêmicos seria necessário realizar um levantamento custo benefício para quantificar economicamente os ganhos ambientais em sua utilização.

5.3.3.4 Serviço Ecosistêmico de Prevenção de Alagamentos – LIDs

Nesta seção será discutida a provisão do serviço ecossistêmico de prevenção de alagamentos, prestado pela utilização de medidas compensatórias, em termos da porcentagem de aumento na lâmina de precipitação de projeto para ocorrência de alagamentos, conforme metodologia discutida no item 4.4. Os resultados obtidos para esta análise estão demonstrados na Figura 5.19.

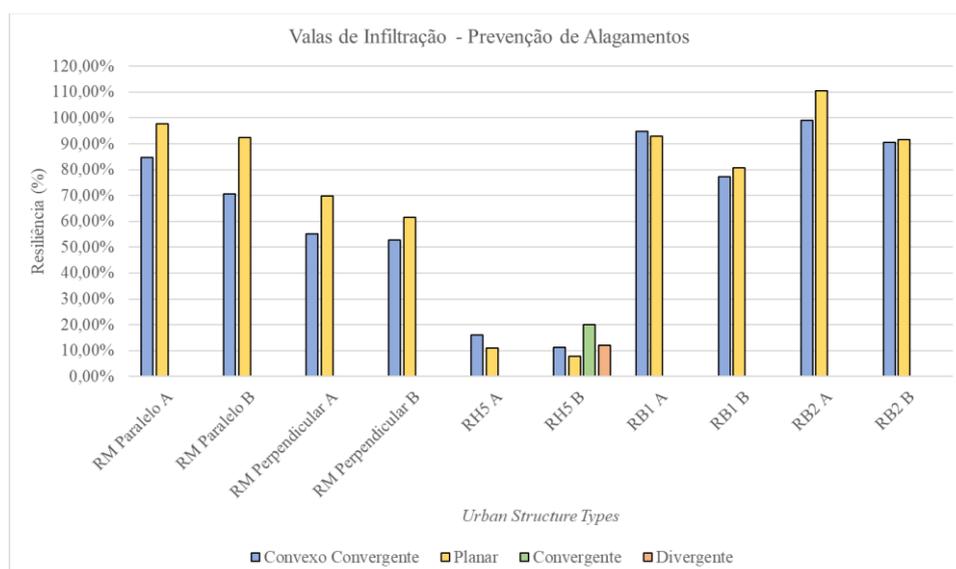


Figura 5.19: Provisão do Serviço Ecosistêmico de Prevenção a Alagamentos prestado pelas LIDs.

Em termos de tempo de retorno a Tabela 5.11 mostra os valores encontrados para a sobrecarga da rede nos cenários convencional e com utilização de valas-trincheira, em seguida comparando-os e calculando o ganho em termos de tempo de retorno da provisão da prevenção de alagamentos.

Tabela 5.11: Ganho em período de retorno na prevenção de alagamentos.

UST	Tempo de Retorno (Anos)			
	Convexo Convergente	Planar	Divergente	Convergente
RH5 A	25	27	-	-
RH5 A LIDs	44	40	-	-
Aumento no TR	19	13	-	-
RH5 B	29	20	27	29
RH5 B LIDs	43	27	65	50
Aumento no TR	14	7	38	21
RM Paralelo A	11	27	-	-
RM Paralelo A LIDs	178	400	-	-
Aumento no TR	167	373	-	-
RM Paralelo B	22	20	-	-
RM Paralelo B IS	190	300	-	-
Aumento no TR	168	280	-	-
RM Ortogonal A	15	24	-	-
RM Ortogonal A IS	100	175	-	-
Aumento no TR	85	151	-	-
RM Ortogonal B	30	18	-	-
RM Ortogonal B IS	150	165	-	-
Aumento no TR	120	147	-	-
RB1 A	22	20	-	-
RB1 A LIDs	550	480	-	-
Aumento no TR	528	460	-	-
RB1 B	29	23	-	-
RB1 B LIDs	430	400	-	-
Aumento no TR	401	377	-	-
RB2 A	18	11	-	-
RB2 A LIDs	500	400	-	-
Aumento no TR	482	389	-	-
RB2 B	20	15	-	-
RB2 B LIDs	450	350	-	-
Aumento no TR	430	335	-	-

Em geral as LIDs tiveram uma maior resiliência para o relevo planar em cerca de 5%, e para o solo A, mais permeável em média quase 15 % maior do que no solo B. As USTs com melhor desempenho neste serviço foram a RB1 e RB2.

Curiosamente a RB1, apesar de apresentar uma área impermeável quase semelhante a RH5, teve um bom desempenho na resiliência de LIDs devido a localização dos blocos em relação aos espaços verdes, desta forma facilitando o direcionamento da água de cada bloco para ser tratado em uma medida compensatória.

Inesperadamente a RB2 apresentou quase os mesmos valores de resiliência em comparação a RB1, porém isto se deve ao fato de alguns dos PV's inundados na simulação serem de áreas impermeáveis direcionadas a LIDs de menor área, ou áreas impermeáveis não direcionadas diretamente as valas-trincheira devido a geometria da quadra.

Para os relevos convergente e divergente, no cenário da UST RH5, o melhor desempenho em eficiência de medidas compensatórias e prevenção de alagamentos é apresentado pela geomorfologia convergente, devido a concentração de vazões nas avenidas principais onde estão alocadas as medidas compensatórias.

No geral, o uso de LIDs consegue realizar a prevenção de alagamentos para todas as USTs estudadas para as redes projetadas, diminuindo desta forma o risco de perda de patrimônio devido a grandes enxurradas.

5.4 ANÁLISE DOS PADRÕES COM DESEMPENHOS EXTREMOS

Conforme análises desenvolvidas ao longo do capítulo 5, foi possível destacar o padrão que teve o melhor e o pior desempenho segundo os critérios analisados. O padrão RH5, teve o pior desempenho econômico, eficiência de medidas compensatórias além de ter gerado elevadas vazões de pico e impactos sobre as condições de pré-desenvolvimento. O padrão RB2, por sua vez, apresentou eficiências consistentes na provisão de serviços ecossistêmicos e econômicos ao longo de toda a análise.

Para explorar melhor os impactos de vazões de pico geradas por ambos os padrões, foi realizada a simulação para o cenário do solo C para ambas as morfologias urbanas e geomorfologias, para comparação com os solos A e B, retratado no gráfico da Figura 5.20.

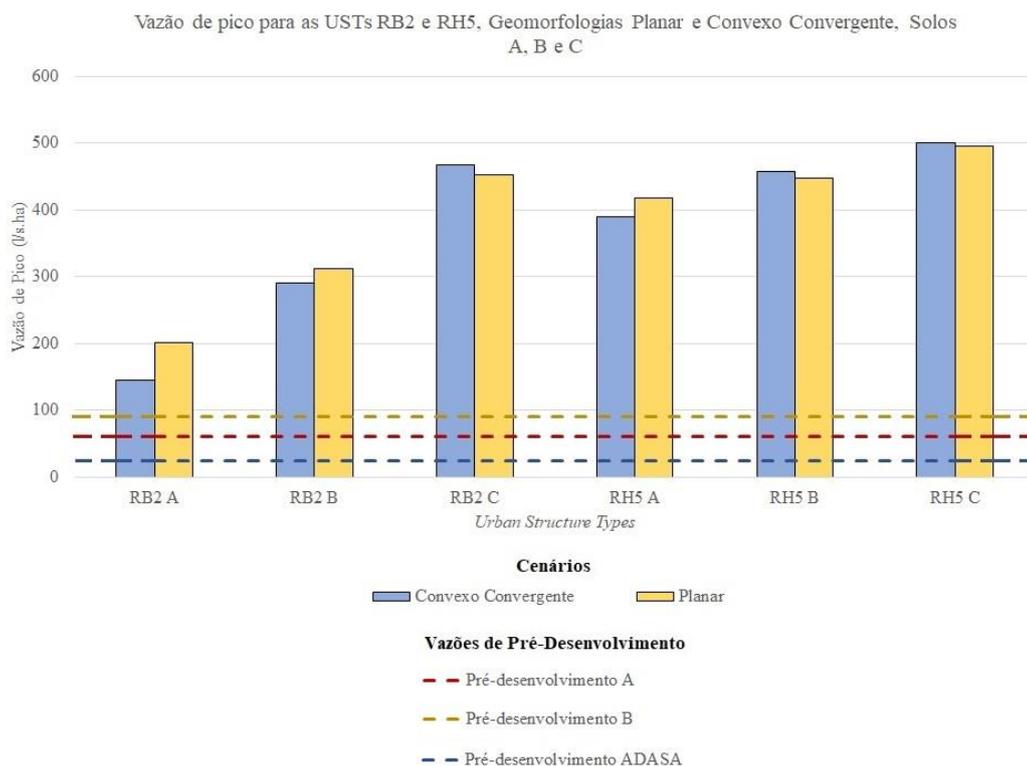


Figura 5.20: Vazões de Pico Unitárias para os solos A, B e C, Morfologias Urbanas RH5 e RB2.

Constata-se que a mudança de solo afetou com maior intensidade o padrão RB2, devido ao crescimento do CN médio de 25 %, comparado com o crescimento de somente 12% no CN para a UST RH5. As vazões de pico para o solo C aumentaram em maior quantidade para a geomorfologia convexo convergente, 2 vezes para a UST RB2 e 28% para a UST RH5, em comparação ao solo A. Para a geomorfologia planar o aumento da vazão foi de 1,3 vezes para a UST RB2 e 18% para a UST RH5.

Considerando a dimensão econômica, a Figura 5.21 traz o gráfico de comparações entre os custos por metro de instalação da rede para os três tipos de solo para posteriores comparações.

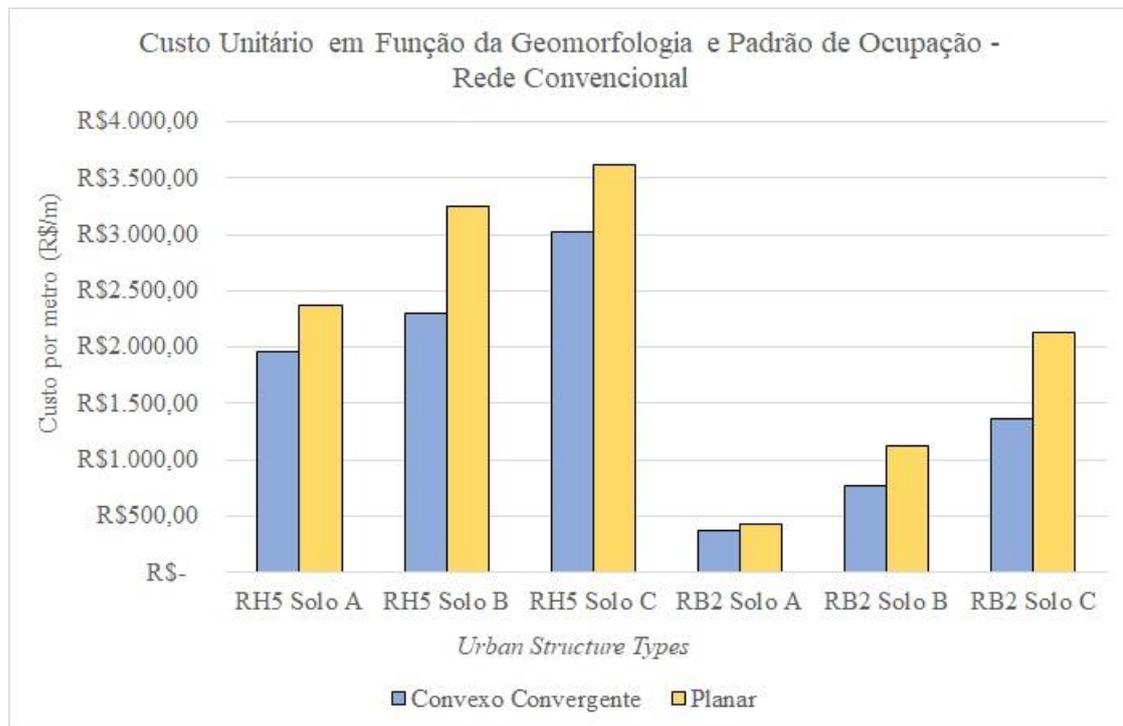


Figura 5.21: Custo Unitário por metro para os Padrões RH5 e RB2, Comparações solo A, B e C.

Os custos de execução da rede de drenagem para o solo C são substancialmente maiores do que os custos para a execução nos solos A e B, para ambas as geomorfologias. A UST RH5 apresentou o crescimento no custo de 1,5 vezes para ambas as geomorfologias, comparando como base o custo para o solo A. A UST RB2 por sua vez apresentou um crescimento no custo de 4 a 5 vezes para as topografias estudadas.

Na simulação contínua, foi notável a diminuição da capacidade de infiltração do solo. A Figura 5.22 e 5.23 mostram os balanços hídricos para ambas as geomorfologias e padrões de ocupação.

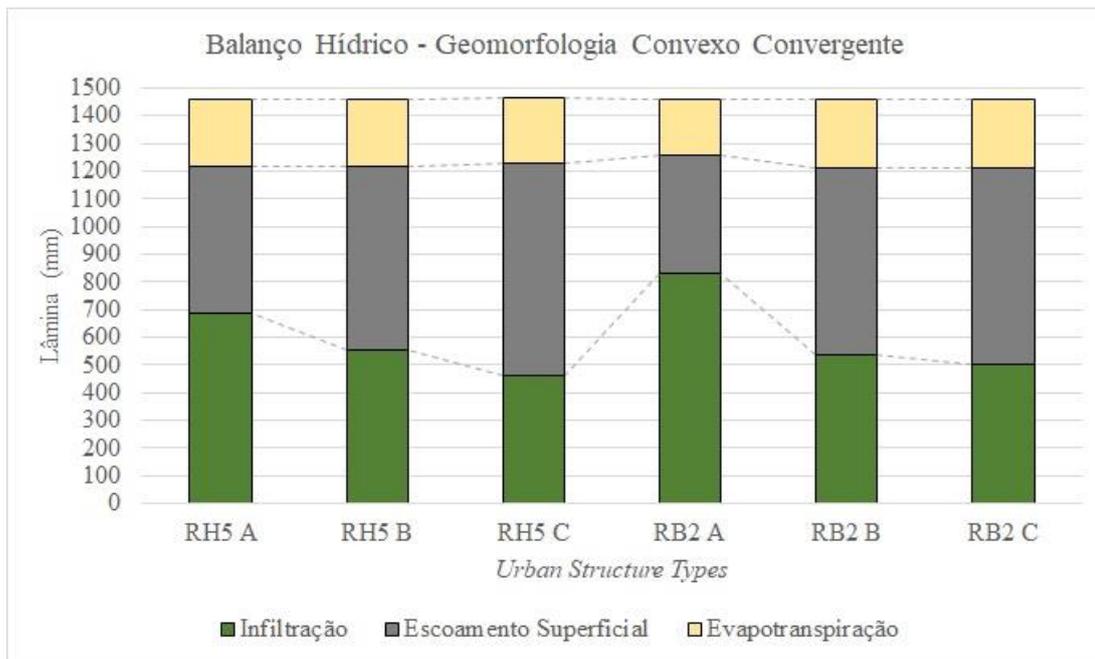


Figura 5.22: Balanço Hídrico para o Relevo Convexo Convergente, Comparação entre os solos A, B e C.

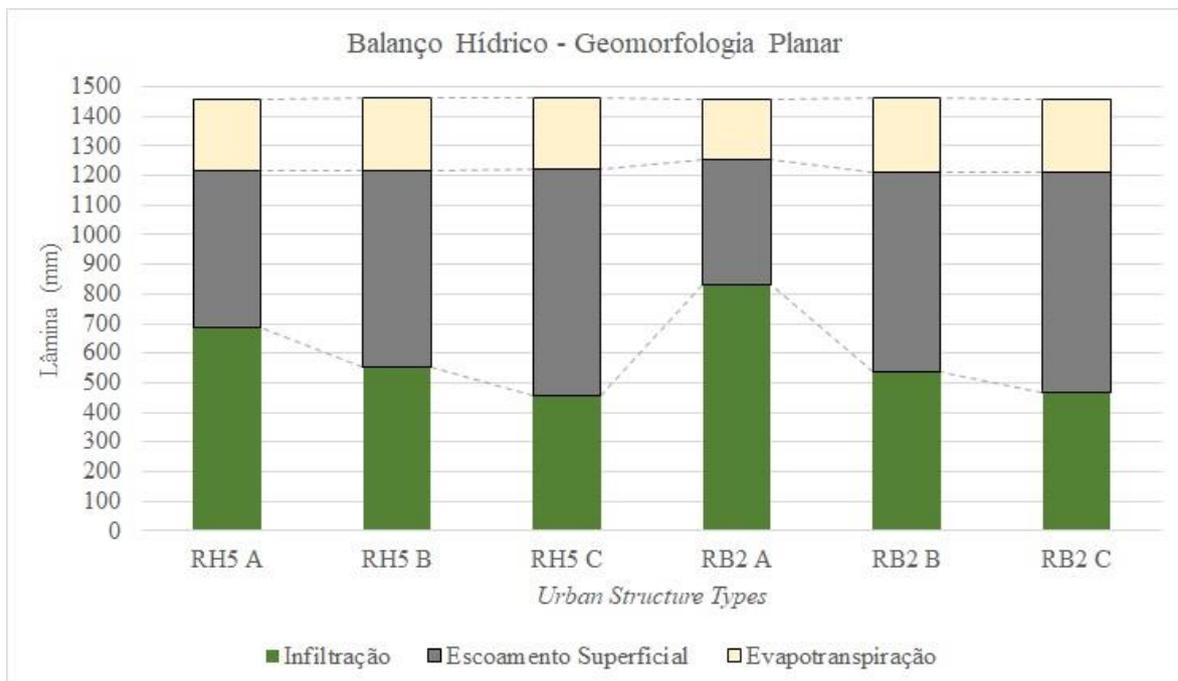


Figura 5.23: Balanço Hídrico para o Relevo Planar, Comparação entre os solos A, B e C.

Nota-se um aumento substancial na lâmina de escoamento superficial para ambos os padrões e geomorfologia com a mudança de tipo de solo. A Tabela 5.12 faz as comparações de lâmina de escoamento superficial por padrão de ocupação e geomorfologia.

Tabela 5.12: escoamento Superficial em função do Padrão e Geomorfologia.

Topografia Convexo Convergente		
Padrão	Escoamento Superficial (mm)	Comparação
RH5 Solo A	530,06	Cenário Base
RH5 Solo B	667,18	↑ 25%
RH5 Solo C	768,21	↑ 45%
RB2 Solo A	427,08	Cenário Base
RB2 Solo B	672,70	↑ 58%
RB2 Solo C	705,43	↑ 65%
Topografia Planar		
RH5 Solo A	530,06	Cenário Base
RH5 Solo B	664,63	↑ 25%
RH5 Solo C	768,38	↑ 45%
RB2 Solo A	427,08	Cenário Base
RB2 Solo B	672,70	↑ 58%
RB2 Solo C	743,22	↑ 74%

A topografia planar gerou um maior aumento na lâmina de escoamento superficial para o padrão RB2 no solo C. Para a UST RH5 os resultados permaneceram constantes para ambas geomorfologias, porém é possível notar um aumento significativo da lâmina de escoamento superficial com a mudança de tipo de solo, sentido também na análise de vazões na Figura 5.20.

Quanto a análise da infiltração, a topografia planar teve a maior diminuição da lâmina infiltrada em função do tipo de solo. Os resultados da UST RB2 para o solo B curiosamente permaneceram constantes para ambas as geomorfologias, conforme disposto na Tabela 5.13.

Tabela 5.13: Infiltração em função do Padrão e Geomorfologia.

Topografia Convexo Convergente		
Padrão	Infiltração (mm)	Comparação
RH5 Solo A	688,32	Cenário Base
RH5 Solo B	551,56	↓ 19,90%
RH5 Solo C	458,93	↓ 33,30%
RB2 Solo A	829,32	Cenário Base
RB2 Solo B	538,76	↓ 35,04%
RB2 Solo C	504,13	↓ 39,21%
Topografia Planar		
RH5 Solo A	688,32	Cenário Base
RH5 Solo B	550,31	↓ 20,05%
RH5 Solo C	456,30	↓ 33,71%
RB2 Solo A	829,32	Cenário Base
RB2 Solo B	538,76	↓ 35,04%
RB2 Solo C	466,34	↓ 43,77%

É possível concluir que para o solo C a UST RH5 possa levar a custos muito elevados, devido a grandes vazões geradas por este padrão para este cenário, agregando a utilização de diâmetros maiores na execução e a provável perda na prestação de serviços ecossistêmicos de infiltração e recarga de aquíferos devido à baixa capacidade de infiltração deste solo.

A UST RB2 embora também tenha um custo elevado de implantação para o solo C, ainda pode ser viável economicamente devido à baixa taxa de áreas impermeabilizadas no seu desenho urbanístico e grandes espaços para utilização de técnicas de detenção para amortecimento das vazões de pico.

O volume necessário para vazão de pré-desenvolvimento calculada, e regulada pela ADASA, área disponível e profundidades da bacia de detenção para o cenário do solo C estão demonstrados na Tabela 5.14. Para amortecimento de parte da vazão de pico foram utilizados os mesmos dispositivos propostos para o solo A e B. Por se tratar de uma vala associada a trincheira, para este solo este dispositivo funciona como técnica de detenção e infiltração ao mesmo tempo, podendo ainda ser eficiente para o solo C.

Tabela 5.14: Volume de Bacias de Detenção necessárias para amortecimento da vazão de pico no solo C, e comparações com os volumes para os solos A e B.

Padrão UST	Volume para a vazão calculada (m³)	Volume para a vazão regulada pela ADASA (m³)	Área das Bacias de Detenção (m²)	Profundidade necessária para a vazão calculada (m)	Profundidade necessária para a vazão regulada pela ADASA (m)
Topografia Planar					
RH5 A	12289,06	17330,56	5800	2,15	3,00
RH5 B	16040,51	25622,34	8500	1,90	3,00
RH5 C	19475,44	31055,40	10400	1,90	3,00
RB2 A	-	1646,80	1600	-	1,05
RB2 B	648,39	4111,52	1600	0,45	2,60
RB2 C	1080,00	5149,55	1750	0,62	2,95
Topografia Convexo Convergente					
RH5 A	5778,71	9253,93	4800	1,20	1,95
RH5 B	6475,71	12423,40	4800	1,35	2,60
RH5 C	7806,67	15288,86	5100	1,55	3,00
RB2 A	-	2040,07	1600	-	1,30
RB2 B	-	4269,86	1600	-	2,70
RB2 C	856,23	5206,23	1750	0,50	3,00

Destaca-se que na topografia planar, a bacia de detenção para o solo C da UST RH5, necessitou de uma área 22% maior que no solo B para amortecimento do volume gerado. Observa-se também o crescimento de quase 30% do volume necessário das bacias de detenção em média em relação ao solo B. Quanto a eficiência das valas-trincheira para este cenário, o gráfico retratado na Figura 5.24 faz a relação da eficiência em função dos padrões de ocupação estudados e geomorfologias para os solos A, B e C.

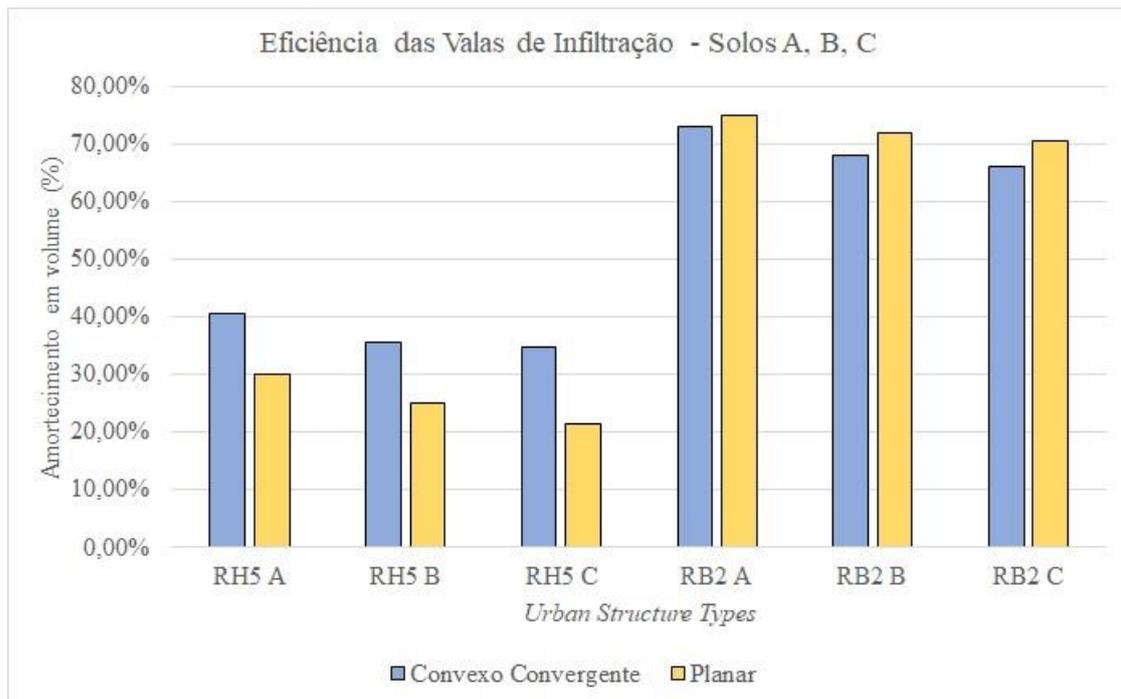


Figura 5.24: Eficiência das LIDs, Comparação entre os solos A, B e C.

É possível concluir ao observar a Figura 5.24, que o decaimento da eficiência das LIDs para os 3 solos seguiu uma tendência quase linear, sendo mais evidente na UST RH5 que na UST RB2, onde os índices de eficiência de B para C, obtiveram um decaimento suave. O dispositivo escolhido funcionou de maneira razoável para o solo C, apesar de se tratar de um solo menos permeável, conseguiu uma boa redução de volume em relação ao cenário convencional.

5.5 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DOS RELEVOS CONVERGENTE, DIVERGENTE E PLANAR

Para aprofundar a discussão proposta, visto que uma das topografias escolhidas apresenta ambas características de convergência e divergência, foram geradas duas topografias

auxiliares, com características exclusivamente convergentes e divergentes. Conforme ilustrado na Figura 5.25, pode-se observar o formato do relevo proposto para análise.

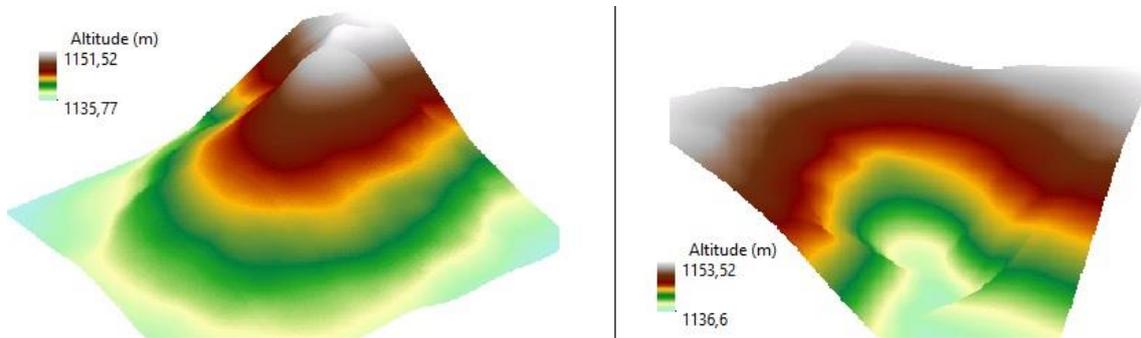


Figura 5.25: Superfície Divergente e Convergente.

O padrão de UST escolhido para essa análise foi o RH5, com o solo do tipo B, para avaliar o caso mais crítico obtido durante o estudo, e inferindo também que os demais padrões sigam uma mesma tendência em relação ao relevo e solo. Nas Figuras 5.26 e 5.27 é demonstrado o traçado da rede proposto para estes dois cenários auxiliares.

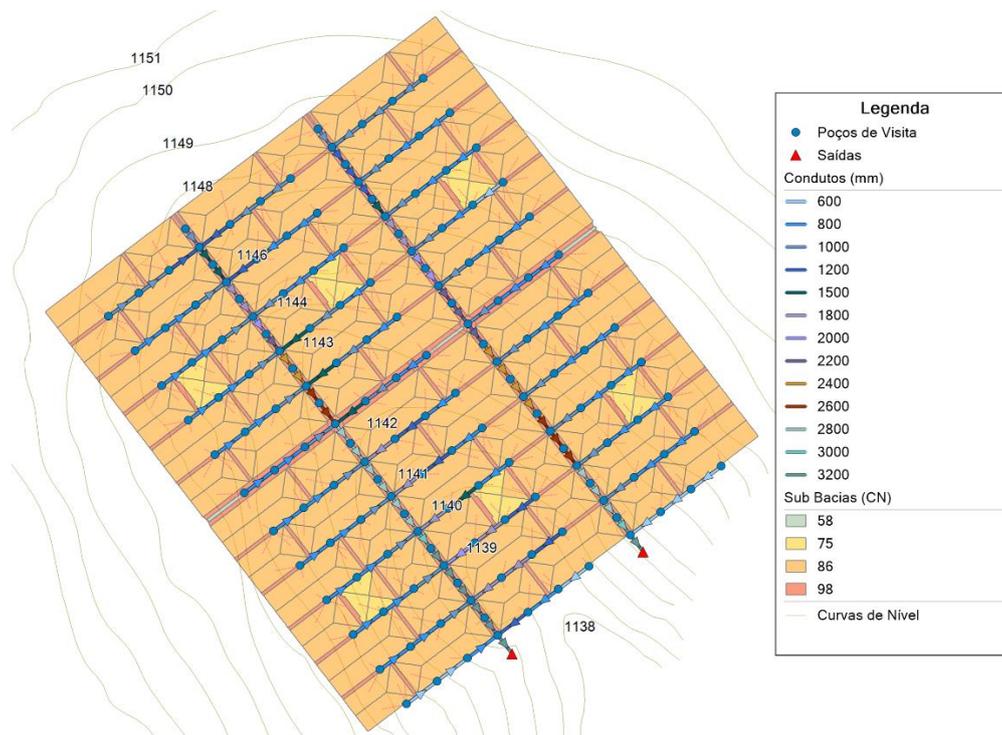


Figura 5.26: Traçado da Rede e Topografia para o Cenário Convergente.

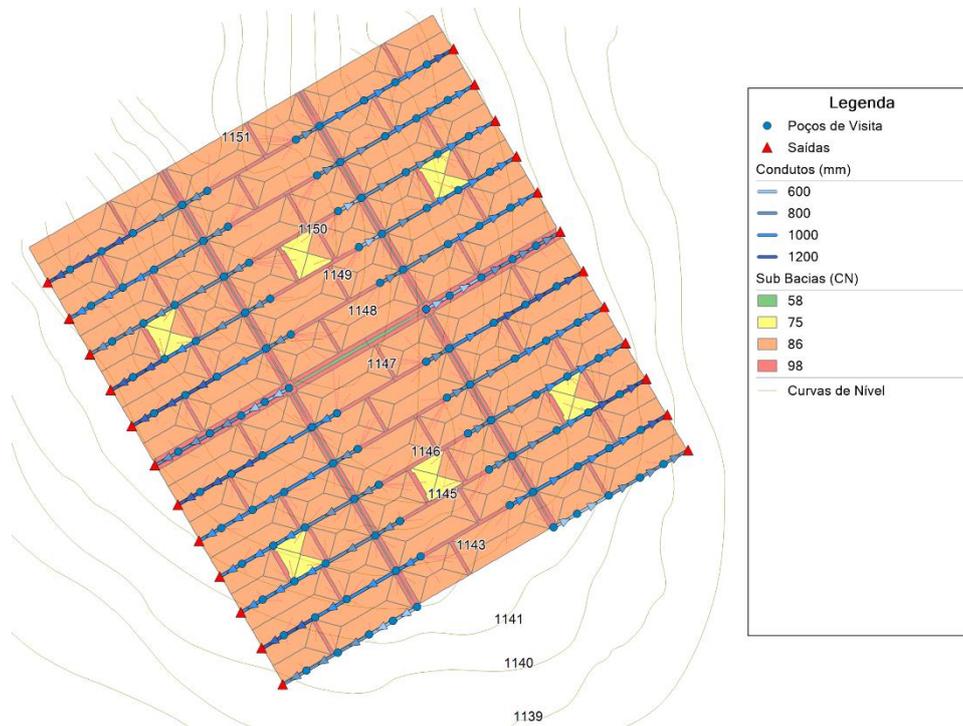


Figura 5.27: Traçado da Rede e Topografia para o Cenário Divergente.

As vazões obtidas nas simulações e comparações com as vazões de pré-desenvolvimento regulamentada e calculada, estão demonstradas no gráfico da Figura 5.28.

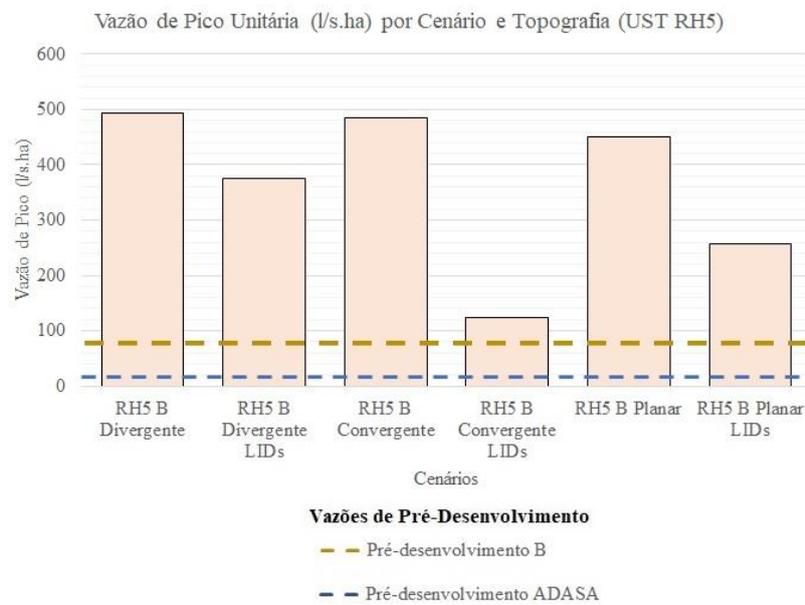


Figura 5.28: Vazões de Pico Unitárias para os cenários da UST RH5.

Constata-se que a topografia possui uma pequena influência na vazão de pico gerada, sendo a topografia divergente gerando um maior volume de escoamento superficial, seguida pela convergente e a planar gerando um menor volume.

Conforme discutido na seção 3.5, a topografia divergente leva a um pico mais rápido e mais pronunciado que a superfície convergente, isto foi observado para o modelo simulado. Apesar de os tempos de pico serem semelhantes os formatos dos hidrogramas variaram, sendo que o divergente e o convergente resultam em uma drenagem do terreno mais rápida que a topografia planar.

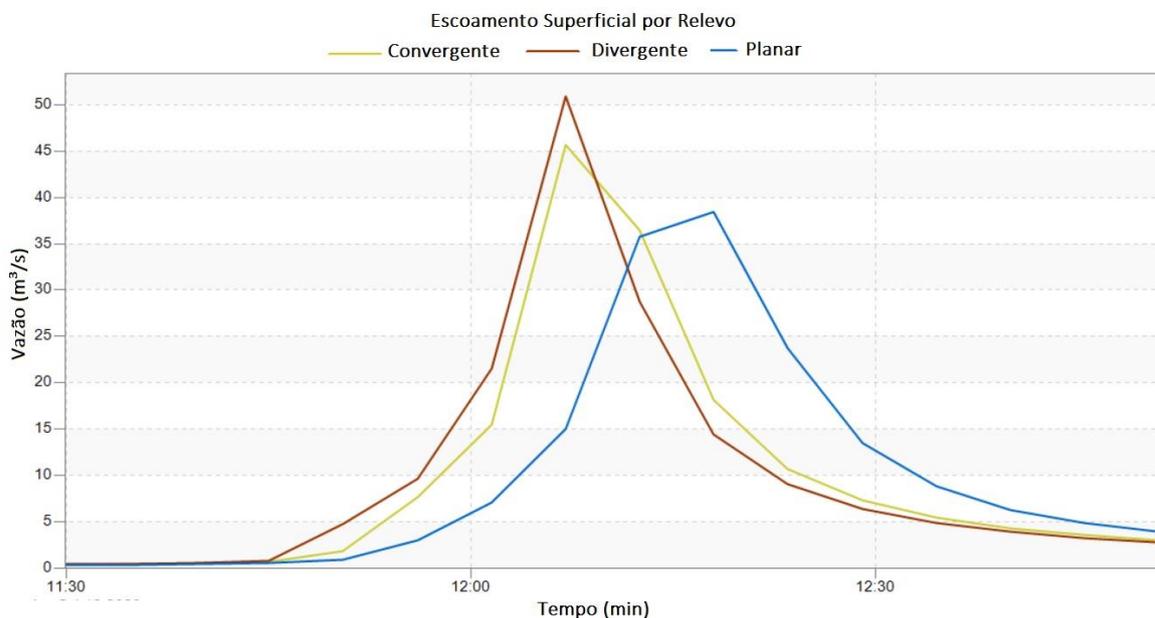


Figura 5.29: Vazões de Pico para cada Relevo.

Quanto à dimensão econômica, a topografia divergente levou ao menor custo por metro em comparação as topografias planar e convergente. Isto pode se dever ao fato de que a rede para esta topografia foi mais ramificada, gerando um maior número de saídas. A rede para a topografia convergente apresentou o custo unitário mais elevado devido ao fato de essa topografia concentrar as vazões nos ramos principais, sobrecarregando a rede de drenagem. O problema do tipo de traçado em forma de “espinha” para essa topografia foi a influência do remanso, que esteve bastante presente em regiões onde a declividade do terreno era inferior a mínima, e próximo ao exutório onde estão presentes tubulações de diâmetros maiores. Nas topografias divergente e convergente não foi necessário o uso de degraus para dissipação de energia e redução de velocidade, ambas levaram a velocidades finais no

exutório na ordem de 4,5 m/s. Os custos lineares de rede instalada são apresentados na Figura 5.30.

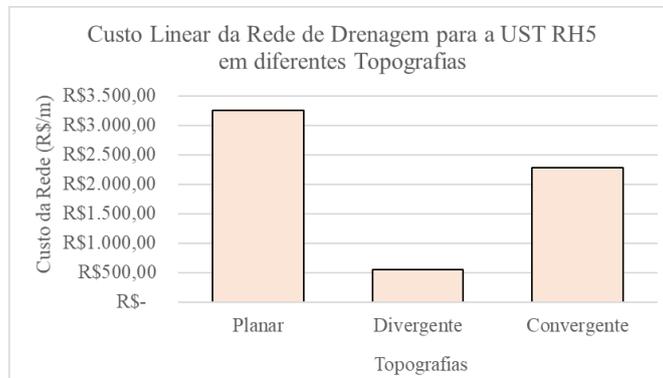


Figura 5.30: Custo da Rede para os cenários da UST RH5.

Os resultados da simulação contínua com balanço hídrico mostraram que a topografia convergente leva a uma ligeira maior capacidade de infiltração em comparação as topografias planar e divergente, devido ao formato do relevo. As LIDs tiveram um papel importante para todas as topografias estudadas em restaurar a infiltração e deter as vazões de pico. O gráfico do balanço para os cenários simulados está ilustrado na Figura 5.31.

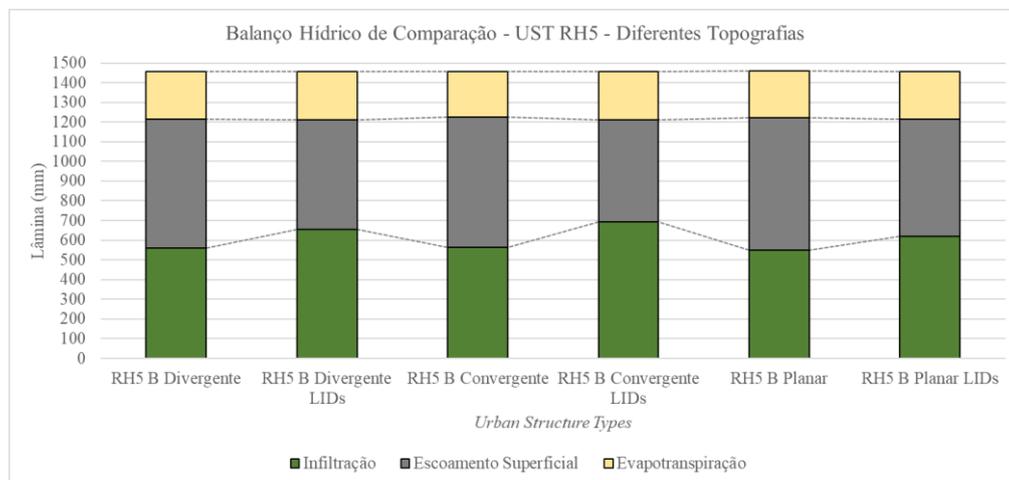


Figura 5.31: Balanço Hídrico para os cenários da UST RH5.

Comparando as lâminas de infiltração e de escoamento superficial para os cenários convencional e LIDs é possível observar o efeito da topografia sobre o balanço hídrico da bacia. A Tabela 5.15 mostra esta comparação, utilizando o cenário de topografia planar como base para comparação.

Tabela 5.15: Lâminas de Infiltração e Escoamento Superficial para os Cenários da UST RH5 e Comparações.

Convencional		
	Infiltração (mm)	Comparação
Planar	550,31	Cenário Base
Convergente	564,34	↑ 2,55%
Divergente	560,70	↑ 1,90%
Escoamento (mm)		
	Escoamento (mm)	Comparação
Planar	670,63	Cenário Base
Convergente	660,46	↓ 1,50%
Divergente	654,10	↓ 2,46%
LIDs		
	Infiltração (mm)	Comparação
Planar	619,05	Cenário Base
Convergente	693,11	↑ 10,69 %
Divergente	655,58	↑ 5,57%
Escoamento (mm)		
	Escoamento (mm)	Comparação
Planar	594,31	Cenário Base
Convergente	516,75	↓ 13,05 %
Divergente	556,45	↓ 6,37 %

Quanto a eficiência das medidas compensatórias, a topografia convergente apresentou o melhor desempenho na instalação das LIDs devido ao direcionamento das águas se concentrando no centro do loteamento próximo aos canteiros centrais das avenidas onde estavam instaladas as medidas compensatórias. O relevo planar também apresenta uma eficiência de amortecimento pelas medidas devido ao direcionamento da água para as valas-trincheira também ser realizado facilmente nesta geomorfologia. Para o relevo divergente as valas-trincheira não foram eficazes, pois não foi possível direcionar uma quantidade de bacias de contribuição considerável para as valas-trincheira, tornando seu desempenho pouco eficaz para esta geomorfologia. O gráfico ilustrado na figura 5.32 mostra a eficiência das LIDs por relevo.

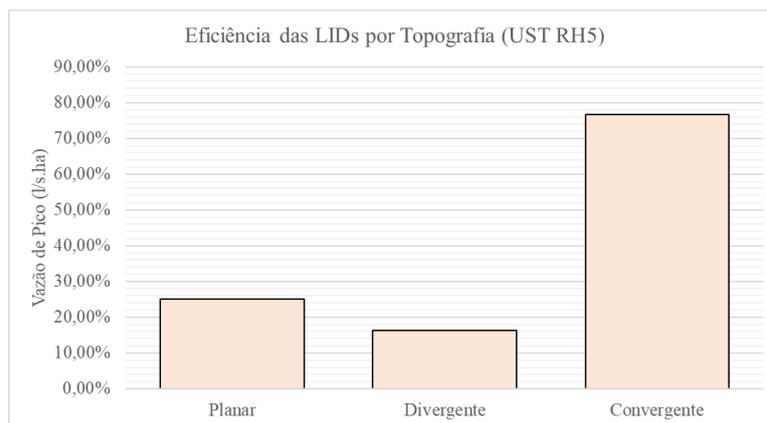


Figura 5.32: Eficiência das LIDs para os cenários da UST RH5.

O cenário que chegou mais perto de atingir a vazão de pré-desenvolvimento calculada foi o RH5 para a topografia convergente, os demais ainda necessitariam de técnicas de detenção a jusante. A Tabela 5.16 mostra os volumes calculados para as bacias de detenção por topografia, para a vazão de pré-desenvolvimento calculada e a vazão regulamentada.

Tabela 5.16: Volume de Bacias de Detenção necessárias para amortecimento do volume excedente nos cenários simulados para a UST RH5.

Padrão UST	Vol. para a vazão calculada (m ³)	Vol. para a vazão regulada pela ADASA (m ³)	Área das Bacias de Detenção (m ²)	Prof. necessária para a vazão calculada (m)	Prof. necessária para a vazão regulada pela ADASA (m)
RH5 B Planar	16040,51	25622,34	8500	1,90	3,00
RH5 B Divergente	25602,9	36947,31	8500	3,01	4,29
RH5 B Convergente	1988,70	7290,37	8500	0,23	0,86

Para o cenário da topografia divergente a profundidade da bacia de detenção excedeu a área disponível para instalação, considerando uma profundidade máxima de 3 metros para a vazão regulada pela ADASA. O aumento da altura das valas-trincheira poderia auxiliar no amortecimento do volume excedente para atingir a altura máxima como meta.

5.6 DISCUSSÕES GERAIS E LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Nesta seção serão discutidos os principais resultados obtidos, abordando-os de acordo com a relevância em cada análise realizada.

As análises em uma escala micro, a nível de quadra, contribuíram principalmente para delineamento da metodologia a ser utilizada para análise macro dos loteamentos elaborados. Nessa análise foi possível observar o traçado da rede existente de acordo com o cadastro de redes da NOVACAP e ADASA, parametrizando, assim, como se comportaria o traçado dos condutos no loteamento, assim como a locação de medidas compensatórias, pois dessa forma foi possível observar a interação lote a lote com as áreas verdes e áreas públicas onde seriam locadas essas medidas, e qual seria o direcionamento adequado para que o amortecimento fosse realmente efetivo.

A análise em escala micro dos efeitos da compactação do solo no processo de urbanização nas USTs RB1 e RM mostrou um aumento de 6 a 116% na vazão de pico em relação ao solo base antes do processo de urbanização. Isto destaca que após a instalação do loteamento, as condições de infiltração iniciais consideradas no projeto de drenagem não são mais as mesmas, então a rede instalada pode já estar sendo ineficiente para drenagem local, e pode-se por consequência, ter-se problemas de alagamentos. A utilização de valas de infiltração auxilia no amortecimento do escoamento gerado devido à perda de capacidade de infiltração do solo, podendo amortecer mais de 40% da vazão gerada nos cenários simulados.

O estudo da recarga de aquíferos na escala micro, conforme também observado nos estudos de Castro (2017) e Seraphim (2018), levou a conclusão de que quanto maior a densidade construtiva do padrão, menor será a recarga de aquíferos na região onde este está instalado. O tipo de solo e geomorfologia possuem um papel fundamental nessa dinâmica.

Para comparações, foram criados dois cenários de vazão de pré-desenvolvimento, um para o solo A e um para o solo B em cada geomorfologia, para a bacia de 100 ha. Obteve-se para o solo A, uma vazão de 60 l/s.ha e para o solo B de 90 l/s.ha. As vazões obtidas foram 2,5 e 3,5 vezes maior que a vazão de regulação estabelecida pela portaria nº 9/2011 ADASA, e pode-se afirmar que a vazão de pré-desenvolvimento regulada é subestimada para solos menos permeáveis.

Nas simulações das vazões de pico para os loteamentos projetados verificou-se o comportamento de cada padrão de acordo com a geomorfologia e tipo de solo. A topografia possui uma moderada influência nas vazões de pico geradas. O relevo planar gerou em média 11% a mais de escoamento superficial em comparação ao relevo convexo convergente. O loteamento traçado com a UST RB2 foi o que gerou a menor vazão de pico dentre os estudados, e foi o único no qual foi possível reduzir a vazão com o uso de valas-trincheira a valores de pré-desenvolvimento, apesar de ter a mesma densidade populacional que o loteamento RB2, o loteamento traçado com o padrão RH5 levou a grandes vazões de pico e pouca eficiência na utilização de medidas compensatórias.

Para o padrão RM com o qual foram realizadas as simulações de disposição das quadras em relação as curvas de nível, foi possível notar que a posição das quadras paralela as curvas de nível foi mais vantajosa em relevo convexo convergente, em termos de redução da vazão de pico, e a perpendicular foi mais propícia em relevo planar.

A geomorfologia planar, para a maior parte dos cenários simulados, apresentou uma maior eficiência no uso de valas-trincheira em comparação a geomorfologia convexo convergente. No entanto, na maior parte dos cenários, não foi possível atingir a vazão de meta, sendo necessário o uso de bacias de retenção para auxiliar no amortecimento do pico das cheias e atingir a vazão de meta.

Uma limitação a ser enfatizada na análise de vazões é o fato de que foi utilizado somente um tipo de LID, valas-trincheira, não associando a outros tipos de amortecimento, como reservatórios de montante, caixas de retardo, poços de infiltração, células de biorretenção, entre outros. As valas-trincheira foram locadas somente em espaços públicos, não se considerando neste estudo soluções em áreas privativas.

As vazões de pico calculadas, apesar de terem sido feitas somente para quatro das nove USTs residenciais identificadas no DF, fornecem uma ideia da relação das USTs com o manejo de águas pluviais. Há a necessidade de desenvolvimento de cenários para mais um tipo de UST unifamiliar, a RH1, que leva a uma maior impermeabilização dentre todas, para avaliar seu comportamento conjuntamente com um estudo de locação de medidas compensatórias a

nível de lote, pois a UST RH1 não apresenta, em sua concepção, espaços públicos ou avenidas áreas onde possam ser locadas LIDs.

Na dimensão econômica, os custos da rede de drenagem foram quantificados utilizando as tabelas de referência orçamentária SICRO e SINAPI, calculando o custo global contabilizando o movimento de terra, escoramento, instalação de PV's, condutos de ligação e bocas de lobo, e o custo da tubulação propriamente dita. O relevo planar levou a custos maiores de instalação em comparação a geomorfologia convexo convergente, devido a menor subdivisão das bacias de drenagem, geração de um maior volume de escoamento superficial e a presença de grandes declividades, onde foi necessária a aplicação de condutos com maior rugosidade, como por exemplo túnel lanners de chapa metálica rugosa ou PEAD corrugado, e a utilização de degraus para dissipação de energia, que encareceram significativamente o custo total do projeto. Foi possível notar que a geomorfologia possui forte influência nesta análise, pois a topografia dita o caminhamento das águas e o traçado da tubulação.

A limitação na análise dos custos realizada se deve ao fato de que as redes traçadas são uma proposta para análise do custo de instalação de drenagem nas USTs de maneira global, e não foram otimizadas utilizando algoritmos específicos.

O estudo dos serviços ecossistêmicos foi realizado utilizando a simulação de um ano hidrológico médio para permitir quantificar a provisão de SE em cada UST. Primeiramente foi realizado o balanço hídrico, destacando as USTs com maior taxa de infiltração (RB2, RM) e as com menores taxas de infiltração e maior geração de escoamento (RH5 e RB1).

O serviço ecossistêmico de recarga de aquíferos foi quantificado utilizando o balanço hídrico para cada UST. Nota-se que as valas-trincheira aumentaram em 36,6 % a provisão desse serviço para a geomorfologia convexo convergente e mais de 37% para a geomorfologia planar. Esse resultado destaca o potencial que as medidas compensatórias possuem em restaurar os SE pós o processo de urbanização, além de auxiliar no amortecimento de cheias.

A avaliação do SE de qualidade da água superficial foi realizada utilizando os conceitos do fenômeno *first flush* em áreas urbanas. A melhoria da qualidade da água foi inferida considerando que é diretamente proporcional à redução de escoamento superficial. Nessa

comparação, considera-se que as valas-trincheira absorvem os primeiros milímetros de chuva com grande parte dos poluentes acumulados na superfície. Essa análise mostrou que a eficiência das medidas compensatórias está diretamente ligada ao relevo e tipo de solo. Como a geomorfologia planar levou à melhor eficiência nas valas-trincheira, infere-se que também apresentou os melhores resultados em melhoria da qualidade da água superficial.

O serviço negativo de movimento de terra foi quantificado de acordo com o volume de escavação necessário para execução das redes de drenagem, valas-trincheira e bacias de detenção. Os parâmetros que mais influenciam este desserviço é a extensão total da rede, diâmetro da rede, extensão das valas e volume da bacia de detenção. A UST que mais demandou movimento de terra foi a RM, devido a extensão de rede ser muito maior em comparação aos outros padrões, devido sua geometria apresentar um maior número de ramificações da rede. Em seguida tem-se a UST RH5, que apresentou um movimento de terra considerável devido a geração de grande volume de escoamento superficial que demandou a utilização de grandes diâmetros. Para execução das valas-trincheira e bacias de detenção seria necessário quase triplicar o volume do movimento de terra. Em contraponto, as valas-trincheira demonstraram ser fundamentais para provisão de serviços ecossistêmicos urbanos importantes, como a recarga de aquíferos e a melhoria da qualidade da água. As USTs RM e RB2 apresentaram um maior volume de movimento de terra em relação as demais, devido à possibilidade de utilização de área de valas-trincheira maior para essas USTs pois há uma presença maior de áreas verdes para locação dessas medidas.

Para quantificação da provisão do SE de prevenção de alagamentos, foram comparadas as lâminas de precipitação e os períodos de retorno necessários para provocar a sobrecarga da rede de drenagem no cenário de rede convencional e no sistema com valas-trincheira, considerando a rede em condição de sobrecarga e quando pelo menos dois poços de visita se encontram afogados. As USTs com melhor desempenho foram a RB2 e RB1, devido à maior eficiência no amortecimento do escoamento pelas LIDs. Comparando as duas topografias, a planar apresentou um melhor desempenho em comparação a convexo convergente para esta análise. Com as topografias convergente e divergente, para a UST RH5, a topografia convergente apresentou uma maior provisão desse serviço devido a eficiência das valas para esse cenário ser maior do que na topografia divergente, onde as valas tiveram pouca ou quase nenhuma eficiência.

As formas de avaliação dos SE na literatura são muito diversificadas. As métricas utilizadas na quantificação de cada serviço também variam de acordo com a região e estudo proposto. Os SE estão intrinsecamente ligados às condições ambientais locais. As avaliações propostas neste estudo se basearam na regulamentação e bibliografias sobre o DF. Outras proposições para avaliação de cada serviço podem ser feitas, como por exemplo: na avaliação de alagamentos, utilizar diferentes chuvas ou simular em base contínua; para o movimento de terra somar os efeitos também da execução da pavimentação do loteamento; para a recarga efetiva de aquíferos considerar a redução da recarga com o aumento da declividade de acordo com os estudos de Morbidelli *et al.* (2019); e para a análise da qualidade da água, realizar modelagem para quantificação da carga de poluentes removida do sistema com a utilização das valas-trincheira.

Após realizada as análises, foi possível observar dois padrões que se destacam por trabalharem em condições extremas, o RH5 gerando a maior quantidade de escoamento superficial em todas as análises e o RB2 gerando o menor volume. Foram elaborados cenários para ambos os padrões e geomorfologias explorando como estes padrões se comportariam em um solo ainda menos permeável, o solo tipo C dos grupos de solos hidrológicos, representado pelos Argissolos. Foi possível observar que o padrão RB2 foi o que levou ao maior aumento da vazão de pico com a mudança de tipo de solo. Isto se deve ao fato de que por possuir uma grande porcentagem de área verde em seu arranjo, o crescimento do CN médio foi de 25%, pois os CNs para áreas verdes crescem de 30 para o solo A, para 58 no solo B, chegando a 71 no solo C. A mudança no CN médio para UST RH5 foi de somente 12%, apresentando uma menor variação nas vazões de pico com a mudança do grupo de solo. Os custos de implantação cresceram da mesma forma. Para a UST RB2 o custo aumentou em mais de 4 vezes com a mudança de tipo de solo, e para a UST RH5 em apenas 1,5 vezes. O uso de valas-trincheira para o solo C se mostrou ainda efetivo na diminuição do escoamento superficial, pelo fato de que esta medida compensatória trabalha tanto como uma medida de retenção, quanto uma medida para auxiliar na infiltração, sendo ainda efetiva para solos menos permeáveis.

Para analisar os efeitos da topografia de forma mais clara, e devido ao fato de que a topografia convexo convergente apresenta ambas características, foram elaborados dois cenários adicionais, um com a topografia exclusivamente convergente e outro com a topografia exclusivamente divergente. As topografias geradas possuem o mesmo

espaçamento entre as curvas de nível e variação da elevação, diferenciando-se somente na direção do gradiente da encosta. Observou-se que a topografia teve moderada influência na vazão de pico gerada. No entanto, observa-se que o efeito da topografia foi sentido principalmente pela dimensão econômica e pela eficiência das medidas compensatórias instaladas. Os custos elevados foram observados nas geomorfologias planar e convergente, onde há uma concentração de vazão em ramos nas avenidas principais demandando a utilização de grandes diâmetros. Na geomorfologia convergente foi possível observar que o efeito de remanso, no traçado de rede em formato de espinha, teve grande impacto nos custos, e na geomorfologia planar o gradiente elevado de declividade próximo ao exutório que demandou a utilização de técnicas de dissipação de energia.

Pode-se citar como limitação principal de análise neste trabalho a quantidade limitada de geomorfologias analisadas pois, como discutido na seção 3.5, existem nove tipos de geomorfologia e, neste trabalho, foi avaliado o efeito de três deles. A escolha inicial da análise em superfícies reais nos permitiu verificar quais são as principais problemáticas existentes na rede de drenagem existente em locais onde geralmente se apresentam problemas de drenagem, como por exemplo geomorfologia planar para a região de Vicente Pires, e a geomorfologia Convexo Convergente para a região de São Sebastião. A análise em superfícies virtuais nos permite realizar um número maior de verificações sobre as características de cada geomorfologia, pois com superfícies virtuais pode-se fazer diversas variações nos gradientes de declividade, convergência, divergência, convexidade e concavidade. Em estudos futuros podem ser propostas superfícies virtuais e a utilização de padrões de maneira mista, aliando padrões residenciais e comerciais em uma mesma análise, variando as geomorfologias geradas virtualmente com diversos gradientes.

Destaca-se também para estudos futuros a utilização de mais de um tipo de LID por loteamento, e da utilização de medidas compensatórias a nível de lote para as USTs com lotes acima de 600 m², de acordo com a legislação vigente.

Tabela 5.17: Tabela Síntese de Resultados.

Análise	Principais Resultados
Impacto da compactação do solo pós urbanização	UST RB1: Aumento de 17% da vazão de pico com a mudança do tipo de solo de A para C. UST RM: Aumento de 116% da vazão de pico com a mudança do tipo de solo de A para C.
Potencial de recarga de aquíferos	UST RH1: Potencial de 7,4% UST RH5: Potencial de 16,8% A densidade construtiva afeta diretamente na capacidade de infiltração.
Vazão de pré-desenvolvimento	Solo A: 60 l/s.ha Solo B: 90 l/s.ha Vazão ADASA: 24,4 l/s.ha
Impacto dos padrões de ocupação urbana no ambiente por relevo – Relevo Planar	Vazão de Pico por UST Cenário de Redes: Menor: RB2 A: 210 l/s.ha Média: RB1 A: 329 l/s.ha Maior: RH5 A: 417 l/s.ha Cenário de LIDs: Menor: RB2 A: 34 l/s.ha Média: RM Paralelo A: 124 l/s.ha Maior: RH5 A: 232 l/s.ha
Impacto dos padrões de ocupação urbana no ambiente por relevo – Relevo Convexo Convergente	Vazão de Pico por UST Cenário de Redes: Menor: RB2 A: 145 l/s.ha Média: RB1 A: 313 l/s.ha Maior: RH5 A: 389 l/s.ha Cenário de LIDs: Menor: RB2 A: 42 l/s.ha Média: RM Perpendicular A: 132 l/s.ha Maior: RM Paralelo A: 148 l/s.ha
Eficiência das valas de Infiltração por UST e Relevo	Para ambas topografias: Menor: RH5; Média: RM; Maior: RB2
Custo de implantação	Para ambas topografias: Menor: RB2; Média: RB1; Maior: RH5, RM
Recarga de aquíferos	Por UST: Pior desempenho: RH5 Melhor desempenho: RB2 Por Relevo: Pior desempenho: Convexo Convergente Melhor desempenho: Planar
Melhoria da qualidade da água superficial	Por UST: Pior desempenho: RH5 Melhor desempenho: RB2 Por Relevo: Pior desempenho: Convexo Convergente Melhor desempenho: Planar

Cont.

Tabela 5.17: Tabela Síntese de Resultados, Continuação.

Análise	Principais Resultados
Movimento de Terra	Por UST: Menor Volume: RB2 Maior Volume: RM Por Relevo: Menor Volume: Convexo Convergente Maior Volume: Planar
Prevenção de Alagamentos	Por UST: Menor: RH5 Maior: RB2 Por Relevo: Menor: Convexo Convergente Maior: Planar
Análise da influência das características dos relevos convergente, divergente e planar	Convergente: Concentração da Vazão, demanda maiores diâmetros Divergente: Ramificação da rede, menor concentração de vazões Planar: Aceleração do escoamento superficial

6. CONCLUSÕES

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de avaliar o impacto de padrões de ocupação urbanos residenciais e das características geomorfológicas no manejo de águas pluviais no Distrito Federal. Para atingir este objetivo foi desenvolvida uma metodologia de análise partindo do uso e ocupação do solo dos padrões de ocupação urbana mapeados para o DF, escolhendo as morfologias mais usuais e com potencial de replicação para novos loteamentos.

Foram elaborados inicialmente 6 arranjos para as simulações em escala a nível de quadra, e 20 arranjos para a simulação a nível de loteamento. Para escala a nível de quadra foram realizadas análises do impacto da compactação do solo no processo de urbanização para os padrões RM e RB1, e o potencial de recarga de aquíferos para os padrões RH1 e RH5.

A nível de loteamento, com a área de 100 hectares, foram projetados loteamentos com os padrões RH5, RM, RB1 e RB2, avaliando o impacto das geomorfologias planar e convexo convergente na geração de escoamento superficial, utilizando os solos A e B, para os cenários de rede convencional e com a utilização de medidas compensatórias.

Para complementar a discussão e fundamentar os resultados, foram elaborados mais 6 cenários adicionais, sendo 4 para avaliação dos padrões RB2 e RH5 para o solo tipo C, e dois variando a geomorfologia para exclusivamente convergente ou divergente para o padrão RH5.

O traçado e dimensionamento da rede de drenagem foi realizado seguindo as recomendações normativas da NOVACAP e da ADASA, e buscou-se projetar visando o cenário mais econômico possível, atendendo a todas as áreas contribuintes. A modelagem foi desenvolvida com o SWMM, onde foi possível dimensionar e avaliar a performance dos condutos para diferentes cenários.

O estudo mostrou que a posição do padrão de ocupação em relação as curvas de nível influenciou nas vazões de pico geradas e, por consequência, nos aspectos econômicos, eficiência das medidas compensatórias e provisão de serviços ecossistêmicos. O arranjo mais compacto da posição paralela das quadras RM foi bastante vantajoso para a geomorfologia

convexo convergente e permitiu uma melhor divisão das áreas de contribuição reduzindo os custos. Para a geomorfologia planar essa compacidade das quadras não é adequada pois concentra as vazões em determinadas localidades e aumenta os custos de rede. O arranjo perpendicular das quadras RM na geomorfologia planar foi mais vantajoso pois apresentou uma menor concentração de vazões e devido a tubulação estar direcionada a região com maior gradiente de declividade propiciou a aceleração e caminhamento do escoamento nas tubulações de maneira mais efetiva.

Quanto à geomorfologia, observou-se que no geral a topografia planar gerou maiores vazões de pico e custo de instalação, devido à forte declividade do terreno. A geomorfologia convexo convergente assim como a divergente por estar em regiões de divisores de águas, apresentou vazões de pico menores, e uma melhor distribuição da divisão das áreas contribuintes gerando menores custos. A topografia convergente apresentou custos elevados devido a concentração de vazões nos ramos principais das avenidas, e ao efeito de remanso gerado pelo traçado escolhido, diminuindo a eficiência dos condutos e demandando a utilização de diâmetros maiores nestes ramos.

A eficiência das medidas compensatórias variou de acordo com a geomorfologia e o padrão. Em geral as medidas compensatórias trabalharam de maneira mais efetiva na geomorfologia planar devido ao direcionamento das águas das áreas impermeáveis para as LIDs ser realizado mais efetivamente para este relevo em comparação a geomorfologia convexo convergente em que o direcionamento é mais disperso. A topografia convergente apresentou uma vantagem em relação as demais, devido ao fato de a convergência desta superfície tender a concentrar o escoamento, e como as LIDs estavam locadas nas avenidas principais do padrão de ocupação onde se concentrava o volume de escoamento superficial, o direcionamento e efetividade do amortecimento da cheia pelas valas-trincheira neste cenário foi bastante notável. A geomorfologia divergente, assim como a convexo convergente, geralmente encontrada em regiões de morros, onde estão localizados os divisores de águas de bacias, não favorecem o direcionamento da água para um único ponto, e a depender da geometria do padrão de ocupação implantado nestas regiões as valas-trincheira tem pouca efetividade no amortecimento do pico do escoamento superficial.

As LIDs, além de amortecerem a vazão de pico e terem levado a vazão a valores de pré-desenvolvimento para o caso da morfologia RB2, também podem ser efetivas na restauração

da provisão de serviços ecossistêmicos de recarga de aquíferos, melhoria indireta na qualidade da água superficial e prevenção de alagamentos.

As USTs em que não foi possível atingir a vazão de pré-desenvolvimento utilizando somente as valas-trincheira, foram calculados os volumes necessários de bacias de retenção para que as vazões de restrição fossem atendidas. Como as valas-trincheira foram locadas em espaços públicos, ocupando todo o espaço em que era possível sua locação, para evitar o uso de bacias de retenção, verifica-se que é recomendado o uso de técnicas de retenção e infiltração a nível de lote para minimizar o volume de escoamento superficial que chega até as redes de drenagem quando o tamanho do lote permite. O tipo de solo influencia diretamente no tipo de medida compensatória a ser empregada, pois para solos menos permeáveis a utilização de técnicas como trincheiras de infiltração não é efetiva, sendo necessário fazer o estudo de outras técnicas para amortecimento do escoamento superficial.

A vazão de pré-desenvolvimento estabelecida pela resolução nº 9/2011 da ADASA, calculada para um coeficiente C do método racional, equivalente a um CN do solo A para gramados, leva a valores excessivos de vazão de pré-desenvolvimento para solos menos permeáveis. Os resultados obtidos para o volume necessário de bacias de retenção para atender a vazão de meta da ADASA foram muito maiores que os para as vazões de pré-desenvolvimento calculadas no modelo SWMM para as geomorfologias e tipos de solo estudados.

A UST com maior impacto em relação às condições de pré-desenvolvimento foi a RH5, gerando grandes vazões de pico e por consequência necessitando a utilização de grandes diâmetros para o manejo de águas pluviais. A UST RH5 para o solo B gerou o maior custo de instalação devido a grandes extensões de tubulações com diâmetros maiores que 2,00 m

A UST que gerou custos elevados de maneira geral foi a RM devido ao seu arranjo que levou a necessidade de uma maior extensão de rede para que fosse possível atender a todas as áreas contribuintes. As USTs RB1 e RB2, devido seu arranjo mais compacto, levaram a uma menor quantidade de ramificações para atendimento das áreas contribuintes e apresentaram menores custos de instalação.

Quanto à provisão de serviços ecossistêmicos, a UST com melhor desempenho foi a RB2 devido a sua grande porcentagem de área verde, e o arranjo dessas áreas verdes ser em formato de cinturão facilitando o direcionamento das águas das áreas impermeáveis para áreas permeáveis, e também gerando uma menor vazão de pico.

A UST RB1 também se destacou na provisão de serviços ecossistêmicos, seguido pela UST RM com resultados intermediários. A UST RH5 apresentou os piores resultados de serviços ecossistêmicos devido à grande porcentagem de área impermeabilizada dessa UST e o arranjo das quadras não ser favorável a instalação de medidas compensatórias em áreas públicas.

Os padrões multifamiliares RB2 e RM se mostraram eficientes na provisão de serviços ecossistêmicos, apresentaram custos competitivos, e ressaltam que o adensamento da população em edificações multifamiliares gera impactos menores em comparação a loteamentos unifamiliares. A existência de uma maior quantidade de áreas verdes e espaços públicos proporciona oportunidades de instalação das medidas compensatórias e amenidades paisagísticas, proporcionando um urbanismo sensível a água e de baixo impacto. Diversos trabalhos desenvolvidos no Distrito Federal trazem a luz a discussão de um urbanismo com adensamento vertical sendo mais vantajoso (Seraphim, 2018; Andrade, 2014).

O estudo apresenta limitações, como o número de USTs e geomorfologias avaliadas, sendo encorajado o desenvolvimento de arranjos com os padrões RH1 (unifamiliar de alta densidade), RB3 (multifamiliar de alta densidade) para comparações, pois essas duas USTs não possuem áreas públicas onde podem ser locadas medidas compensatórias, onde seria necessário um estudo de locação mais aprofundado. Para as geomorfologias encoraja-se o desenvolvimento de superfícies virtuais com diferentes gradientes de declividade, convergência, concavidade, convexidade e divergência, para avaliar o efeito de cada característica separadamente, não sendo possível realizar esta avaliação em superfícies reais que apresentam características distintas em uma mesma superfície. A utilização de mais de um tipo de LID em cada UST pode levar a resultados interessantes no amortecimento das vazões de pico, e destaca-se também, principalmente para padrões unifamiliares a necessidade do uso de medidas a nível de lote.

O estudo dos SE foi realizado balizando-se em estudos existentes, como o de Castro (2017), porém propondo uma nova abordagem para quantificação com base na legislação do Distrito Federal. Para utilização dessa metodologia em estudos futuros, deve-se considerar as métricas de avaliação dos serviços ecossistêmicos, que variam de estudo para estudo conforme a bibliografia. Deve-se levar em conta também as características geomorfológicas e hidrológicas da região de análise que pode demandar alterações na metodologia proposta nesse trabalho.

Recomenda-se o uso dos resultados obtidos nesse trabalho como indicadores de avaliação para balizar comparações em estudos futuros.

Para complementação dos cenários estudados, seria necessário realizar a modelagem com todas as USTs mapeadas por Castro (2017), em nível de análise de quadra e loteamento, para verificar o comportamento hidrológico dos demais padrões, avaliar o efeito da declividade do terreno nos projetos das redes de drenagem e analisar o comportamento de outros tipos de medidas compensatórias, como jardins de chuva, reservatórios de montante entre outras, em cada relevo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADASA, Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (2018). Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal. In: Yazaki, L. F. O.; Montenegro, M. H. F.; Costa, J. da. (eds.). UNESCO, Distrito Federal, 333 p.
- Agnese, C.; Baiamonte, G. & Corrao, C. (2007). Overland flow generation on hillslopes of complex topography: analytical solutions. In: *Hydrological Processes*, 21, 1308 – 1317.
- Aisse, M. Mansur (1997). Drenagem Urbana – Cálculo da Microdrenagem. In: Drenagem e Controle da Erosão Urbana. Fendrich, R.; Obladden, N. L.; Aisse, M. M. & Garcias, C. M.. 4 ed. Editora Champagnat, Curitiba – PR, 485 p.
- ANA, Agência Nacional de Águas (2018). Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos: Posto Pluviométricos e Fluviométricos. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br>>. Acesso em Outubro de 2018.
- Andrade, L. M. S. de (2014). *Conexão dos Padrões Espaciais dos Ecossistemas Urbanos: A construção de um método com enfoque transdisciplinar para o processo de desenho urbano sensível à água no nível da comunidade e da paisagem*. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 544 p.
- Anjos, R. S. A. dos (2012). Brasília – 50 Anos de Dinâmica Territorial Urbana. In: *Tempo - Técnica – Território*, 3(1), 1-24.
- Artina, Sandro (Ed.). *Sistemi fognari: Manuale di Progettazione*. Milano, Italy, 1997.
- ASCE, American Society of Civil Engineers. Design and Construction of Urban Stormwater (1992). ASCE – Manuals and Reports on Engineering Practice No. 77. New York, USA, 724 p.
- Azevedo Netto, J. M. de; Fernandes, M. F. (2015). Manual de Hidráulica. 9 ed. São Paulo: Blucher, 632 p.
- Bach, P. M., Staalesen, S., McCarthy, D. T., & Deletic, A. (2015). Revisiting land use classification and spatial aggregation for modelling integrated urban water systems. In: *Landscape and Urban Planning*, 143, 43-55.
- Baeninger, R. (2010). Rotatividade Migratória: um novo olhar para as migrações no século XXI. In: *XVI Encontro Nacional de Estudos Populacionais, da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, ABEP*. Caxambu, Minas Gerais, Outubro de 2008.

- Bakhshipour, A. E., Dittmer, U., Haghighi, A., & Nowak, W. (2019). Hybrid green-blue-gray decentralized urban drainage systems design, a simulation-optimization framework. In: *Journal of Environmental Management*, 249, 109364.
- Ballard, B. W.; Wilson, S.; Udale-Clarke, H.; Scott, T.; Ashley, R. & Kellagher, R. (2015). *The SuDS Manual*. CIRIA, London, UK, 968 p.
- Banzhaf, E., & Hofer, R. (2008). Monitoring urban structure types as spatial indicators with CIR aerial photographs for a more effective urban environmental management. In: *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 1(2), 129-138.
- Behrouz, M. S., Zhu, Z., Matott, L. S., & Rabideau, A. J. (2020). A new tool for automatic calibration of the Storm Water Management Model (SWMM). In: *Journal of Hydrology*, 581, 124436.
- Besussi, E.; Chin, N.; Batty, M. & Longley, P. (2010). Chapter 2: The Structure and Form of Urban Settlements. In: Rashed, T. & Jürgens, C. (eds). *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*, Springer Science+Business Media, London, UK, 20 p.
- Beven, K. J. (2012). *Rainfall-runoff modelling: the primer*. John Wiley & Sons, Lancaster University, UK, 472 p.
- Brasil (2001). Lei Federal Nº 10.257, de 10 de Julho de 2001, Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências – Estatuto das Cidades.
- Bruwier, M., Archambeau, P., Erpicum, S., Piroton, M., & Dewals, B. (2017). Shallow-water models with anisotropic porosity and merging for flood modelling on Cartesian grids. In: *Journal of Hydrology*, 554, 693-709.
- Campos, J. E. G. (2004). “Hidrogeologia do Distrito Federal: bases para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos”. In: *Revista Brasileira de Geociências*, 34(1), 4 - 48.
- Cardoso, M. R. D.; Marcuzzo, F. F. N. & Barros, J. R. (2014). Classificação Climática de Köpen-Geiger para o Estado de Goiás e Distrito Federal. In: *ACTA Geografia*, Boa Vista – RR, 8(16), 40 – 55.
- Carvalho, D. J. (2018). *Manejo de Águas Pluviais Urbanas em Diferentes Projetos Urbanísticos e com Soluções de Baixo Impacto para Área Residencial – Taquari/DF*. Monografia de Projeto Final em Engenharia Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 54 p.

- Carvalho, E. N. de (2014). Aplicação e Adequação de Índice de Qualidade da Água, Resultante de Monitoramento dos Reservatórios do Sistema Salto e Bacias dos Rios Paranhana e dos Sinos (RS) e Outros Ambientes Límnicos. Tese de Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Porto Alegre – RS.
- Carvalho, J. C., Junior, G. D., & Carvalho, E. (2012). Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais. Faculdade de Tecnologia, Brasília – DF, 672 p.
- Castro, K. B. de (2017). *Segurança Hídrica Urbana: Morfologia Urbana e Indicadores de Serviços Ecossistêmicos, Estudo de Caso do Distrito Federal, Brasil*. Tese de Doutorado em Geociências Aplicadas, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 207 p.
- Ceolin, L. F. M. (2019). Análise Hidráulica-Hidrológica da Implantação de Bacias de Retenção e Detenção em Vicente Pires. Monografia de Projeto Final em Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, UnB, Brasília, DF, 99p.
- CETESB (DAEE) - Departamento de Água e Energia Elétrica- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (1980). Drenagem urbana: Manual de projeto. 2 ed. São Paulo, 468 p.
- Chaosakul, T. A., Koottatep, T., & Irvine, K. (2013). Low impact development modeling to assess localized flood reduction in Thailand. In: *Journal of Water Management Modeling*, R246-18.
- Christofidis, D., Assumpção, R. D. S. F. V., & Kligerman, D. C. (2020). A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. In: *Saúde em Debate*, 43, 94-108.
- Cobrape (2018). Plano Diretor de Drenagem Urbana de Curitiba, **Vol. IV**, Manual de Drenagem. Prefeitura de Curitiba, Secretaria Municipal de Obras Públicas, Secretaria Municipal de Meio Ambiente, 152 p.
- Collett, B.; Friedmann, V. & Miller, W. (2013). Low Impact Development: Opportunities for PlanET Region. City of Knoxville, USA, 218 p.
- Collischon, W.; Dorneles, F. (2015). Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais. 2ª ed. rev. e ampliada. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). Porto Alegre, 342 p.
- Concremat Engenharia (2008). Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal – 2008. Secretaria de Estado de Obras, NOVACAP, Brasília – DF, 237 p.

- Costa, B. F. (2019). Análise Temporal do Potencial de Recarga de Aquíferos na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá, Brasília – DF. Monografia de projeto final em Ciências Ambientais, IG / IB / IQ / FACE-ECO / CDS, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 46 p.
- Costa, M. E. L. (2013). *Monitoramento e modelagem de águas de drenagem urbana na bacia do Lago Paranoá*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 179p.
- Costa, M. E. L.; Souza, F. P.; Roque, D. F. D.; Koide, S. (2018). Analysis of Urban Stormwater Runoff Quality and First Flush Pheomenon. In: *14th International Conference on Urban Drainage*, Prague, Chzec Republic.
- Delci, F. N. C. (2019). Estudo de Caso do Sistema de Drenagem de Santa Maria – DF. Monografia de Projeto Final em Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, UnB, Brasília, DF, 51 p.
- Deletic, A., Dotto, C. B. S., McCarthy, D. T., Kleidorfer, M., Freni, G., Mannina, G., ... & Bertrand-Krajewski, J. L. (2012). Assessing uncertainties in urban drainage models. In: *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 42, 3-10.
- De Paula, A. C. V. (2018). *Comportamento e Evolução Temporal de Bacias de Detenção e Retenção no Amortecimento de Cheias e na Qualidade da Água – Estudo de Caso da Bacia de Detenção do Guará – DF*. Seminário de Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 45 p.
- Dobbs, C., Kendal, D., & Nitschke, C. R. (2014). Multiple ecosystem services and disservices of the urban forest establishing their connections with landscape structure and sociodemographics. In: *Ecological Indicators*, 43, 44-55.
- Döhren, P. von; & Haase, D. (2015). Ecosystem disservices research: a review of the state of the art with a focus on cities. In: *Ecological Indicators*, 52, 490-497.
- Eigenbrod, F., Bell, V. A., Davies, H. N., Heinemeyer, A., Armsworth, P. R., & Gaston, K. J. (2011). The impact of projected increases in urbanization on ecosystem services. In: *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1722), 3201-3208.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1978). Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos, Boletim Técnico n° 53. Rio de Janeiro – RJ, 472 p.

- ETEP, ENGECORPS (2008). Manual de Drenagem Urbana do Município de Vitória – ES. Plano Diretor de Drenagem Urbana. Prefeitura de Vitória, ES, 81 p.
- Estonia-Latvia Programme (2013). Handbook on Sustainable Urban Drainage Systems. In: *(D)rain for Life, “Promoting Sustainable Urban Drainage Systems in Estonia-Latvia Cross Border Area to Improve the Environment for Active and Sustainable Communities”*, European Union, 121 p.
- FAL – UnB – Fazenda Água Limpa, Universidade de Brasília. Dados Brutos de Evapotranspiração do Tanque Classe A. Cedidos em Outubro de 2019.
- Ferrigo, S. (2014). *Análise de consistência dos parâmetros do modelo SWAT obtidos por calibração automática – Estudo de caso da bacia do lago Descoberto – DF*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 164p.
- Fiori, J. P. de O.; Campos, J. E. G. & Almeida, L. (2010). Variabilidade da Condutividade Hidráulica das Principais Classes de Solos do Estado de Goiás. In: *Geociências*, UNESP, São Paulo – SP, 9(2), 229 – 235.
- Fletcher, T. D.; Shuster, W.; Hunt, W. F.; Ashley, R.; Butler, D.; Arthur, S.; Trowsdale, S.; Barraud, S.; Semadeni-Davies, A.; Bertand-Krajewski, J.; Mikkelsen, P. S.; Rivard, G.; Uhl, M.; Dagenais, D. & Viklander, M. (2014). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. In: *Urban Water Journal*, 12(7), 525 – 542.
- Fletcher, T. D.; Andrieu, H. & Hamel, P. (2013). Understanding, Management and Modeling of Urban Hydrology and its Consequences for Receiving Waters: A state of the art. In: *Advances in Water Resources*, 51 (2013), 261 – 279.
- Fragkias, M.; Seto, K. C. (2009). “Evolving rank-size distributions of intra-metropolitan urban clusters in South China”. In: *Computers, Environment and Urban Systems*, 33, 189 – 199.
- Fendrich, R.; Obladden, N. L.; Aisse, M. M. & Garcias, C. M. (1997). Drenagem e Controle da Erosão Urbana. 4 ed. Editora Champagnat, Curitiba – PR, 485 p.
- Fonseca, F. O. (2001). Olhares sobre o lago Paranoá. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Brasília – DF.
- Forgiarini, F. R., Souza, C. F., SILVEIRA, A. L. L. D., SILVEIRA, G. L. D., & TUCCI, C. E. (2007). Avaliação de cenários de cobrança pela drenagem urbana de águas pluviais. In: *XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, São Paulo.

- Garcias, C. M. (1997). Drenagem Urbana – Velocidades em Tubulações de Concreto. In: Drenagem e Controle da Erosão Urbana. Fendrich, R.; Obladden, N. L.; Aisse, M. M. & Garcias, C. M.. 4 ed. Editora Champagnat, Curitiba – PR, 485 p.
- GDF, Governo do Distrito Federal (2009). Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal – Documento Técnico.
- GDF, Governo do Distrito Federal (2012). Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal – PGIRH/DF: Relatório Final. ADASA, ECOPLAN, vol. I, Brasília – DF, 778 p.
- GDF, Governo do Distrito Federal (2017a). Projeto de Lei Complementar, Aprova a Lei de Uso e Ocupação do Solo do Distrito Federal – LUOS, nos termos dos arts. 316 e 318 da Lei Orgânica do Distrito Federal e dá outras providências.
- GDF, Governo do Distrito Federal (2017b). Lei Complementar N° 929, de 28 de Julho de 2017, Dispõe sobre dispositivos de captação de águas pluviais para fins de retenção, aproveitamento e recarga artificial de aquíferos em unidades imobiliárias e empreendimentos localizados no Distrito Federal e dá outras providências.
- GDF, Governo do Distrito Federal (2018). Projeto de Lei 1988/2018. Zoneamento Econômico Ecológico do Distrito Federal.
- Gonçalves, T. D., Roig, H. L., & Campos, J. E. G. (2009). Sistema de informação geográfica como ferramenta de apoio à outorga dos recursos hídricos subterrâneos no Distrito Federal. In: *Revista brasileira de Geociências*, 39(1), 169-180.
- Grafius, D. R., Corstanje, R., & Harris, J. A. (2018). Linking ecosystem services, urban form and green space configuration using multivariate landscape metric analysis. In: *Landscape ecology*, 33(4), 557-573.
- Haase, D.; Rall, E. L. (2014) .Creative intervention in a dynamic city: A sustainability assessment of an interim use strategy for brownfields in Leipzig, Germany. In: *Landscape and Urban Planning*, 100(3), 189-201
- Hallema, D. W.; Moussa, R.; Sun, G. & McNulty, S. G. (2016). Surface storm flow prediction on hillslopes based on topography and hydrologic connectivity. In: *Ecological Processes*, 5(1), 13 p.
- Hamouz, V., & Muthanna, T. M. (2019). Hydrological modelling of green and grey roofs in cold climate with the SWMM model. In: *Journal of Environmental Management*, 249, 109350.

- Heiden, U.; Heldens, W.; Roessner, S.; Segl, K.; Esch, T.; Mueller, A. (2012). Urban structure type characterization using hyperspectral remote sensing and height information. In: *Landscape and Urban Planning*, 105, 361-375.
- Heineberg, H. (2006). “German geographical urban morphology in an international and interdisciplinary framework”. In: *Urban Morphology*, 11(1), 5-24.
- Hecht, R.; Herold, H.; Meinel, G. & Buchroithner, M. (2013). Automatic derivation of urban structure types from topographic maps by means of image analysis and machine learning. In: *26th International Cartographic Conference*, Desdren, Germany, 18 p.
- Höfer, R. (2013). *Remote sensing based derivation of urban structure types to assess hydro-meteorological impacts in highly dynamic urban agglomerations in Latin America*. Doctor Thesis, Faculty of Forest and Environmental Sciences, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg, Breisgau, Germany, 230 p.
- Hofmeister, B. (2004). The study of urban form in Germany. In: *Urban Morphology*, 8(1), 3-12.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasil em Síntese: Distrito Federal – Levantamento populacional, área territorial e densidade demográfica. Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/brasil/panorama>>. Acesso em Outubro de 2018.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep> > Acesso em Fevereiro de 2019.
- IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Manual de Drenagem Urbana – Porto Alegre. **Vol. IV**. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, RS, 167 p.
- Jabor, M. A. (2018). *Drenagem de Rodovias: Estudos Hidrológicos e Projetos de Drenagem*. Campos Jabôr, Belo Horizonte, MG, 192 p.
- Jia, N., Sitzenfrie, R., Rauch, W., Liang, S., & Liu, Y. (2019). Effects of Urban Forms on Separate Drainage Systems: A Virtual City Perspective. In: *Water*, 11(4), 758.
- Jiao, L. (2015). Urban land density function: A new method to characterize urban expansion. In: *Landscape and Urban Planning*, 139, 26 - 39.
- Kaufmann, R. K., Seto, K. C., Schneider, A., Liu, Z., Zhou, L., & Wang, W. (2007). Climate Response to Rapid Urban Growth: Evidence of a Human-Induced Precipitation Deficit. In: *Journal of Climate*, 20(10), 2299–2306.

- Kirkby, M. (1988). Hillslope Runoff Processes and Models. In: *Journal of Hydrology*, 100, 315 – 339.
- Kramer, M. G. (2014). Enhancing Sustainable Communities with Green Infrastructure. EPA – Environmental Protection Agency, USA, 66 p.
- Kuller, M., Bach, P. M., Ramirez-Lovering, D., & Deletic, A. (2018). What drives the location choice for water sensitive infrastructure in Melbourne, Australia?. In: *Landscape and Urban Planning*, 175, 92-101.
- Kuller, M., Bach, P. M., Ramirez-Lovering, D., & Deletic, A. (2017). Framing water sensitive urban design as part of the urban form: A critical review of tools for best planning practice. In: *Environmental modelling & software*, 96, 265-282.
- Lima, J. E. F. W.; Silva, E. M.; Strauch, M. & Lorz, C. (2013). Desenvolvimento de base de dados de solos para a aplicação do modelo SWAT em bacia do Bioma Cerrado. In: *XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Bento Gonçalves – RS, 8 p.
- Li, G., & Matthew, R. G. (1990). New approach for optimization of urban drainage systems. In: *Journal of Environmental Engineering*, 116(5), 927-944.
- Lousada, E. O.; Campos, J. E. G. (2005). Proposta de Modelos Hidrogeológicos Conceituais Aplicados aos Aquíferos da Região do Distrito Federal. In: *Revista Brasileira de Geociências*, 35(3), 407-414.
- Luederitz, C., Brink, E., Gralla, F., Hermelingmeier, V., Meyer, M., Niven, L., ... & Abson, D. J. (2015). A review of urban ecosystem services: six key challenges for future research. In: *Ecosystem Services*, 14, 98-112.
- Martins, E. S. (2000). *Petrografia, Mineralogia e Geomorfologia de Rególitos Lateríticos no Distrito Federal*. Tese de Doutorado em Geologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Martins, E. de S.; Reatto, A.; Carvalho Jr, O. A. de; Guimarães, R. F. (2004). Evolução Geomorfológica do Distrito Federal. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Planaltina – DF, 56 p.
- Maryland, Prince George's County (1999). Low Impact Development Design Strategies: Na Integrated Design Approach. Department of Environmental Resources, Programs and Planning Division, 150 p.
- MEA, Millennium Ecosystem Assessment (2005). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.
- Melbourne, Inner Melbourne Action Plan (2006). WSUD Guidelines: Applying the Model WSUD Guidelines. Melbourne Water, City of Melbourne, Australia, 165 p.

- Méndez, D. F. P. (2018) Hydraulic Analysis of Urban Drainage Systems with Conventional Solutions and Sustainable Technologies: Case Study in Quito, Ecuador. In: *Journal of Water Management Modeling (online)*, 26, C440, 10 p.
- Mesquita, J. B. F., Pereira, S. P., & Neto, I. E. L. (2017). Modelagem Matemática da Qualidade da Água Integrando Drenagem Urbana e Hidrodinâmica Costeira. Congresso ABES, FENASAN, São Paulo – SP.
- Mignot, E., Li, X., & Dewals, B. (2019). Experimental modelling of urban flooding: A review. In: *Journal of Hydrology*, 568, 334-342.
- Miguez, M. G.; Veról, A. P.; Rezende, O. M. (2015). Drenagem Urbana: Do Projeto Tradicional à Sustentabilidade. Editora Campus: Elsevier, Rio de Janeiro – RJ.
- MMA, Ministério do Meio Ambiente (2006). Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros, Mapa de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado. Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Planaltina – DF, Embrapa Cerrados; Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia; Goiânia: Universidade Federal de Goiás (eds.). Mapa, color., 118 cm x 84 cm. Escala 1:4.000.000.
- Morbidelli, R., Saltalippi, C., Flammini, A., & Govindaraju, R. S. (2018). Role of slope on infiltration: a review. In: *Journal of hydrology*, 557, 878-886.
- Morbidelli, R., Corradini, C., Saltalippi, C., Flammini, A., Dari, J., & Govindaraju, R. S. (2019). A New Conceptual Model for Slope-Infiltration. In: *Water*, 11(4), 678.
- Morgan, D., Johnston, P., Osei, K., & Gill, L. (2020). A modified wash-off function for stormwater suspended solids modelling. In: *Journal of Hydrology*, 584, 124672.
- Moon, K. D., Downes, N. K., Rujner, H., & Storch, H. (2009). Adaptation of the urban structure type approach for vulnerability assessment of climate change risks in Ho Chi Minh City. In: *E-Proceedings 45th ISOCARP Congress 2009 on Low Carbon Cities*, Porto, Portugal, 7 p.
- Moore, I. D. (1985). Kinematic Overland Flow: Generalization of Rose's Approximate Solution. In: *Journal of Hydrology*, 82, 233 – 245.
- Neto, A. T. (2019). Simulação de sistemas de drenagem urbana sustentável aplicada em um loteamento urbano utilizando o EPA SWMM. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco – PR, 100 p.
- NOVACAP– Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (2019). Termo de Referência e Especificações para Elaboração de Projetos de Sistema de Drenagem Pluvial no Distrito Federal. NOVACAP, GDF, 25 p.

- Oliveira, T. M. G. de (2008). Marcas do Processo de Formação do Espaço Urbano de Brasília pela Ótica da Erradicação de Favelas. In: *Univ. Hum., Brasília*, 5(1/2), 49-76.
- Palumbo, A., Cimorelli, L., Covelli, C., Cozzolino, L., Mucherino, C., & Pianese, D. (2014). Optimal design of urban drainage networks. In: *Civil Engineering and Environmental Systems*, 31(1), 79-96.
- Paviani, A. (2011). Patrimônio Urbano de Brasília: Urbanização com desigualdade socioespacial. In: *9º Seminário Docomo Brasil, Interdisciplinariedade e Experiências em Documentação e Preservação do Patrimônio Recente*, Brasília – DF.
- Pelorosso, R. (2020). Modeling and urban planning: A systematic review of performance-based approaches. In: *Sustainable cities and society*, 52, 101867.
- Perez-Pedini, C.; Limbrunner, J. F. & Vogel, R. M. (2005). Optimal Location of Infiltration-Based Best Management Practices for Storm Water Management. In: *Journal of Water Resources Planning and Management*, 31 (6), 441 – 448.
- Philip, J. R. (1991a). Hillslope Infiltration: Planar Slopes. In: *Water Resources Research*, 27 (1), 109 – 117.
- Philip, J. R. (1991b). Infiltration and Downslope Unsaturated Flows in Concave and Convex Topographies. In: *Water Resources Research*, 27(6), 1041 – 1048.
- Philip, J. R. (1991c). Hillslope Infiltration: Divergent and Convergent Slopes. In: *Water Resources Research*, 27(6), 1035 – 1040.
- Poncet-Montanges, A. (2014). *Classification of urban structural types (UST) using multiple data sources and spatial priors*. Master Project in Laboratory of Geographic Information Systems (LASIG). EPFL, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Switzerland, 54 p.
- Ponciano, J. L. do C. (2016). *Águas Pluviais: Análise de Problemas de Novos Loteamentos, Estudo de Caso do Setor Habitacional Arniqueira – DF*. Monografia em Engenharia Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 90 p.
- Reatto, A.; Martins, E. de S.; Farias, M. F. R.; Silva, A. V. da & Carvalho Jr., O. A. de (2004). Mapa Pedológico Digital – SIG Atualizado do Distrito Federal, Escala 1:100.000 e uma Síntese do Texto Explicativo. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Planaltina – DF, 29 p.
- Righetto, A. M. (coord.) (2009). Manejo de Águas Pluviais. Projeto PROSAB, ABES, Rio de Janeiro – RJ, 398 p.

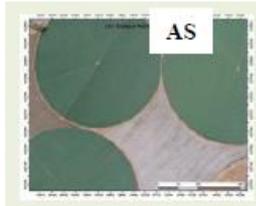
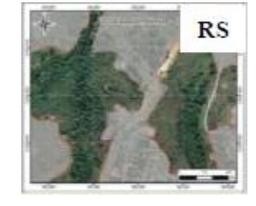
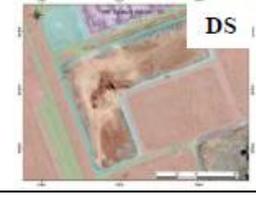
- Rigotti, J. I. R., Campos, J., & Hadad, R. M. (2017). Migrações internas no Brasil:(des) continuidades regionais à luz do Censo Demográfico 2010. In: *Revista Geografias*, 8-24.
- Rio-Águas – Secretaria de Gestão de Bacias Hidrográficas, Secretaria Municipal de Obras. Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana. Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 60 p.
- Rose, C.W., Parlange, J.-Y., Sander, G.C., Campbell, S.Y. and Barry, D.A., 1983. Kinematic flow approximation to runoff on a plane: An approximate analytic solution. In: *Journal of Hydrology*, 62, 363-369.
- Rossman, L. A. (2017). Storm Water Management Model Reference Manual, **vol. II**, Hydraulics. US EPA – United States Environmental Protection Agency, 190 p.
- Rossman, L. A. & Huber, W. C. (2016). Storm Water Management Model Reference Manual, **vol. III**, Water Quality. US EPA – United States Environmental Protection Agency, 161 p.
- Salvadore, E.; Bronders, J. & Batelaan, O. (2015). Hydrological modelling of urbanized catchments: A review and future directions. In: *Journal of Hydrology*, 529, 62–81.
- São Paulo (2012). Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais. **Vol. III**. Aspectos Tecnológicos: Diretrizes para Projetos. Prefeitura de São Paulo, SP, 130 p.
- Sartori, A.; Lombardi Neto, F.; Genovez, A. M. (2005). “Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação de Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. In: *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 10 (4), 05-18.
- Schröter, K.; Lüdtke, S.; Redweik, R.; Meier, J.; Bochow, M.; Ross, L.; Nagel, C. & Kreibich, H. (2018). Flood loss estimation using 3D city models and remote sensing data. In: *Environmental Modelling & Software*, 105, 118–131.
- SEMCOG, Southeast Michigan Council of Governments (2008). Low Impact Development Manual for Michigan: A design guide for implementers and reviewers. Detroit, Michigan, USA, 512p.
- Seraphim, A. P. A. C. C. (2018). *Relações Entre as Áreas de Recarga dos Aquíferos e as Áreas Destinadas a Urbanização: Estudo dos Padrões de Ocupação do Solo da Unidade Hidrográfica do Paranoá – DF*. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 207 p.

- SICRO - Sistema de custos referenciais de obras rodoviárias. Banco de Dados < <http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/sicro/centro-oeste/distrito-federal/2019/outubro/outubro-2019>> Acesso em 2019.
- Silva, E. C. B. da (2016). *Avanço da Urbanização em Vicente Pires – DF, Análise da Rede de Drenagem Associada a Medidas Compensatórias Utilizando o Modelo SWMM e ABC*. Monografia em Engenharia Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 94 p.
- Silveira, A. L. L. da & Goldenfum, J. A. (2007). Metodologia Generalizada para Pré-dimensionamento de Dispositivos de Controle Pluvial na Fonte. In: *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 12(2), 157-168.
- SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil. Banco de Dados. < http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_644> Acesso Julho de 2019.
- SISDUC/SEDUH – Sistema de Documentação Urbanística e Cartográfica, Secretaria de Desenvolvimento Humano e Habitação, GDF. Banco de dados. < <https://www.sisduc.seduh.df.gov.br/v1/>> Acesso Abril de 2019.
- Sotero, M. S. P. (2014). *Tipos de Estrutura Urbana e Consumo de Água, Análise da Morfologia Urbana na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo*. Dissertação de Mestrado em Geociências Aplicadas, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 125 p.
- Souza, F. P. de (2014). Monitoramento e Modelagem Hidrológica da Sub-Bacia do Lago Paranoá – Brasília/DF – E Avaliação de Bacia de Detenção. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 139 p.
- SUDECAP – Superintendência de Desenvolvimento da Capital (2017). Procedimentos para Elaboração e Apresentação de Projetos de Infraestrutura. 7 ed. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, Belo Horizonte, MG, 169 p.
- Sun, N.; Hall, M.; Hong, B. & Zhang, L. (2012). Impact of SWMM catchment discretization: case study in Syracuse, New York. In: *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(1), 223-234.
- Tavares, J. C. (2004). Projetos para Brasília e a Cultura Urbanística Nacional. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo -SP, 558 p.

- TCPO 13 - Tabelas de composições de preços para orçamentos (2008). 12. Ed. São Paulo, PINI.
- Teng, J.; Jakeman, A. J.; Vaze, J.; Croke, B. F. W.; Dutta, D. & Kim, S. (2017). Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis. In: *Environmental Modelling & Software*, 90, 201–216.
- Tomaz, P. (2019). Curso de Manejo de Águas Pluviais. São Paulo, SP. Disponível <<http://www.pliniotomaz.com/>> Acesso Agosto de 2019.
- Tsuji, T. M. (2018). *Monitoramento e Modelagens das Águas de Drenagem Pluvial no Núcleo Urbano da Bacia do Ribeirão Riacho Fundo, Brasília – DF*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 150 p.
- Trincheria, J. de la & Yemaneh, A. (2016). New Knowledge on Urban Stormwater Management. Baltic Flows, Monitoring and Management of Flowing Rain Water in Baltic Sea Catchment Areas, Baltic Europe, 119 p.
- Troch, P. A.; Paniconi, C. & Loon, E. E. van (2003). Hillslope-storage Boussinesq model for subsurface flow and variable source areas along complex hillslopes: 1. Formulation and characteristic response. In: *Water Resources Research*, 39(11), 1316.
- Tucci, C. E. M. & Clarke, R. T. (1997). Impacto das Mudanças da Cobertura Vegetal no Escoamento: Revisão. In: *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2(1), 135-152.
- Tucci, C. E. M. (2002). Gerenciamento da Drenagem Urbana. In: *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 7 (1), 5-27.
- Tucci, C. E. M. (2008). “Águas Urbanas”. In: *Estudos Avançados*, São Paulo, 22(63), 97-112.
- Tucci, C. E. M. (2012). Gestão da drenagem urbana. CEPAL – IPEA, Brasília-DF, 54 p.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420). United Nations: New York, United States of America, 2019.
- USDA, United States Department of Agriculture (1986). Urban Hydrology for Small Watersheds: TR55. 2^a ed. Washington, D.C., USA.
- Wang, J., Chen, L., & Yu, Z. (2018). Modeling rainfall infiltration on hillslopes using flux-concentration relation and time compression approximation. In: *Journal of hydrology*, 557, 243-253.

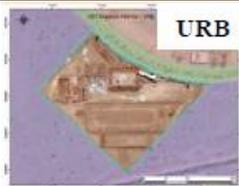
- Weber, N.; Haase, D. & Franck, U. (2014). Traffic-induced noise levels in residential urban structures using landscape metrics as indicators. In: *Ecological Indicators*, 45, 611–621.
- Wellington City Council (2013). *Water Sensitive Urban Design: A Guide for WSUD Stormwater Management in Wellington*. Wellington, New Zealand, 74 p.
- Wickop, E. (1998). Environmental Quality Targets for Urban Structural Units in Leipzig with a View to Sustainable Urban Development. In: *Urban Ecology*. J. Breuste, H. Feldmann, & O. Uhlmann (Eds.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg: New York, United States of America, Chap. 01, pp. 49-55.
- Yazaki, L. F. O. L., Morihama, A. C. D., Amaro, C., Tominaga, E. N. S., Pereira, M. C. S., Porto, M. F. A., ... & Lucci, R. M. (2012). Integrated solutions for urban runoff pollution control in Brazilian metropolitan regions. In: *Water Science and Technology*, 66(4), 704-711.
- Yin, D., Evans, B., Wang, Q., Chen, Z., Jia, H., Chen, A. S., ... & Leng, L. (2020). Integrated 1D and 2D model for better assessing runoff quantity control of low impact development facilities on community scale. In: *Science of The Total Environment*, 137630.
- Zoppou, C. (2001). Review of Urban Storm Water Models. In: *Environmental Modelling & Software*, 16 (3), 195 – 231.

**ANEXO 01 - LISTA DE ABREVIATURAS DOS TIPOS DE PADRÕES
DE OCUPAÇÃO URBANOS DO DISTRITO FEDERAL – CASTRO
(2017).**

ÁREAS ABERTAS	
Foto	Local com Características
	Áreas de agricultura e pastagem. Presentes em maior ocorrência: São Sebastião (25,1%), Jardim Botânico, Santa maria, Recanto das Emas, Planaltina e Samambaia (> 15%).
	Áreas verdes podendo se tratar de áreas ainda não urbanizadas ou áreas entre faixas de urbanização. Presente em maior ocorrência: Riacho Fundo (29,8%), Candangolândia, Park Way, Brasília, Sudoeste/Octogonal, Lago Norte, Guará, Riacho Fundo II e Vicente Pires (> 15%).
	Trata-se de áreas de grande extensão, assim como pequenas áreas inseridas na malha urbana, mas com perspectivas de conservação ambiental e formação de corredores ecológicos, são constituídas de áreas com remanescentes de vegetação natural, primordialmente matas ciliares e de galeria, campo e cerrado. Presente em maior ocorrência: Paranoá (76,8%), Fercal, Jardim Botânico, SIA, Varjão, São Sebastião, Santa Maria, Lago Sul, Candangolândia, Sobradinho II, Itapoã (> 30%).
	Áreas de lazer como parques, praças e campos de futebol. Trata-se de espaços livres de uso coletivo. Presente em maior ocorrência: Bazlândia (7,1%), Núcleo Bandeirante, Vicente Pires, Cruzeiro, Brasília, Gama (> 2%).
	Áreas degradadas: cascalheiras/mineração abandonada; solo exposto e terrenos urbanos sem manejo adequado. Presente em maior ocorrência: Riacho Fundo II (39,8 %), Estrutural, Guará, Águas Claras, SIA, Riacho Fundo, Varjão e Núcleo Bandeirante (> 5%)
ESPAÇOS PÚBLICOS	
Foto	Local com Características
	Áreas Públicas, Equipamentos comunitários, caracterizados pela existência de edifícios públicos e centros de serviços. Presente em maior ocorrência: Brasília (27,1 %), Lago Sul, Riacho Fundo, SIA, Núcleo Bandeirante, Candangolândia, Guará e Taguatinga (> 11 %).

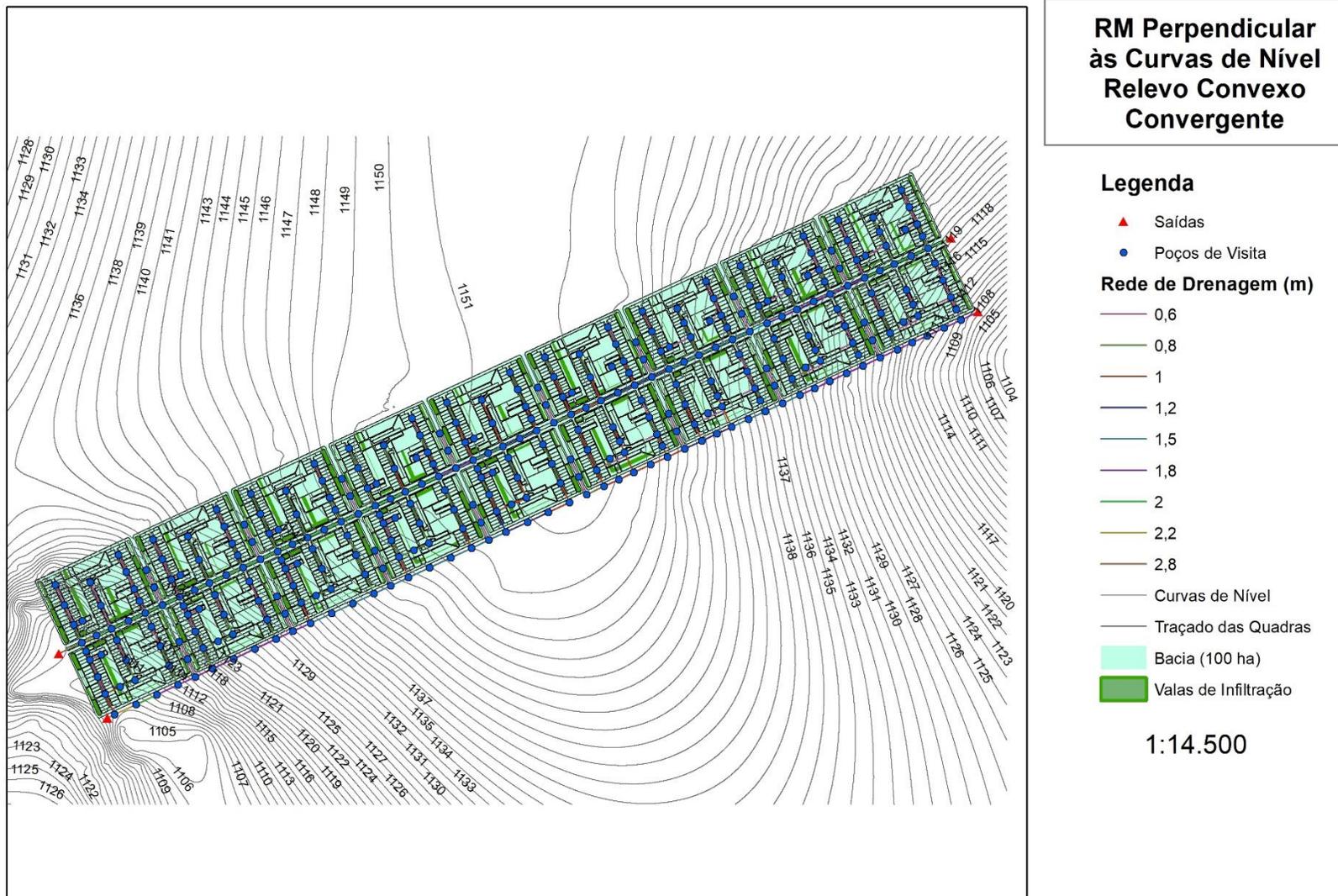
	<p>Principais vias de acesso e obras de arte. Presente em maior ocorrência (Maior malha viária): Núcleo Bandeirante (13,6 %), Cruzeiro, Riacho Fundo II, Sudoeste/Octogonal, Samambaia, Brasília, Taguatinga, Ceilândia, Riacho Fundo (> 6%).</p>
ÁREAS DE COMÉRCIO E INDÚSTRIA	
Foto	Local com Características
	<p>Áreas destinadas exclusivamente ao setor comercial. Presente em maior ocorrência: Núcleo Bandeirante (10,7 %), Guará, Taguatinga, Riacho Fundo, Candangolândia, Águas Claras, Vicente Pires, SIA e Brasília (> 1%).</p>
	<p>Áreas comerciais, geralmente com três andares. Primeiro e segundo andar comercial e terceiro residencial. Locais ao longo de ruas e avenidas principais, edifícios de armazenamento e/ou fábricas. Presente em maior ocorrência: Sudoeste/Octogonal (16,4 %), Cruzeiro, Sobradinho, Taguatinga, Núcleo Bandeirante, Samambaia, Brazlândia e Riacho Fundo (> 5%).</p>
	<p>Setor de Indústrias e Abastecimento (SIA). Área destinada especificamente para a indústria e fornecimento de alimentos. No entanto, há o desenvolvimento de atividades comerciais como a venda de automóveis e materiais de construção. A maioria possui terreno superior a 2000 m² e apresentam cobertura de metal. Presente com maior ocorrência: Estrutural SCIA (18,3 %), SIA, Fercal, Ceilândia, Guará e Recanto das Emas (> 2%).</p>
	<p>Setor da indústria e setor de oficinas juntamente com o setor comercial e, em alguns casos residências nos andares superiores dos edifícios. Geralmente edifícios com até quatro andares. Presente em: Sudoeste/Octogonal (8,9%), Taguatinga, SIA, Sobradinho, Gama, Núcleo Bandeirante, Samambaia e Ceilândia (> 1%)</p>
ÁREAS RESIDENCIAIS	
Foto	Local com Características
	<p>Áreas razoavelmente homogêneas com altas taxas de ocupação, residencial de baixo padrão. A maioria das casas tem cobertura de telhas de amianto. Terreno de até 250 m² sem quintal, edificações geralmente com um andar e algumas com dois, em localidades que possuem pavimentação. Unifamiliar. Presente: Ceilândia (34,5 %), Brazlândia, Samambaia, Riacho Fundo II, Recanto das Emas, Cruzeiro, Núcleo Bandeirante, Guará, Varjão e Riacho Fundo (> 15%).</p>
	<p>Tamanho das construções heterogêneo, com algumas piscinas e pequenos jardins. Média Taxa de Ocupação, Médio padrão. Alguns telhados de amianto e outros de argila. Terreno com tamanho entre 250 m² e 500 m², as edificações variam com um ou dois andares. Unifamiliar. Vicente Pires (33,6 %),</p>

	Sobradinho, Taguatinga, Águas Claras, Gama, Planaltina, Sobradinho II, Riacho Fundo (> 9%).
	Para a classe média-alta, padronizado, geralmente casas de famílias de alta qualidade. Média taxa de ocupação. Algumas pequenas piscinas privadas. Geralmente em condomínios. Pavimentação presente. Unifamiliar. O tamanho do terreno varia de 500 até 2000 m ² , a maior parte das edificações possui dois andares. Park Way (14,1%), Sobradinho II, Vicente Pires, Itapoã e Gama (> 6%)
	Para a classe média-alta, Média Taxa de Ocupação. Pelo menos uma piscina por casa. Casas com acomodações luxuosas. Equipamentos e instalações no mais alto padrão. Terrenos com tamanho de 1000 até 2000 m ² , a maioria das edificações possui dois andares. Unifamiliar. Recanto das Emas (39,6 %) e Riacho Fundo (32,2 %).
	Para a classe média-alta, geralmente casas de famílias de alta qualidade. Baixas Taxas de ocupação. Algumas piscinas privadas. Geralmente em condomínios. Terrenos com tamanho superior a 2000 m ² , as edificações em sua maioria possuem dois andares. Unifamiliar. Park Way (7,7%), Jardim Botânico, Vicente Pires e Paranoá (0,1%).
	Área mista apresenta características de zona nobre com apartamentos de até 6 andares e casas com padrão das construções heterogêneo, alguns telhados de amianto e outros de argila. Multifamiliar. O tamanho do terreno varia entre 250 m ² e 500 m ² , com alta taxa de ocupação. Presente somente em Brasília.
	Terrenos com média taxa de ocupação, padrão médio de construções, com edificações de até 6 andares e infraestrutura urbana presente. Multifamiliar. Cruzeiro (22,3%), Sudoeste/Octogonal, Guará e Taguatinga (> 1%)
	Terrenos com média taxa de ocupação, edificações de alto padrão, de até 6 andares, com cinturões verdes aos arredores. Multifamiliar. Presente no Sudoeste/Octogonal e Brasília.
	Edifícios altos de até 35 andares. Condomínio com estrutura construída (piscina, campos de futebol, churrasqueira). Algumas lojas no piso térreo. Construção de bairros altos. Distritos em crescimento. Presente em Águas Claras, Guará e Taguatinga.
ÁREAS EM CONSOLIDAÇÃO	
Foto	Local com Características
	Moradias isoladas, tamanho pequeno. Áreas com característica rurais em área urbanas. Criadas através do parcelamento de chácaras ou grandes fazendas. Terreno originalmente maior que 2000 m ² , tipo de edificação geralmente de um pavimento.

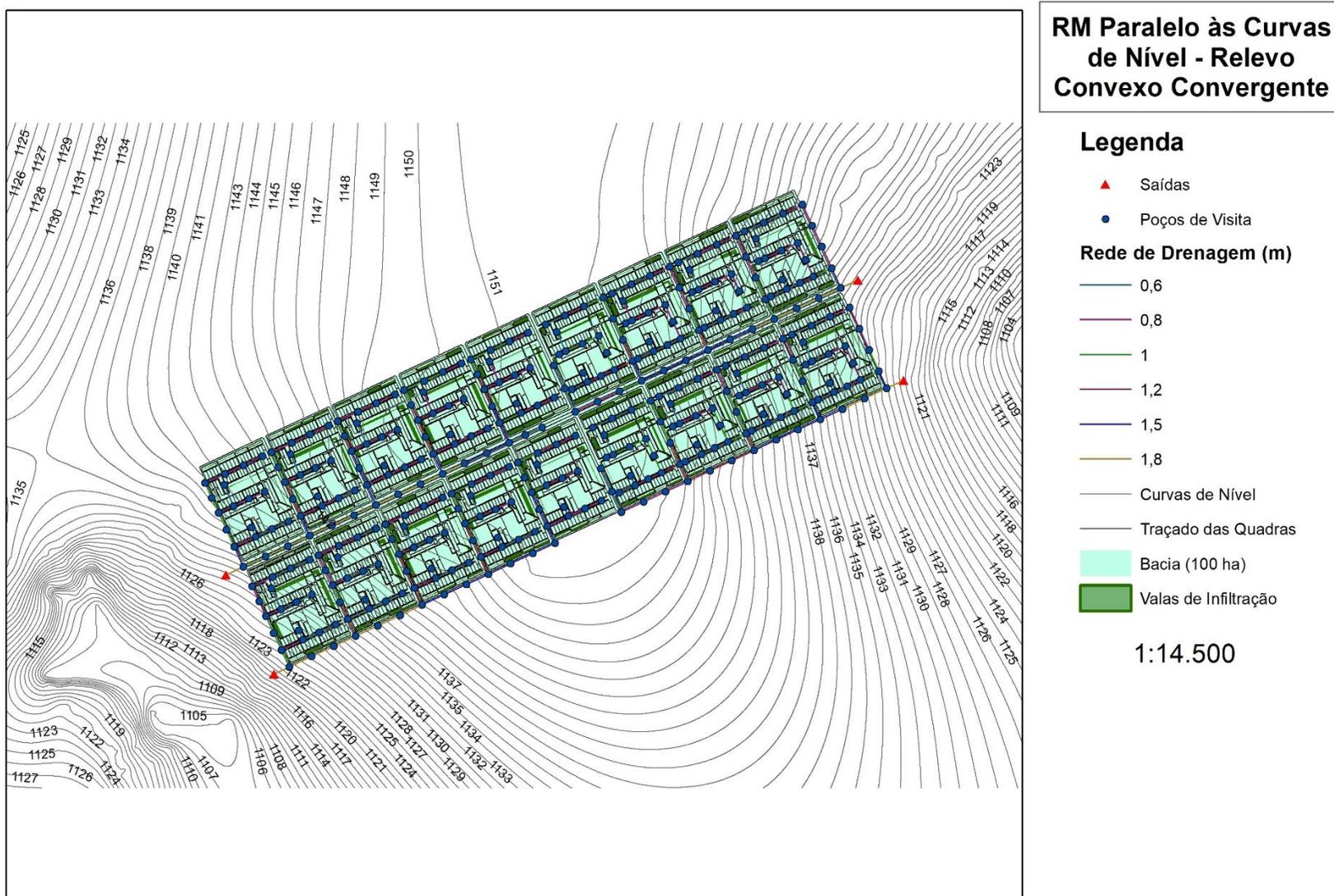
	Recanto das Emas (31%), Itapoã, Varjão, Gama, Lago Norte, Planaltina, Paranoá, Sobradinho II (> 10%).
	Áreas em processo avançado ou inicial de instalação. Possuem vias não pavimentadas demarcadas. Podem apresentar casas ou casas e lotes não delimitados (sendo a maior parte não habitada). Terreno originalmente maior que 2000 m ² , mas em processo de subdivisão, edificações sem padrão definido. Park Way (16,2%), Fercal, Sobradinho, Núcleo Bandeirante, Jardim Botânico, Lago Norte (> 5%).
	Casas construídas com materiais simples, em processo de instalação de infraestrutura (ex: pavimentação). Terreno com tamanho inferior a 250 m ² , geralmente com edificações de um andar. Estrutural SCIA (21,7%), Itapoã, Ceilândia, Fercal, Núcleo Bandeirante (> 5%).
	Áreas em processo final de instalação. Este padrão já possui características de uma classe residencial consolidada (RH1 a RH5), porém não possui infraestrutura (ex: ruas sem pavimentação). Pode apresentar lotes de tamanhos variados geralmente acima de 250 m ² , edificações com um ou dois andares. Taguatinga (1,7%), Ceilândia, Sobradinho II, Santa Maria, Planaltina (> 0,5%).
	Áreas designadas para novas áreas urbanas, em processo de implantação. Brasília (1,6%), Sudoeste/Octogonal, Lago Norte, Águas Claras, Samambaia, Recanto das Emas, Ceilândia, Brazlândia (> 0,5%).

**APÊNDICE A – PROJETOS DOS LOTEAMENTOS DAS USTs
ESTUDADAS E REDES DE DRENAGEM.**

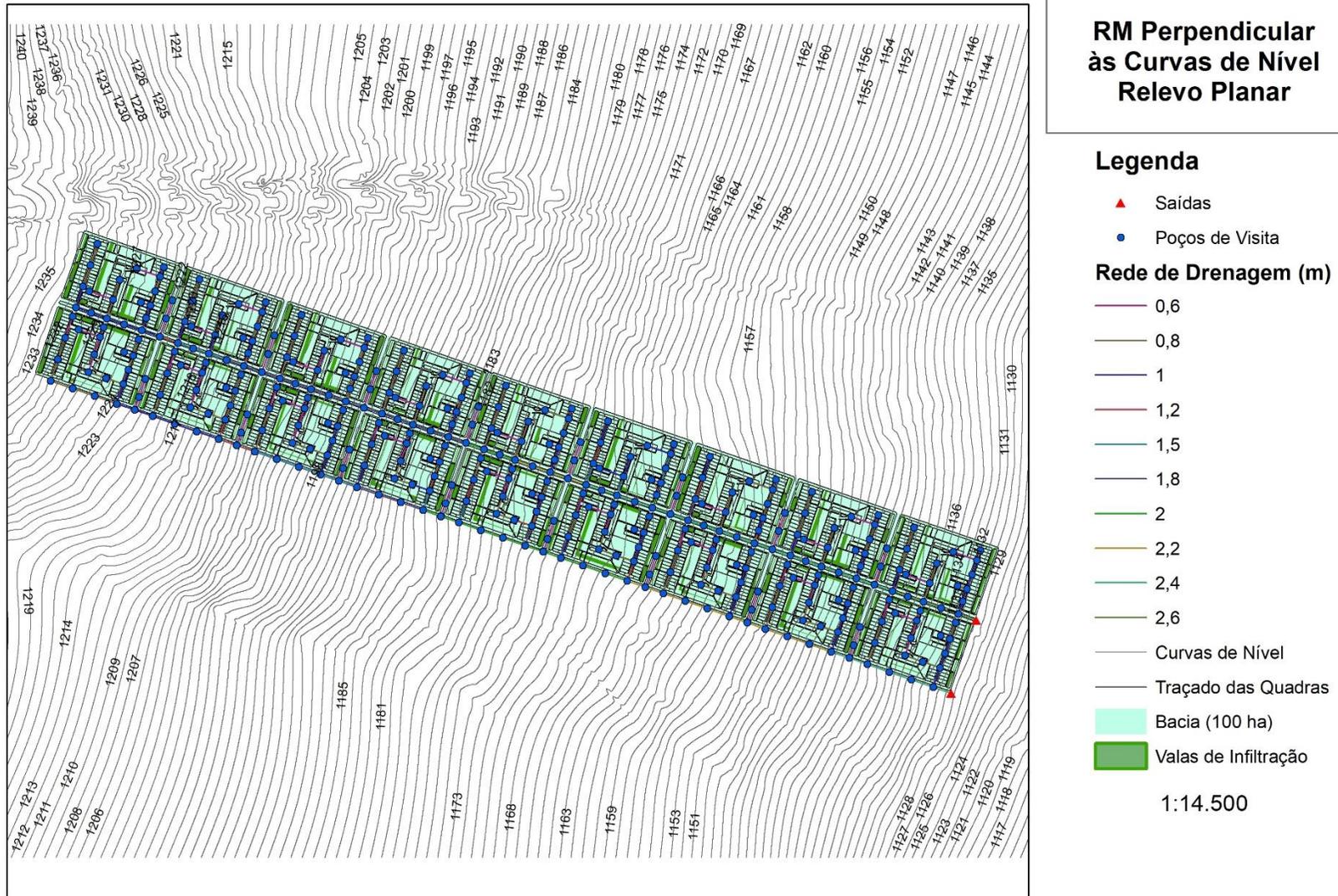
01. UST RM – Relevo Convexo Convergente, Quadras Perpendiculares



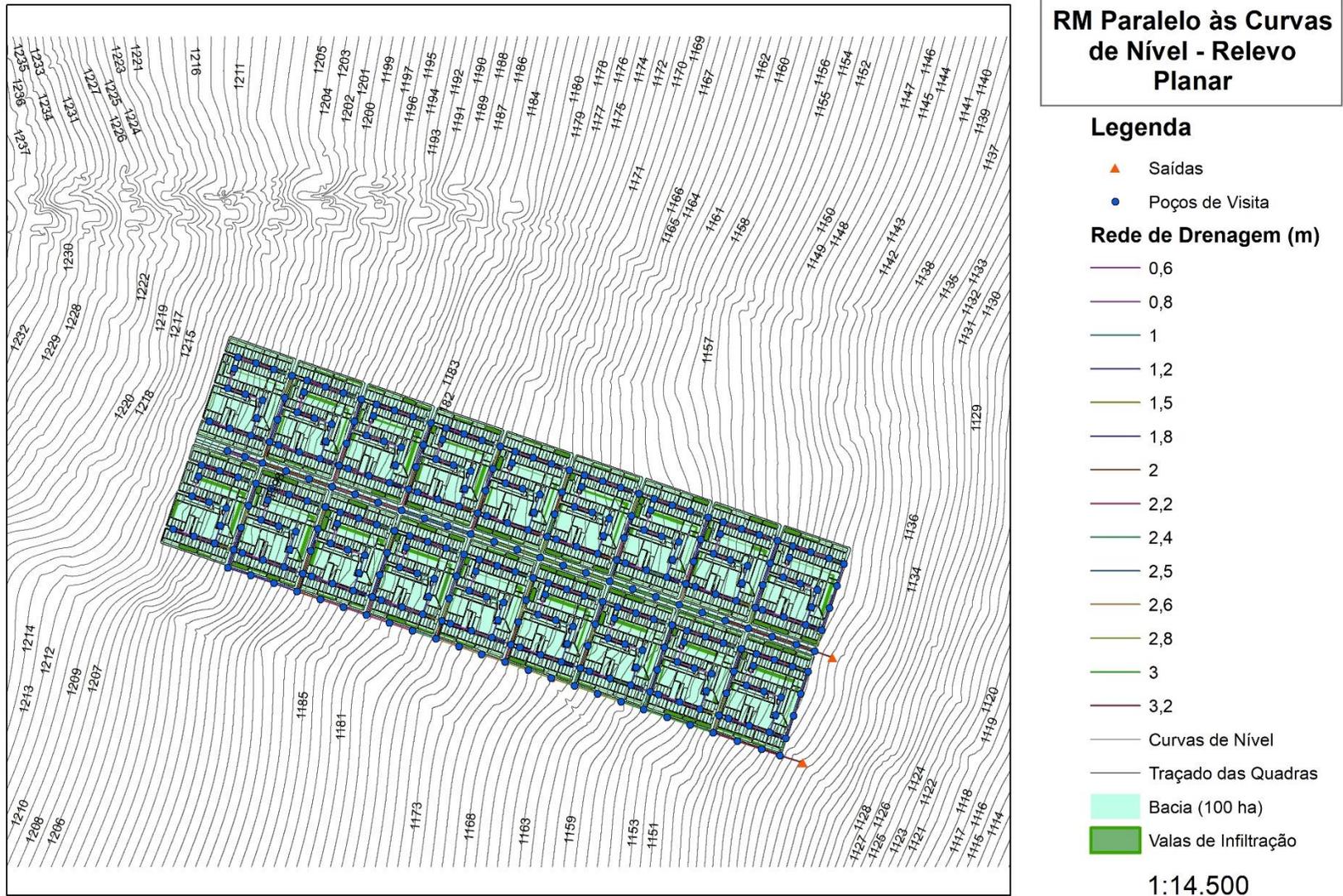
02. UST RM – Relevo Convexo Convergente, Quadras Paralelas



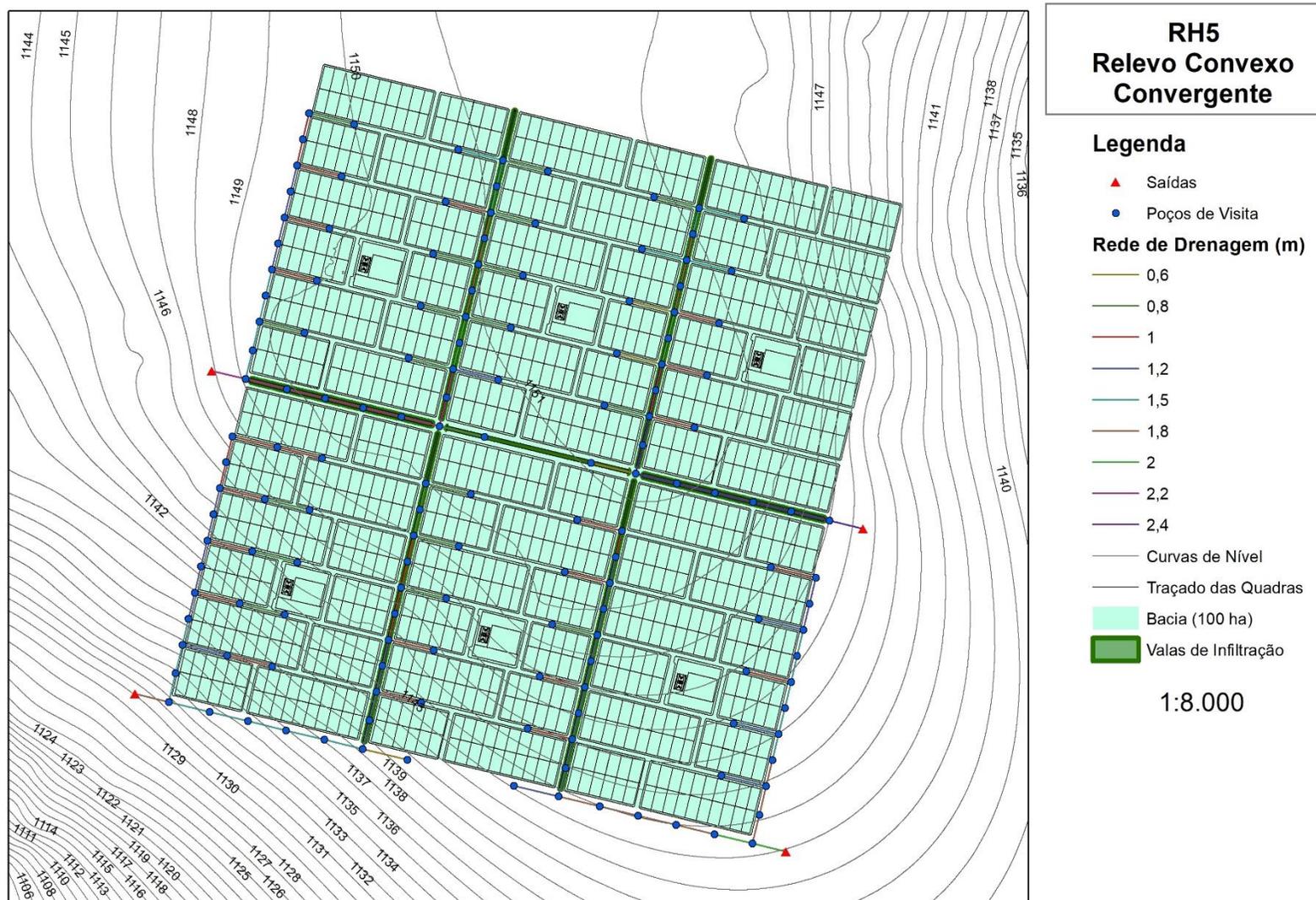
03. UST RM – Relevo Planar, Quadras Perpendiculares



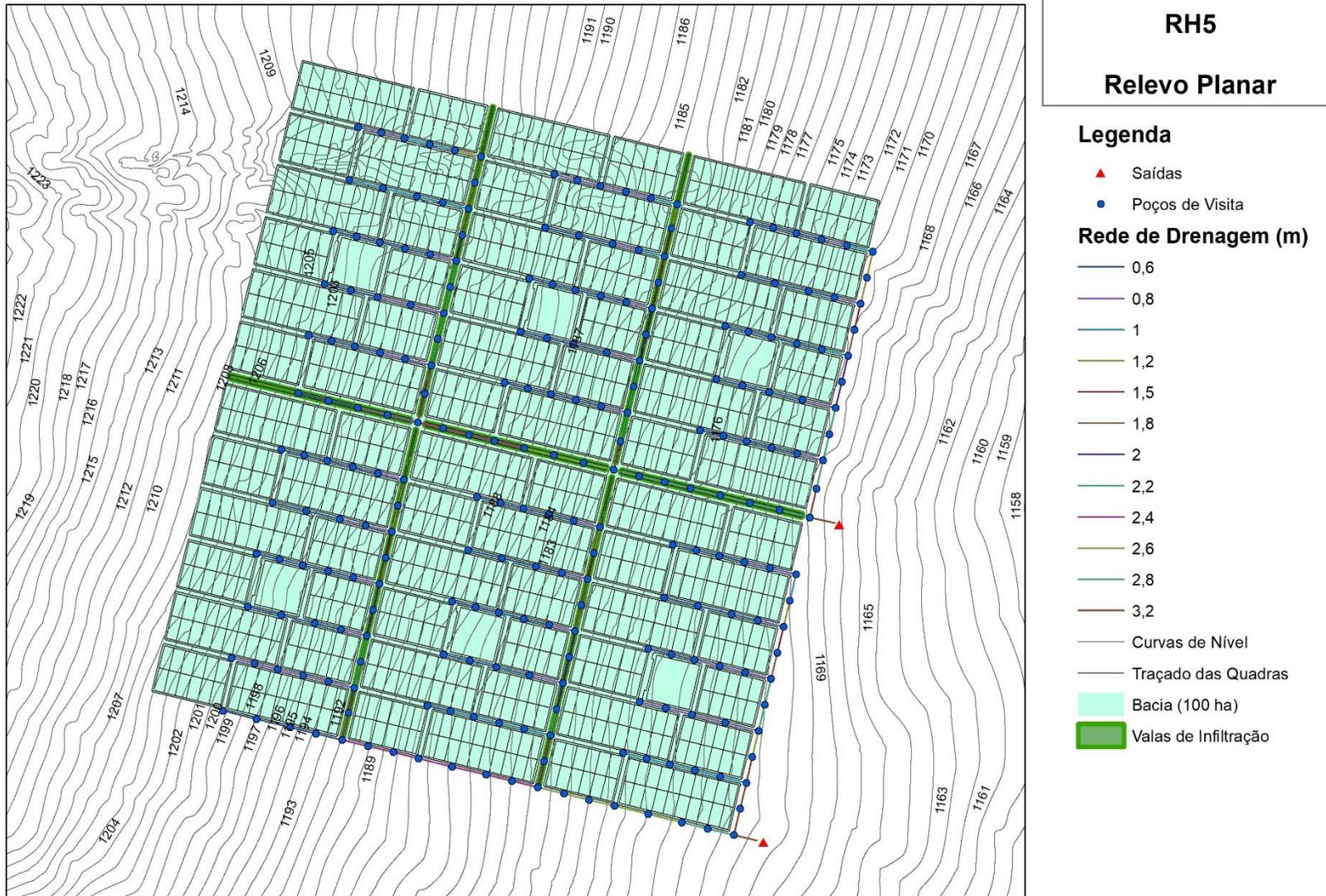
04.UST RM – Relevo Planar, Quadras Paralelas



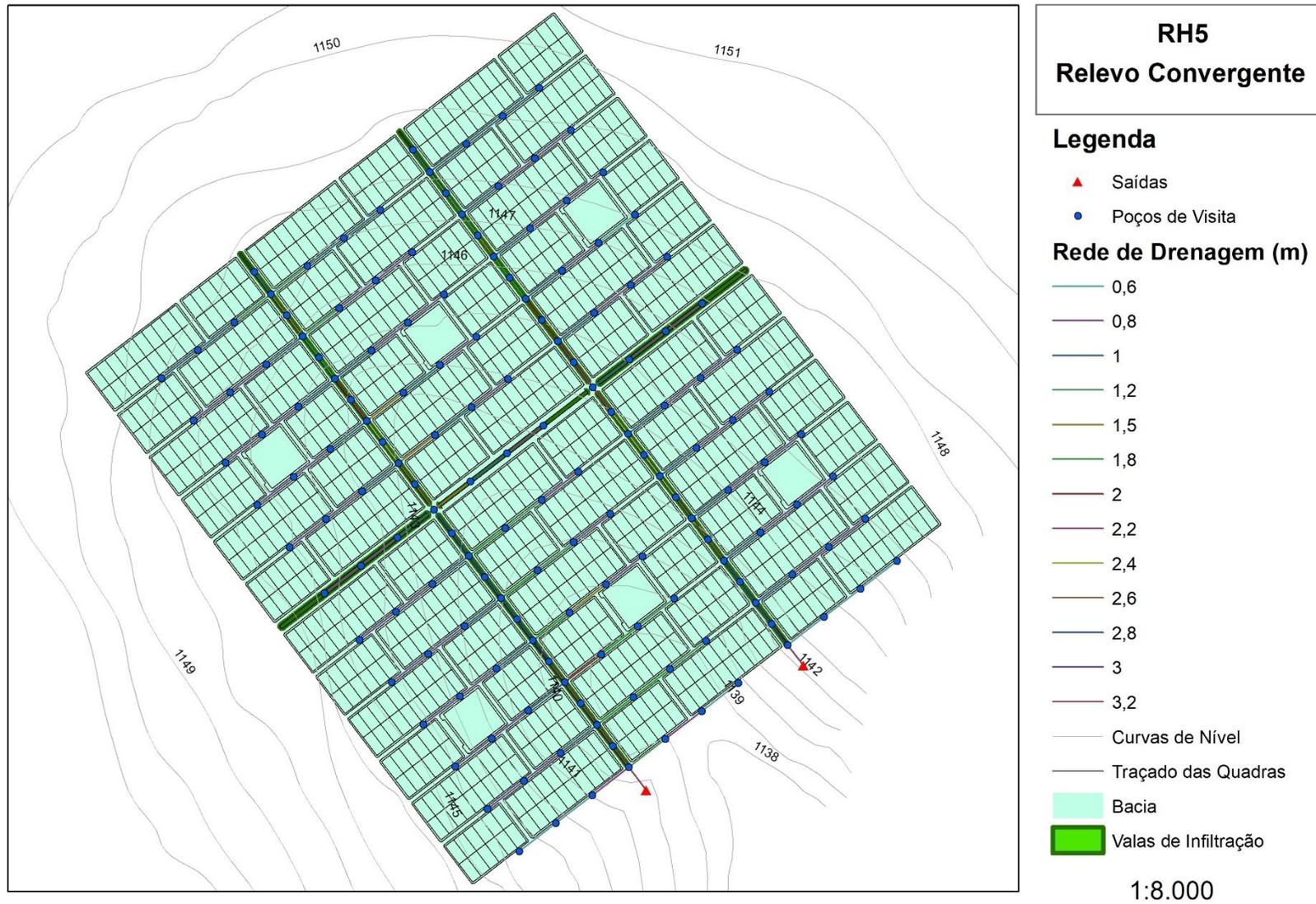
05. UST RH5 – Relevo Convexo Convergente



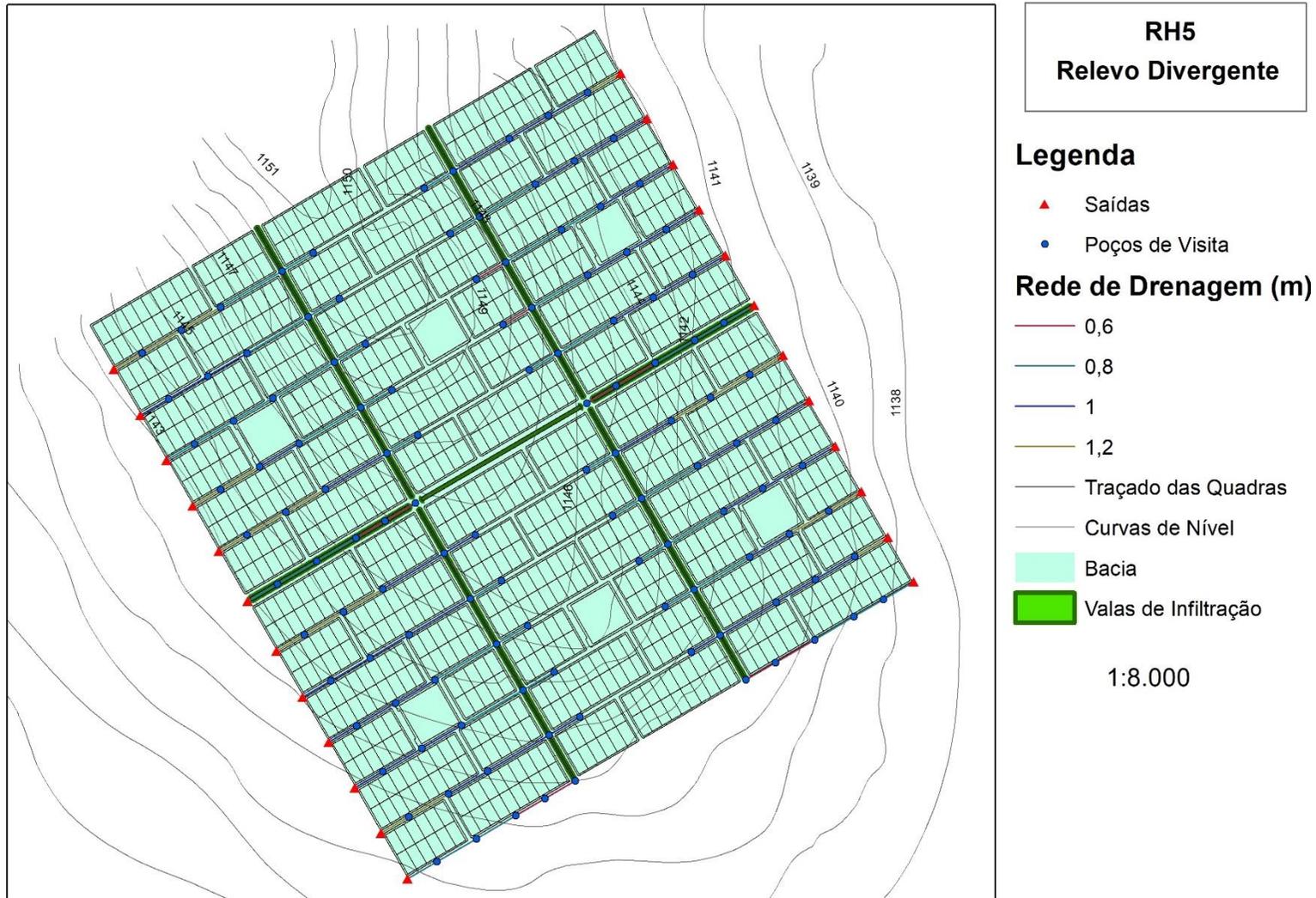
06. UST RH5 – Relevo Planar



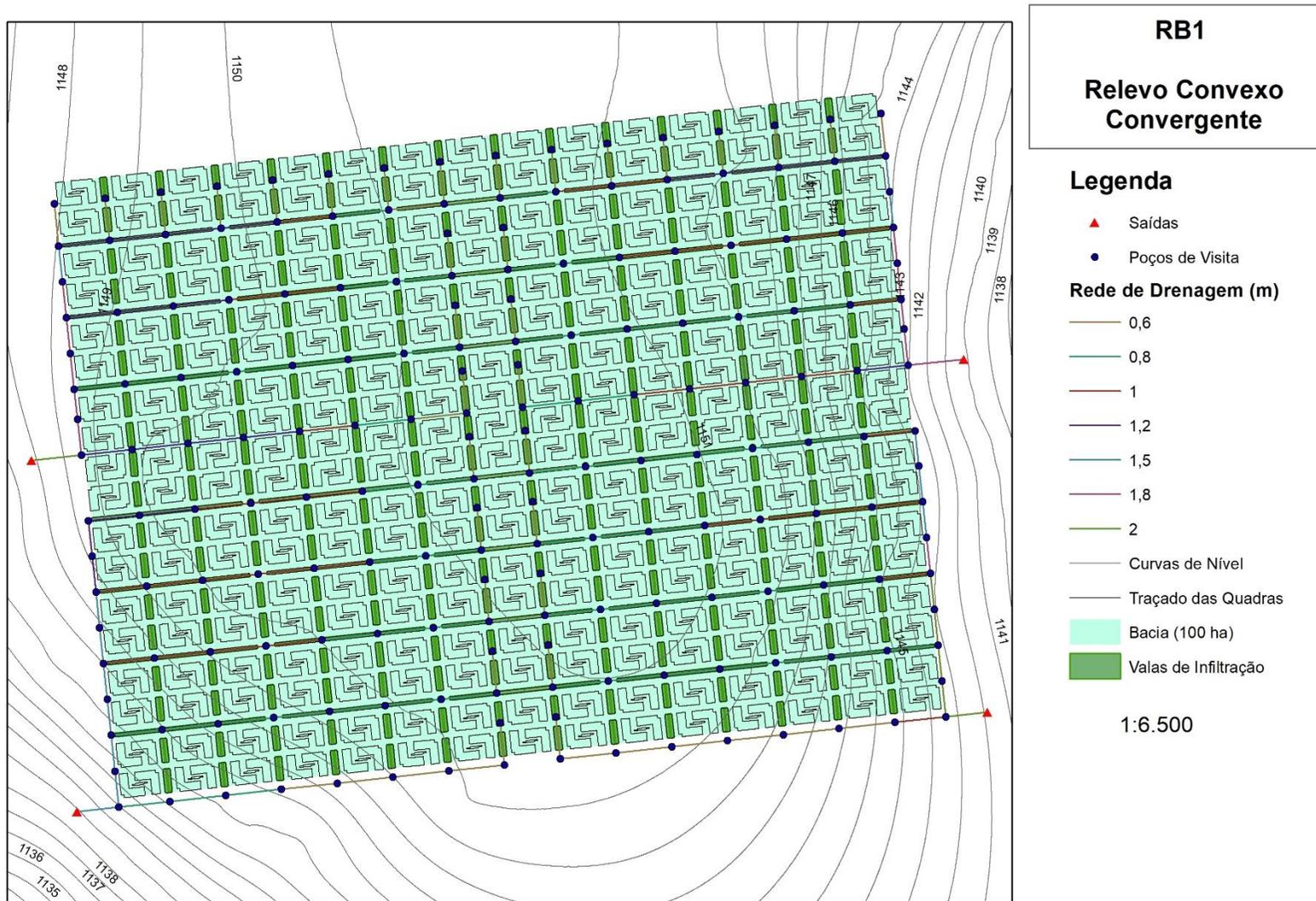
07. UST RH5 – Relevo Convergente



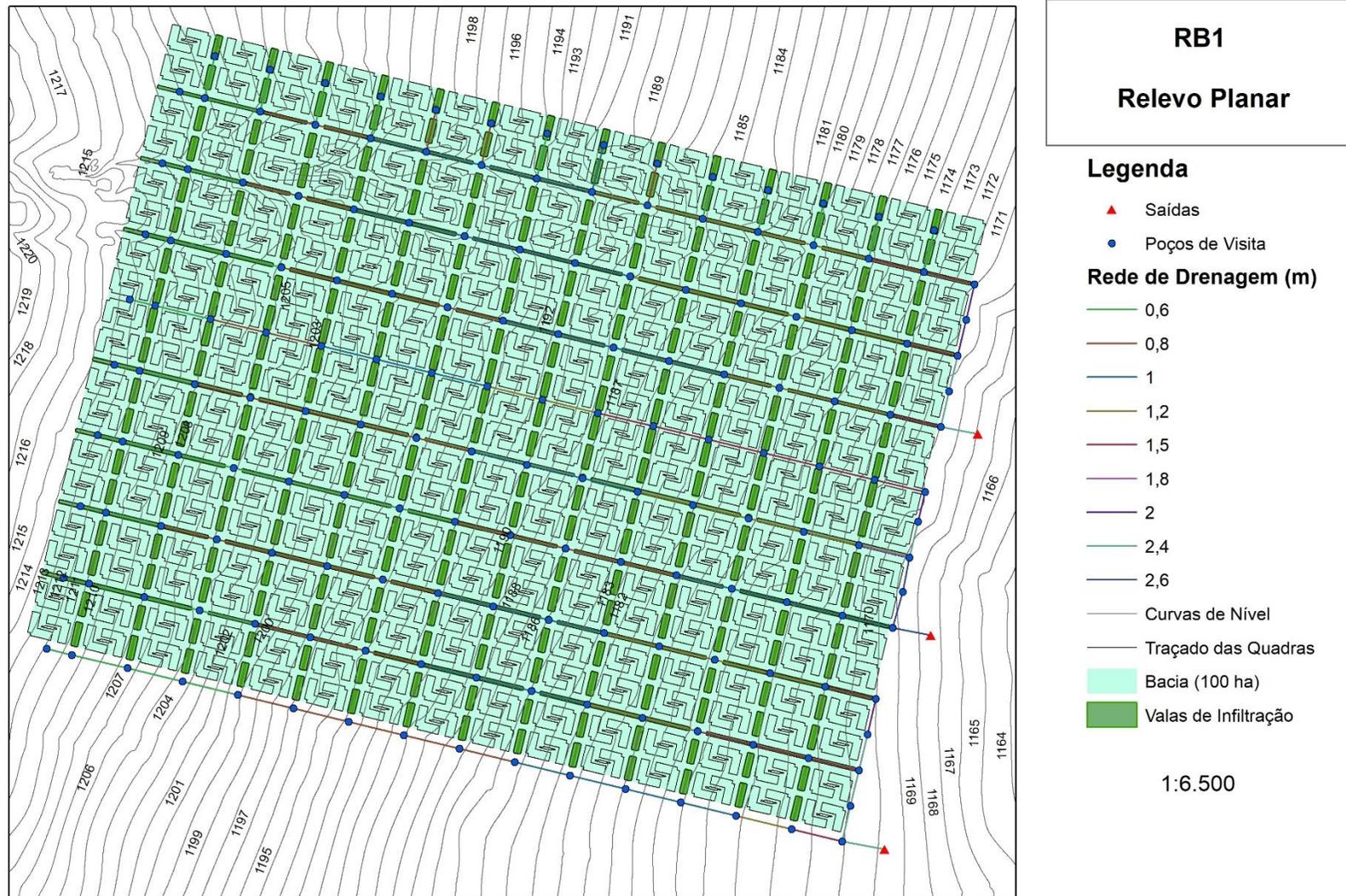
08. UST RH5 – Relevo Divergente



09. UST RB1 – Relevo Convexo Convergente



10. UST RB1 – Relevo Planar



RB1

Relevo Planar

Legenda

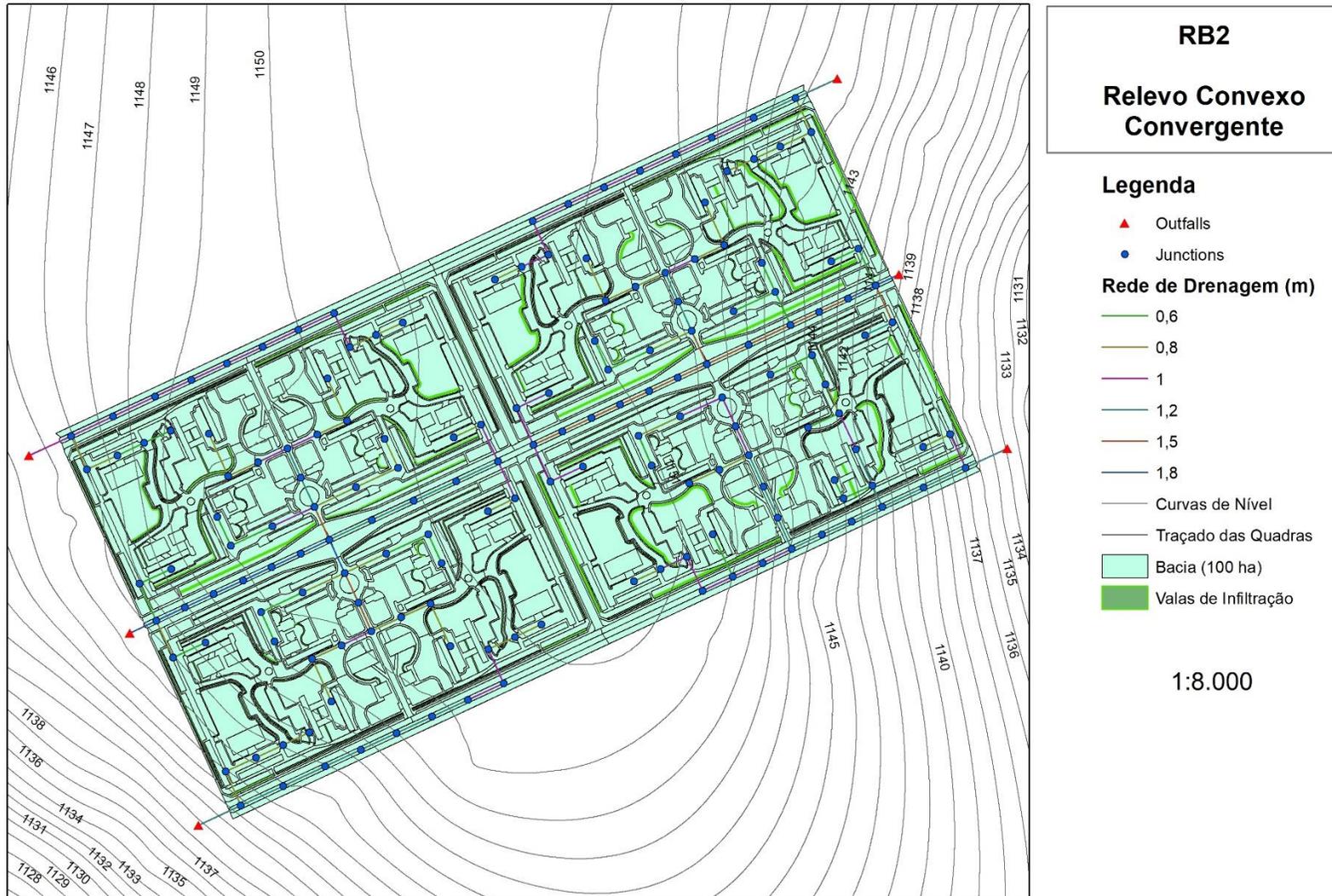
- ▲ Saidas
- Poços de Visita

Rede de Drenagem (m)

- 0,6
- 0,8
- 1
- 1,2
- 1,5
- 1,8
- 2
- 2,4
- 2,6
- Curvas de Nível
- Traçado das Quadras
- Bacia (100 ha)
- Valas de Infiltração

1:6.500

11. UST RB2 – Relevo Convexo Convergente



12. UST RB2 – Relevo Planar

