

**PAISAGEM URBANA INTEGRADA ÀS TÉCNICAS
COMPENSATÓRIAS DE DRENAGEM: SOLUÇÃO PARA OS
ALAGAMENTOS EM BRASÍLIA**



Mariana Arrabal da Rocha

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E
URBANISMO**

**PAISAGEM URBANA INTEGRADA ÀS TÉCNICAS
COMPENSATÓRIAS DE DRENAGEM: SOLUÇÃO PARA OS
ALAGAMENTOS EM BRASÍLIA**

MARIANA ARRABAL DA ROCHA

ORIENTADORA: MARIA DO CARMO DE LIMA BEZERRA

TESE DE DOUTORADO EM ARQUITETURA E URBANISMO

BRASÍLIA/DF: MAIO - 2019

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E
URBANISMO**

**PAISAGEM URBANA INTEGRADA ÀS TÉCNICAS
COMPENSATÓRIAS DE DRENAGEM: SOLUÇÃO PARA OS
ALAGAMENTOS EM BRASÍLIA**

Arq. MARIANA ARRABAL DA ROCHA

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO DA FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ARQUITETURA E URBANISMO.

APROVADA POR:

Prof.^a Maria do Carmo de Bezerra Lima, Dra. (FAU/UnB)
(orientadora)

Prof. Alexandre Brandão, Dr.
(examinador externo)

Prof. Sergio Koide, Dr. (FT/UnB)
(examinador externo)

Prof. Manuel Sanchez, Dr. (FAU/UnB)
(examinador interno)

BRASÍLIA/DF, 31 DE MAIO DE 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Arrabal da Rocha, Mariana

PAISAGEM URBANA INTEGRADA ÀS TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS DE DRENAGEM: SOLUÇÃO PARA OS ALAGAMENTOS EM BRASÍLIA / Mariana Arrabal da Rocha; orientador Maria do Carmo de Lima Bezerra. -- Brasília, 2019. 196 p.

Tese (Doutorado - Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, 2019.

1. Infraestrutura verde. 2. Drenagem urbana. 3. Low Impact Development (LID). I. de Lima Bezerra, Maria do Carmo, orient. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ROCHA, M. A. da. (2019). Paisagem urbana integrada às técnicas compensatórias de drenagem: solução para os alagamentos em Brasília. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 196p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Mariana Arrabal da Rocha

TÍTULO: Paisagem urbana integrada às técnicas compensatórias de drenagem: solução para os alagamentos em Brasília.

GRAU: Doutor ANO: 2019

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

Mariana Arrabal da Rocha
SQS-411, bloco U, apto. 203
70.277-210 Asa Sul-DF - Brasília
e-mail: mariana.ar@gmail.com

Às minhas avós,
Armanda e Edmeia.

AGRADECIMENTOS

À minha família por ser o meu pilar fundamental.

Ao meu amado pai por ter sempre me estimulado a estudar.

À minha querida mãe por ter me inspirado a estudar e atuar como docente.

À minha orientadora, Maria do Carmo de Bezerra Lima, por me apresentar ao tema das águas urbanas e infraestrutura verde e por estar disponível para me orientar.

Ao amigo Lucas Guimarães por estar disposto a me auxiliar.

Ao professor Sergio Koide pela disponibilidade em me apontar novos caminhos;

À Aline Oliveira por partilhar comigo o entusiasmo pelo urbanismo sensível a água, dividir seus conhecimentos e ajudar na elaboração de imagens.

À Maria Elisa Leite Costa pela atenção e disponibilidade em me apoiar no laboratório de hidrologia da FT/UnB.

Aos membros examinadores Alexandre Brandão, Manuel Sanchez e Joara Cronemberger por participarem da banca de qualificação e contribuírem para a minha pesquisa.

À Marcos Helano F. Montenegro pelos artigos disponibilizados.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação por todo aprendizado e inspiração.

Ao parceiro Vitor Camuzi que foi meu braço direito e esquerdo nesse trabalho com quem aprendi muito sobre drenagem. Sua participação foi essencial para o sucesso dessa tese.

Ao Ygor Pinto pela disponibilidade em discutir comigo suas pesquisas em drenagem, seu trabalho que me serviu de inspiração.

À parceira Patrícia Melasso por me disponibilizar os softwares de edição de texto.

À CHIWater pelo apoio ao me oferecer a versão universitária gratuita do PCSWMM.

Ao meu companheiro, Ângelo André, que me traz alegria e diversos outros aprendizados e pela paciência.

Aos meus alunos que tanto me ensinam e me estimulam a seguir na vida acadêmica.

À Deus pelo presente que é minha vida e por me ajudar ter paciência e tolerância.

RESUMO

Existe o senso comum que atribui aos espaços livres e verdes das cidades a propriedade de promoverem infiltração do solo e, portanto, de trabalharem a favor da drenagem urbana. Esse pensamento não encontra respaldo na realidade vivenciada no Plano Piloto de Brasília, a cidade com maior percentual de áreas verdes do país, e que sofre com alagamentos constantes desde que alterações do seu uso do solo levou à obsolescência de seu sistema de drenagem de modelo tradicional. Como tratar os espaços verdes das cidades para que promovam serviços ecossistêmicos de drenagem, favorecendo a infiltração com redução do escoamento superficial? Quais técnicas de manejo da vegetação favorecem a infiltração? Quais técnicas de drenagem compensatórias possuem maior efetividade para uma adequada implantação em harmonia com a paisagem urbana garantindo suas múltiplas funções? Essas foram questões que se colocaram para a pesquisa e foram enfrentadas com a revisão da bibliografia sobre infraestrutura verde e manejo sustentável da drenagem, quando se definiu um escopo de técnicas a serem utilizados no estudo empírico. O objeto de estudo foi a macrobacia de drenagem da Faixa 10-11 Norte - Asa Norte, um dos pontos críticos do atual sistema. Foram propostas *Low Impact Development* (LID) em cinco cenários simulados, com o programa *Personal Computer Stormwater Management Model* (PCSWMM), o qual calcula o desempenho em relação ao escoamento superficial e como consequência aponta o que pode ser infiltrado pelas técnicas utilizadas nas áreas verdes, sendo a mais eficiente a que utiliza o uso de bacias de detenção e retenção. Posteriormente, foram feitas recomendações de como as técnicas compensatórias em drenagem urbana podem ser tratadas pela arquitetura da paisagem, a qual, no caso estudado, enfrenta um desafio adicional, por ser uma área tombada como patrimônio cultural da humanidade. Os resultados do trabalho apontam que é viável as mudanças dos paradigmas de drenagem correntes, com a utilização de soluções que se mimetizam a natureza promovendo cidades com melhor qualidade de vida mais resilientes.

Palavras-chave: Infraestrutura verde. Drenagem urbana. Low Impact Development (LID).

ABSTRACT

The green spaces of the cities are assigned the property of promoting soil infiltration and working in favor of urban drainage. This thinking does not find support in the reality experienced in the Pilot Plan of Brasilia, the city with the highest percentage of green areas in the country, and which suffers from constant flooding since changes in its land use led to the obsolescence of its traditional model drainage system. How to treat the green spaces of cities to promote ecosystem services favoring and increasing infiltration with reduced runoff? What vegetation management techniques favor infiltration? Which compensatory drainage techniques have greater effectiveness for an adequate implantation in harmony with the urban landscape guaranteeing its multiple functions? These are questions that have been raised for the research and were faced with the review of the bibliography on green infrastructure and sustainable drainage management, when defining a scope of techniques to be used in the empirical study. The object of study was the subcatchments of the 10-11 North which constituted one of the critical points of the current system. Low Impact Development (LID) was proposed in five simulated scenarios with the Personal Computer Stormwater Management Model (PCSWMM), which calculates the performance in relation to the runoff and indicates what can be infiltrated by the techniques used in the green areas. the most efficient one that emphasizes the use of holding and retention basins. Subsequently, recommendations were made as to how compensatory techniques in urban drainage can be treated by landscape architecture, which, in the case studied, faces an additional challenge, since it is an area listed as a cultural patrimony of humanity. The result of the work indicates that changes in current drainage paradigms are feasible, using solutions that mimic nature and natural processes, promoting cities with better quality of life and more resilient.

Keywords: Green infrastructure. Urban drainage. Low Impact Development (LID).

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	REVISÃO DA LITERATURA	27
2.1	Soluções urbanas baseadas na natureza	27
2.2	Infraestrutura verde.....	29
2.3	Metabolismos urbanos.....	33
2.4	Drenagem e soluções de infraestrutura verde	35
2.5	Manejo sustentável das águas pluviais no meio urbano.....	40
2.6	O manejo do sistema de áreas verdes para promoção da drenagem sustentável	49
2.7	Síntese do Capítulo	57
3	ESTUDO DE CASO: ALAGAMENTOS URBANOS NO PLANO PILOTO DE BRASÍLIA	59
3.1	Águas urbanas em Brasília.....	59
3.2	Sistema de áreas verdes de Brasília	64
3.3	Sistema de drenagem do Distrito Federal.....	73
3.4	Sistema de drenagem de Brasília e seus problemas de alagamento.....	79
3.5	Definição da macrobacia de estudo.....	86
3.6	Drenar-DF: proposta do GDF para a área de estudo	97
3.7	Síntese do capítulo	101
4	CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS, SIMULAÇÃO E RESULTADOS.....	102
4.1	Definição das técnicas compensatórias adequadas a problemática estudada	102
4.2	Construção de Cenários	110
4.3	Simulação hidrológica dos cenários	129
4.4	Parametrização das técnicas compensatórias utilizadas nos cenários...	135
4.5	Análise dos resultados da simulação hidráulico-hidrológica	139
4.6	Síntese do capítulo	147
5	PAISAGEM URBANA INTEGRADA AS TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS DE DRENAGEM	148
5.1	Inserção valas de infiltração na paisagem urbana	149
5.2	Bacias de retenção na paisagem das entrequadras norte	169
5.3	Síntese do capítulo	184
6	CONCLUSÕES	185
IV.	REFERÊNCIAS.....	189

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Áreas permeáveis e impermeáveis na 408 Norte.....	19
Figura 2 - Metabolismo urbano linear.....	34
Figura 3 - Metabolismo urbano circular.....	35
Figura 4 - Processos que ocorrem numa área urbana	41
Figura 5 - Situações pré e pós-urbanização.....	42
Figura 6 - Serrapilheira perene sobre o solo e biomassa viva embaixo do solo numa floresta urbana	54
Figura 7 - Solo urbano compactado num ambiente gramado com poucas árvores	55
Figura 8 - Folhas secas nos canteiros da superquadra 408 Norte	56
Figura 9 - Canteiros em que as folhas secas são removidas na superquadra 308 Sul. ...	56
Figura 10 - Mapa Hidrográfico do DF.....	60
Figura 11 - Gráfico de precipitação acumulada.....	62
Figura 12 - Croqui de Lucio Costa que representa as superquadras.....	65
Figura 13 - Localização do Plano Piloto de acordo com a topografia	67
Figura 14 - Taxa média de impermeabilidade do solo nas zonas urbanas do Distrito Federal.....	75
Figura 15 - Locais de ocorrência de patologias causadas por falhas ou problemas na rede de drenagem.....	76
Figura 16 - Mapa de zoneamento de risco de alagamento	78
Figura 17 - Região do Plano Piloto com traçado das redes existente	79
Figura 18 - Localização dos pontos de lançamento monitorados pela ADASA	80
Figura 19 - Pontos de alagamento no Plano Piloto.....	83
Figura 20 - Solução dos pontos críticos de alagamentos do Plano Piloto.....	85
Figura 21 - Sub-bacias já mapeadas no Plano Piloto e principais pontos de alagamento	87
Figura 22 - Bacia de macrodrenagem de estudo na Asa Norte	88
Figura 23 - Região do exutório com nascente e mata nativa na EQN 212/213.....	89
Figura 24 - Alagamentos na Faixa 10-11 norte	90
Figura 25 - Alagamento na W2 Norte.....	91
Figura 26 - Alagamento nos limites da faixa 10-11 Norte.....	91
Figura 27 - Mapa de declividade da área de estudo.....	92
Figura 28 - Curvas de nível e pontos de alagamento da macrobacia de estudo	93
Figura 29 - Drenagem natural das águas na macrobacia de estudo	94
Figura 30 - Mapa de uso e ocupação da macrobacia de estudo.....	96
Figura 31 - Bacia de Contribuição da Faixa 10 – 11 Norte delimitada no Drenar DF ...	97
Figura 32 - Soluções de drenagem do Drenar DF	98
Figura 33 - Bacia de retenção na via L4 Norte proposta pelo Drenar DF	99
Figura 34 -Locais críticos e volumes excedentes em superfície para TR10 anos	100
Figura 35 - Trincheira de infiltração	105
Figura 36 - Vala de infiltração.....	106
Figura 37 - perfil de um poço de infiltração.....	107
Figura 38 - Detenção fechada.....	109
Figura 39 - Espaços livres que podem amortecer e reter as águas pluviais	113
Figura 40 - Áreas disponíveis para LID na W4 Norte	114
Figura 41 - Espaço livre para LID entre as vias W4 e W5 Norte.....	114
Figura 42 - escoamento natural e local de LID na W4 Norte	115
Figura 43 - Canteiro da via W3 Norte disponível para locação de LID	116

Figura 44 - Espaço livre para LID na via W3 Norte.....	117
Figura 45 - escoamento natural e local da LID na W3 Norte	117
Figura 46 - Espaços livres nos canteiros do Eixão	118
Figura 47 - Visual dos canteiros do eixo rodoviário norte.....	119
Figura 48 - escoamento natural e LIDs na W4 Norte	120
Figura 49 - Espaços livres nas entrequadras da Faixa 10-11 Norte.....	121
Figura 50 - escoamento natural nas entrequadras da macrobacia.....	122
Figura 51 - Lote livre na EQN 309/310	123
Figura 52 - Visual da EQN 309/310	123
Figura 53 - Lote livre na EQN 311/312	124
Figura 54 - Visual da EQN 311/312	125
Figura 55 - Lote livre na EQN 311/312	126
Figura 56 - Visual da EQN 313/314	126
Figura 57 - Lote livre na EQN 110/111	127
Figura 58 - Lote livre na EQN 112/113	128
Figura 59 - Visual da EQN 112/113	128
Figura 60 - Posição de todas as LID propostas na área de estudo.....	129
Figura 61 - Mapa da rede de drenagem (cenário atual)	132
Figura 62 - Sub-bacias da macrobacia de estudo.....	133
Figura 63 - Mapa do CN da macrobacia	134
Figura 64 - Bacias de retenção e detenção (cenário 4)	139
Figura 65 - Gráfico de vazão de pico em situações pré e pós-urbanização	140
Figura 66 - Gráfico comparativo de vazão de pico no exutório	141
Figura 67 - Localização do conduto C375 na macrobacia de estudo	143
Figura 68 - Perfil do trecho da rede com o conduto C375	144
Figura 69 - Gráfico de inundação total da rede (m ³ /s).....	146
Figura 70 - Detalhe construtivo de Biovaleta ou vala de infiltração	150
Figura 71 - Exemplo de passagem sobre vala de infiltração	150
Figura 72 - Dimensões da ciclofaixa e passeio próximos à pista	153
Figura 73 - Vista superior de locação de valas no canteiro da W4 Norte.....	155
Figura 74 - Corte transversal das valas de infiltração proposta no canteiro da W4 Norte	157
Figura 75 - Vista superior das valas e as curvas de nível num canteiros da W4 Norte	158
Figura 76 - Imagem de satélite com valas na W4 Norte	159
Figura 77 - Vista superior e corte longitudinal das valas na W4 Norte	159
Figura 78 - Corte do canteiro da W3 Norte com vala.....	160
Figura 79 - Vista superior das valas e as curvas de nível num canteiro da W3 Norte..	161
Figura 80 - Imagem de satélite com valas na W3 Norte	162
Figura 81 - Detalhamento de valas na W3 Norte	163
Figura 82 - Vista superior e corte longitudinal das valas na W4 Norte	164
Figura 83 - Vista superior das valas que seguem a topografia dos canteiros do Eixão	166
Figura 84 - Imagem de satélite com valas nos canteiros do Eixão Norte	167
Figura 85 - Corte longitudinal esquemático que destaca concavidade das valas dos canteiros do Eixão.....	167
Figura 86 - Bacia de detensões com uso esportivo em Curitiba e Porto Alegre respectivamente	169
Figura 87 - Bacia da detenção em Porto Alegre-RS	170
Figura 88 - Anfiteatro usado como bacia de detenção aberta no Redfren Park	171
Figura 89 - Quadras esportivas em diferentes situações meteorológicas.....	172

Figura 90 - Cortes da praça aquática em momentos climáticos diferentes	173
Figura 91 - Perceptivas da praça aquáticas em diferentes estações do ano	174
Figura 92 - Corte esquemático da quadra gramada com arquibancada (bacia de detenção)	176
Figura 93 - Vista superior de quadras gramadas nas EQNs	177
Figura 94 - Layout de bacia de retenção propicia à vida lacustre	178
Figura 95 - Bacia de retenção, Parco Della Trucca, Bergamo, Itália.....	179
Figura 96 - Bacia de retenção com uso recreativo - Sarcelles, França	180
Figura 97- Bacia de retenção como exemplo do enriquecimento da paisagem – Thillay, França.....	180
Figura 98 - Parque urbano com lagoa pluvial na EQN 112/113	182
Figura 99 - Parque urbano com lagoa pluvial na EQN 311/312	183

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Conceitos de infraestrutura verde e biodiversidade urbana	36
Tabela 2 - Estratégias de infraestrutura verde	37
Tabela 3 - Vantagens e desvantagens do sistema de drenagem tradicional.	43
Tabela 4 - Síntese dos elementos de infraestrutura verde que favorecerem a drenagem	51
Tabela 5 - Principais lançamentos da rede de drenagem do Lago Paranoá	81
Tabela 6 - Dispositivos de abatimento de vazão do Manual de Drenagem do DF.....	102
Tabela 7 - Vantagens e desvantagens dos pavimentos permeáveis	104
Tabela 8 - Vantagens e desvantagens das trincheiras de infiltração	105
Tabela 9- Vantagens e desvantagens das valas de infiltração	106
Tabela 10 - Tabela de vantagens e desvantagens dos poços de infiltração	107
Tabela 11 - Vantagens e desvantagens dos telhados armazenadores	108
Tabela 12- Vantagens e desvantagens das bacias de retenção	109
Tabela 13 - Espaços livres e LIDs do Manual de Drenagem	110
Tabela 14 - Parâmetros das valas de infiltração	136
Tabela 15 - Parâmetros das quadras gramadas (bacias de retenção)	137
Tabela 16 - Parâmetros da lagoa pluvial (bacia de retenção).....	138
Tabela 17 - Vazão máxima no exutório de todos os cenários simulados.....	142
Tabela 18 - Amortecimento total	142
Tabela 19 - Capacidade máxima do conduto C375	144
Tabela 20 - Vazão máxima no conduto C375	145
Tabela 21 - Extravasamento nos poços de visita no cenário atual	145
Tabela 22- Extravasamento total da rede (m ³)	146
Tabela 23 - Efeitos da Vegetação sobre a estabilidade de encosta.....	151
Tabela 24 - Adequações da paisagem às valas de infiltração.....	168
Tabela 25 - Harmonização entre bacia de retenção e paisagem urbana	176
Tabela 26 - Recomendações para instalação das bacias de retenção.....	181

LISTA DE ABREVIACÕES

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADASA – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CHIWater – *Computational Hydraulics International Water*
CN – Curva Número
CO - Centro Olímpico
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
DF – Distrito Federal
DWG – *AutoCAD Drawing Database*
EQN – Entrequadra Norte
GIS – *Geographic Information System*
IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
LID – *Low Impact Development*
NOVACAP - Companhia Urbanizadora da Nova capital do Brasil
PCSWMM – *Personal Computer Stormwater Management Model*
PDDU – Plano Diretor de Drenagem Urbana
PDOT – Plano Diretor de Ordenamento Territorial
PDSB – Plano de Saneamento Básico
RA – Região Administrativa
SEGETH – Secretaria de Estado e Gestão do Território e Habitação
SEPN - Setor de Edifícios Públicos Norte
SICAD - Sistema Cartográfico do Distrito Federal
SINAT – Sistema Nacional de Avaliação Técnica
SQN- Superquadra Norte
SWMM - *Stormwater Management Model*
Tr – Tempo de Retorno
UnB - Universidade de Brasília

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho baseia-se na concepção de que cidades são ecossistemas ecológicos e humanos, levando à necessidade que a projeção de seus espaços contemple essas duas vertentes, a ecológica e a antrópica. Essa visão é contemplada pela arquitetura da paisagem que, segundo FRANCO (1997), trata do urbanismo que considera três conceitos: o ecossistêmico (preservação ambiental), a sustentabilidade (conservação ambiental) e, por fim, o ecossistema humano. São eles:

- Conceito Ecossistêmico, o qual pressupõe o equilíbrio entre os processos naturais, pertencentes na área de estudo, e onde são respeitados os fluxos de energia e de vida, incluindo-se aí os fluxos antrópicos, devidamente controlados.
- Conceito de Conservação ambiental, no qual são enfatizadas a autonomia e a autossuficiência, relativas, de todas as estruturas projetadas para o futuro, onde se minimizem os impactos ambientais e, portanto, não se sobrecarreguem as gerações futuras.
- A visão da urbanização como um ecossistema humano interligado aos ecossistemas naturais, dos quais depende e com os quais interage. (FRANCO, 1997, p.169).

Essa pesquisa parte do conceito acima para abordar o papel das áreas verdes urbanas na integração desses três eixos, os quais compõem a cidade: o ecológico, o antrópico e a sustentabilidade. A inquietação é compreender como as massas verdes, que tem predominado nas intervenções da arquitetura da paisagem, estão ou não desempenhando seu papel ecossistêmico e, portanto, contribuindo para a sustentabilidade ambiental das cidades.

Entende-se por paisagem urbana os espaços em que não há teto, ou seja, os espaços verdes e livres da cidade. De acordo com Silvio Macedo os espaços verdes são: *“toda área urbana ou porção do território ocupada por qualquer tipo de vegetação que tenham um valor social”* (MACEDO, S., 1995, p.16). As funções das áreas verdes devem ir além da estética e interação social. De acordo com o conceito paisagístico definido inicialmente, tais áreas devem atender as necessidades antrópicas, estéticas e ecológicas. Os sistemas de áreas verdes proporcionam a melhoria da qualidade de vida pelo fato de garantirem áreas destinadas ao lazer, paisagismo e preservação ambiental, e devem também possuírem funções ecossistêmicas. Os benefícios são inúmeros como descreve DE ANGELIS & LOBODA:

As áreas verdes urbanas são de extrema importância para a qualidade da vida urbana. Elas agem simultaneamente sobre o lado físico e mental do Homem, absorvendo ruídos, atenuando o calor do sol; no plano psicológico, atenua o sentimento de opressão do Homem com relação às grandes edificações; constitui-se em eficaz filtro das partículas sólidas em suspensão no ar, contribui para a formação e o

aprimoramento do senso estético, entre tantos outros benefícios. Para desempenhar plenamente seu papel, a arborização urbana precisa ser aprimorada a partir de um melhor planejamento. (2005, p. 134).

Entre os benefícios que as áreas verdes proporcionam ao meio ambiental podemos destacar: a composição atmosférica urbana; equilíbrio entre o solo-clima-vegetação; atenuação dos níveis de ruído; melhoria da estética urbana.

No que tange a sustentabilidade ambiental é relevante a compreensão do conceito de biodiversidade urbana que remete ao entendimento de serviços ecossistêmicos urbanos fundamentais para revisão da ideia de áreas verdes nas cidades. O tema da biodiversidade urbana¹ e dos serviços ambientais impõe identificar os benefícios da valorização das questões ambientais para o funcionamento das cidades. Os serviços ambientais podem ser subdivididos em quatro categorias, as quais são: provisão, reguladores, culturais e ambientais.

Os serviços de provisão nas cidades, o mais relevante se refere à capacidade do ecossistema de produzir bens como à água. Já os serviços de regulação se referem aos benefícios obtidos – por meio de processos naturais – os quais regulam as condições ambientais como: controle de enchentes e erosão, purificação e regulação do ciclo da água, controle de pragas e doenças, polinização, regulação do clima, entre outros. Os serviços culturais geram benefícios educativos, recreativos, turísticos, estéticos e espirituais, que são proporcionados ao homem pelos ecossistemas. Por fim, os serviços ambientais de suporte são aqueles que contribuem para os outros serviços como: a formação de solos e reciclagem de nutrientes.

COLLINS *et al.* (2000) interpreta que a diversidade biológica², presente na cidade, deve ser percebida desde a identificação e localização das áreas verdes, compostas pelos parques, jardins as industriais, as residenciais e as coberturas ajardinadas) e elementos da fauna e flora BOLUND & HUNHAMMAR (1999) depreendem que os serviços

1 O conceito de biodiversidade, segundo a Convenção sobre Diversidade Biológica (CBD, 1992), se refere à variabilidade de organismos vivos de todas as origens, compreendendo dentre outros, os ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos, e os complexos ecológicos de que fazem parte.

2 O conceito de biodiversidade, segundo a Convenção sobre Diversidade Biológica (CBD, 1992), se refere à variabilidade de organismos vivos de todas as origens, compreendendo dentre outros, os ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos, e os complexos ecológicos de que fazem parte.

ambientais— os quais abrangem a provisão da água - estão diretamente relacionados à existência e qualidade da estrutura ecológica da cidade, pois é a partir da constituição do solo adequado que dispomos da água e da energia se constituem em matéria-prima para as cidades. Da presença desses serviços que surge o ecossistema urbano, como a arborização (os gramados e os parques, as florestas urbanas, as terras cultivadas, os lagos, as represas, os rios e os córregos. Sendo que cada tipo destes comporta fatores ambientais que condicionam a urbanização.

Destarte estes acabam por oferecer serviços ambientais para a cidade – serviços ambientais urbanos - tais como: ar puro, água potável, absorção da água da chuva e prevenção de enchentes, sequestro de carbono, redução da poluição sonora (redução do barulho), recreação e lazer e mitigação do calor. (BOLUND & HUNHAMMAR, 1999; MASSOUD et al, 2003).

A compreensão do que representam os serviços ambientais urbanos sugere perspectivas de abordagem mais amplas, não necessariamente focadas nas funcionalidades dos sistemas naturais³, mas nas ações que dele decorrem. Por exemplo, a expansão das cidades, sem considerar os recursos do território, os quais têm sido a tônica das ações de planejamento urbano, ocasionam a perspectiva de impactos consideráveis, na perda e na não proteção aos serviços ambientais que são necessários para o funcionamento da própria cidade.

Relações entre arquitetura da paisagem e serviços ecossistêmicos urbanos

Brasília é reconhecida por seus grandes espaços verdes e livres que fazem com que a cidade tenha um diferencial dentre as demais cidades brasileiras tanto quanto a sua arquitetura. São espaços com todo tipo de vegetação (árvores, palmeiras, arbustos, forrações, entre outros extratos vegetais) que conferem identidade à cidade, em especial, às superquadras do Plano Piloto, que formam um verdadeiro escudo verde, o qual, além de atrair a fauna nativa do cerrado, gera a sensação de envolvimento e de proteção das

³ Tais ações seriam: disposição correta dos resíduos sólidos contribuindo para a melhoria da qualidade da água, diminuição da emissão de gases de efeito estufa, minoração do risco de doenças infectocontagiosas; reciclagem de resíduos urbanos o que contribui para a redução do consumo de energia e de água, da necessidade de matéria-prima virgem, maior estabilidade climática e menor impacto ao patrimônio natural; manutenção de áreas verdes o que contribui para o aumento da permeabilidade do solo, diminuição do risco de enchentes e deslizamentos, por exemplo.

áreas residenciais. No relatório do Plano Piloto de Brasília, Lucio Costa define o elemento verde como “*cintas arborizadas de enquadramento*” com a função de cobrir os passeios públicos.

Na maior parte das obras modernistas, os espaços verdes - quando presentes – possuem função de pano de fundo para as edificações, dado que o paradigma estava centrado no progresso industrial, na geometria, no domínio técnico e na ordem à imagem da máquina. Os arquitetos e urbanistas não se sentiam seguros diante da paisagem sendo muito difícil incorporar a natureza orgânica da paisagem ao ato de projeção. (FRANCO, 1997, p.19).

Nesse contexto, sabe-se que a arquitetura da paisagem, durante o período moderno, era usada para estar apenas na transição entre as edificações e o entorno sem se destacar em relação à arquitetura. Na citação, a seguir, percebe-se o papel secundário do paisagismo no urbanismo moderno: “*Apesar da relativa evidência que a atividade paisagística ganha nesse tempo, ela é entendida apenas como um trabalho complementar dos processos de construção*” (BARCELLOS, 1999, p. 24).

Uma das principais críticas ao urbanismo modernista - principalmente ao brasileiro – é que, apesar de contemporâneo as ideias ecológicas já vigorantes no mundo e já praticadas no Brasil como no caso de Roberto Burle Marx, o modernismo continuava se valendo dos espaços verdes para fim meramente estético. Sobre isto, tem-se:

Os arquitetos do movimento moderno nunca se sentiram cômodos com a paisagem, os inquietavam principalmente o progresso, a geometria, a técnica, a ordem, e a imagem da máquina. Em tal marco de referência, era muito difícil incorporar a natureza tão orgânica e viva à paisagem (Sutherland Lyall, 1991 *apud* CESAR, 2003 p. 123 e 124).

Para se ter uma ideia do antagonismo entre a visão das áreas verdes como função ecológica e estética, verifica-se que, no Plano Piloto de Brasília, as áreas verdes são superiores às áreas pavimentadas (impermeáveis), portanto, era de se supor que deveriam favorecer a infiltração das águas pluviais e apresentar pouco escoamento superficial, o que não se verifica.

Essa assertiva pode ser verificada em um exercício realizado por ROCHA (2011), que estimou a quantidade de áreas permeáveis e impermeáveis de duas superquadras da cidade, no caso a 408 Norte e a 308 Sul. Calculou-se, inicialmente, o valor total da área de cada superquadra, depois foram encontradas as áreas de vias e estacionamentos e,

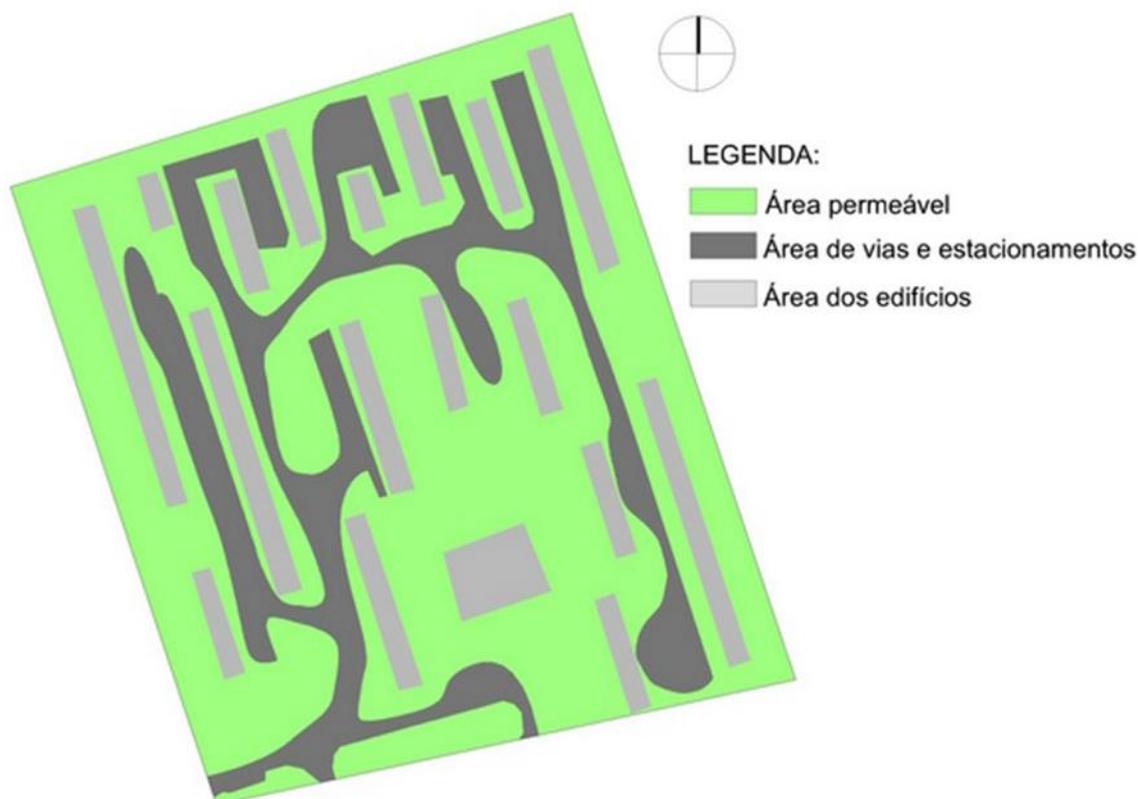
posteriormente, o valor dos espaços ocupados pelas projeções dos edifícios residenciais e equipamentos urbanos existentes. Com estes dados deduziu-se o percentual de áreas com potencial para serem permeáveis.

Para exemplificar a questão observa-se que a superquadra 408 Norte, a qual ocupa uma área total de aproximadamente 91.723,00 m² (100%), em forma de quadrilátero com dimensões de 300 m x 281m x 338m x 283m, os espaços ocupados por vias e estacionamento somam 20.695,00 m² (22,5%), os prédios residenciais e a escola classe totalizam 15.139,00 m² (16,5%). Assim, o valor total de área impermeabilizada é de 35.834,00 m² (39%) e da área potencialmente permeável de 55.889,00 m² (61%).

O papel estético, de conforto ambiental e de lazer que essas áreas propiciam não é questionado, mas, como avaliar o papel dessas áreas potencialmente permeáveis para assegurar o ciclo da água?

Ao observar a Figura 1 e os percentuais citados acima, nota-se que a quadra 408 Norte - como representante da média das superquadras do Plano Piloto - apresenta um grande potencial de infiltração e, por conseguinte teria potencial de contribuir para o equilíbrio do ciclo da água na cidade. Mas como esse potencial se efetiva?

Figura 1 - Áreas permeáveis e impermeáveis na 408 Norte



Fonte: Produção da autora

A efetividade se daria se não ocorressem alagamentos no Plano Piloto em decorrência de seu grande percentual de áreas não pavimentadas e, em teoria, como alto poder de infiltração, todavia, isso não ocorre. Diversos espaços do Plano Piloto sofrem com alagamentos e inundações no longo período chuvoso (que contempla seis meses do ano). Assim, o que está errado?

É notório que existem problemas ecossistêmicos com os espaços verdes da cidade que impedem que ocorra a infiltração das águas pluviais como esperado. O que poderia ser feito para evitar esses alagamentos e favorecer a manutenção do ciclo da água? Que elementos de composição da paisagem favorecem a infiltração da água pluviais? Quais os que mais contribuem para diminuir o escoamento superficial? Surgem questionamentos que se constituem no problema de investigação da tese: se a paisagem urbana de Brasília possui tantos espaços verdes, por que a cidade sofre com os alagamentos?

Uma provável resposta é que essas áreas verdes cumprem apenas com a função estética - proposta pelo paisagismo modernista - enquanto a função ecossistêmica foi esquecida e, de certa maneira, impedida de ser exercida pela forma como foram implantadas as áreas verdes.

O tema desta pesquisa é encontrar os elementos paisagísticos e de drenagem os quais integrem os aspectos estéticos e ecossistêmicos para promover a sustentabilidade ambiental e social da cidade. A pesquisa vale-se da relevância da manutenção do equilíbrio hidrológico para prestar o serviço ambiental da regulação urbana.

Tem-se em conta que a maioria dos trabalhos acadêmicos, desde os tempos da consolidação da disciplina Paisagismo estão relacionados prioritariamente ao seu papel estético, de conforto e de lazer, ou seja, apenas nas necessidades antrópicas. Portanto, o estudo concentrou-se em pesquisar elementos da arquitetura da paisagem os quais contemplem, também, função ecossistêmica, com ênfase no equilíbrio do ciclo da água.

A análise foi realizada no Plano Piloto de Brasília pelas razões ímpares, que demonstram essa condição de que as áreas verdes não favoráveis à drenagem e, por outro lado, por ser uma área tombada, com poucas alterações na ocupação do solo desde a implantação de sua rede de drenagem original. Pode-se, assim, facilmente relacionar os alagamentos existentes às mudanças de uso do solo. Trata-se de um laboratório para

estudo das relações necessárias que se desejam verificar entre o tratamento das áreas verdes para promoção da infiltração e entre mudanças de uso do solo e de inundações.

Estudo anterior⁴ na macrobacia de drenagem do Iate, parte do Plano Piloto de Brasília, verificou as possibilidades do sistema de áreas verdes em atenuar os problemas relativos à drenagem urbana. Nesse trabalho, foram propostas trincheiras de infiltração e jardins de chuva no espaço urbano. Após o cálculo do balanço hídrico (por meio de simulação computacional), demonstrou considerável redução no escoamento superficial. Essa constatação questiona projetos de ampliação de redes de drenagem e implantação das bacias de retenção de grande porte, previstas pelo Governo do Distrito Federal (GDF) na paisagem da capital.

Assim, parte-se da premissa que são necessárias outras soluções de drenagem urbanas mais harmônicas com a natureza e com o cenário urbano. As soluções paisagísticas fundadas nas técnicas de infraestrutura verde surgem como outro ponto de apoio teórico para requalificação da paisagem, por possibilitar a articulação entre as funções da cidade. Essa é a proposta da presente tese.

A arquitetura da paisagem, amparada em sua função ecossistêmica e nas técnicas de infraestrutura verde, tem como problema para sua efetividade às práticas predominantes decorrentes dos paradigmas tradicionais de planejamento urbano. Nesse processo, o urbanista foca nos aspectos da organização do território em relação aos usos e ocupações do solo, enquanto a infraestrutura fica a cargo de engenheiros especialistas em saneamento. O resultado é que aspectos de ocupação do solo não são explorados enquanto soluções de infraestrutura, o caso mais emblemático é o da drenagem urbana.

Esses modelos de infraestrutura urbana, forjados no pensamento da engenharia sanitária, são denominados de infraestrutura urbanas tradicionais ou cinza, por ampla bibliografia que discute suas virtudes e defeitos (HERZOG & ROSA, 2010). Eles, ao mesmo em que solucionam as questões de escoamento de águas em tempo rápido, contribuem, indiretamente, com interrupção do fluxo dos processos naturais. Surgem assim problemas urbanos, como erosões, assoreamentos dos cursos d'água, contaminação nos corpos hídricos, entre outros.

4 Realizados pelo g-GAU FAU/UnB no qual desenvolveram um projeto piloto com apoio dos alunos da pós-graduação de PIBIC.

Premissas e hipótese que norteiam a pesquisa

Esta pesquisa parte das seguintes premissas:

- i. A maior parte da área do Plano Piloto de Brasília é caracterizada por espaços verdes e ajardinados, os quais, em tese, deveriam propiciar infiltração;
- ii. O sistema de drenagem brasiliense é baseado no paradigma tradicional, ignorando o potencial de seu desenho urbano;
- iii. Brasília sofre, a cada dia, mais, com diversos pontos de alagamentos e problemas de drenagem urbana;

A partir dessas premissas, inicia-se um raciocínio que leva à seguinte hipótese: o paisagismo modernista, implantado em Brasília, atende apenas às necessidades antrópicas e estéticas. Enquanto, o papel ecossistêmico de suas áreas verdes que prestariam serviços ambientais de regulação das águas urbanas, foi desconsiderado. A arquitetura da paisagem, associada a técnicas compensatórias de drenagem fundadas na infraestrutura verde, pode reabilitar esses espaços verdes para suas funções ecológicas.

O objeto de análise será o sistema de áreas verdes do Plano Piloto de Brasília (função estética e ecossistêmica) e a concepção e funcionamento de seu sistema de drenagem. A pergunta chave colocada: como os espaços livres e ajardinados devem ser projetados com a intenção de promover serviços ecossistêmicos de favorecimento e aumento da infiltração com redução do escoamento superficial? O desafio é demonstrar que, apesar da cidade ter arborização e espaços verdes como identidade, tais elementos da arquitetura da paisagem, apesar de bem ofertados em termos quantitativos, não contribuem para solução/complementação da infraestrutura de drenagem da cidade, mas, contudo, poderiam ser utilizados para tal.

O **objetivo geral** da pesquisa é demonstrar que, os espaços livres e as áreas verdes da cidade, podem favorecer em grande parte o desempenho da drenagem, por meio de elementos da infraestrutura verde associados ao planejamento da paisagem.

Para atingir tal objetivo foram definidos cinco objetivos específicos, os quais visam fornecer subsídios para corroborar ou refutar a hipótese apresentada, além de obter os resultados que gerem contribuições para a prática profissional e acadêmica de arquitetos, paisagista e engenheiros.

São objetivos específicos:

- 1) Revisar a literatura a respeito da arquitetura da paisagem, infraestrutura verde, serviços ambientais e drenagem sustentável;
- 2) Identificar os elementos da arquitetura da paisagem capazes de promover a manutenção dos serviços ambientais associados à manutenção do ciclo da água;
- 3) Analisar o potencial das áreas verdes do Plano Piloto para adoção dos elementos de drenagem identificados na pesquisa;
- 4) Verificar o desempenho dos elementos da infraestrutura verde associados ao tema da drenagem urbana;
- 5) Criar e simular cenários de uso das áreas verdes para solução de problemas de drenagem em Brasília.

Como métodos de trabalho para atingir esses objetivos de pesquisa foram definidas três etapas que abarcam um conjunto de ações. São elas:

A primeira etapa trata da investigação dos objetivos específicos 1 e 2, por meio de uma revisão bibliográfica e de análise de como se comportam os temas relativos ao tratamento da arquitetura da paisagem, infraestrutura verde, serviços ambientais e drenagem sustentável na área de estudo.

A revisão bibliográfica, ou revisão da literatura, é a análise crítica das publicações correntes em uma determinada área do conhecimento. Os objetivos de uma revisão bibliográfica são: verificar o que tem sido produzido sobre a problemática colocada; conhecer o pensamento sobre a inter-relação dos temas abordados na pesquisa para verificar como se pode estruturar e encontrar fundamentação sobre os argumentos da pesquisa.

Esse procedimento metodológico permite verificar as fontes primárias e secundárias que abordem o tema. Estas fontes podem ser constituídas por: livros, teses, dissertações, artigos de revistas e/ou jornal, dados estatísticos, pesquisas, entrevistas, fotografias, documentos audiovisuais, etc.

Ao final da revisão conceitual, será produzido um quadro analítico a ser aplicado no estudo de caso, com as técnicas que possam ser adotadas para minimizar os impactos causados pela insuficiência dos sistemas de drenagem tradicional e inadequação das

áreas verdes para infiltração. Objetiva, também, reforçar a relação entre os espaços livres/verdes para a gestão das águas no ambiente urbano.

A segunda etapa da pesquisa visa alcançar o objetivo específico 4 e possui caráter empírico como processo metodológico. Esse se vale do estudo dos planos de drenagem urbanístico de Brasília, bem como a análise de campo sobre o potencial das áreas verdes e dos problemas de drenagem existentes. A caracterização da drenagem, já implantada no Plano Piloto, e seu grau de eficiência/ineficiência com a identificação dos pontos críticos, será a base para a investigação da macrobacia de drenagem, a ser estudada, e seu potencial de infiltração em áreas verdes urbanas. Ainda na parte empírica, tem-se a definição dos cenários e simulações hidrológicas para sua verificação de efetividade. Assim, após o estudo dos problemas da drenagem da macrobacia analisada, propõe-se os elementos de infraestrutura verde identificados previamente.

Como método de trabalho da segunda etapa utilizou-se os seguintes instrumentos:

- i. elaboração dos mapas de bacias e posterior alocação dos elementos de drenagem compensatórios utilizaram-se imagens de satélite (ortofotos); mapas de uso e ocupação do solo e utilizando programa CAD selecionar as áreas públicas com potencial de serem alocadas as técnicas de drenagem fundadas na infraestrutura verde.
- ii. análise e modelagem da rede de drenagem e dos parâmetros hidrológicos necessários para se fazer a simulação;
- iii. simulação do balanço hídrico, utilizando o programa computacional *Personal Computer Stormwater Management Model*⁵ (PCSWMM).

O programa PCSWMM foi utilizado por permitir a introdução de técnicas compensatórias de drenagem urbana e, assim, analisar o comportamento quantitativo e qualitativo das águas de drenagem urbana, por meio da avaliação da infiltração, do escoamento superficial em eventos de cheia. Pela modelagem matemática, utilizando o

5 O PCSWMM foi o primeiro modelo computacional desenvolvido para análise qualitativa e quantitativa associada ao escoamento gerado em áreas urbanas, foi projetado como um modelo de evento e para simular qualidade da água e quantidade de escoamento. Ele permite a simulação de uma ampla gama de recursos de hidrologia urbana e processos de qualidade da água, e opera com movimento dos poluentes da superfície do solo das áreas modeladas para sistemas de esgotamento unitário ou emissários de drenagem.

modelo SWMM⁶, no caso o PCSWMM Professional versão 7.1.2480 foram feitas as simulações de hidrologia e hidráulica. As razões de utilização do SWMM decorrem de vários trabalhos que utilizaram o programa para a avaliação e planejamento de técnicas compensatórias de drenagem- LIDs. Como exemplo o estudo de campo de MCCUTCHEON, M.WRIDE, D. (2013) que mede e avalia o desempenho de jardins de relvado e de vegetação com chuva em solos argilosos e de areia com o SWMM 5.0.22. SHAMSI (2012), que apresenta alguns recursos de modelagem de LIDs por meio do PCSWMM. ROSSMAM (2010) descreve como o mecanismo de escoamento e a interface gráfica do SWMM pode ser estendida para modelar explicitamente tipos específicos de LIDs como: pavimento permeável, áreas de retenção biológica (por exemplo, jardins de chuva), trincheiras de infiltração e valas vegetadas, entre outros.

O quarto e último procedimento metodológico da pesquisa, cumpre com o objetivo específico 5. Apresentou-se como a arquitetura da paisagem, associa-se às técnicas de drenagem compensatória da infraestrutura verde podem criar uma paisagem que garanta todas as funções urbanas. Foram feitas reflexões sobre os resultados alcançados e definidas recomendações de arquitetura da paisagem associadas à infraestrutura verde, para assegurar e/ou melhorar a drenagem sustentável na cidade, contribuindo assim para a prestação do serviço ecossistêmico de regulação pelas áreas verdes urbanas.

Como resultado se se esperava a comprovação ou refutação da tese sendo os caminhos:

- i. confirmar que, a adoção das tecnologias tradicionais com ampliações de redes e galerias, com impactos sobre os cursos d'água receptores e a continuidade da baixa infiltração e consequente desequilíbrio ao ciclo hidrológico, são a única alternativa, ou
- ii. comprovar a viabilidade em adotar um sistema que aplique o metabolismo circular com a infraestrutura verde, que significa adoção de técnicas compensatórias para favorecer a retenção e infiltração, sobrecarregando menos as redes existentes e visando seu funcionamento adequado.

A pesquisa foi organizada nos seguintes capítulos:

6 O SWMM é um modelo de gerenciamento de águas pluviais desenvolvido desde 1971 pela Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos Estados Unidos (EPA - *Environmental Protection Agency*).

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO: trata da apresentação do tema, a motivação da pesquisa, objetivos, metodologia e estrutura do trabalho.

Capítulo 2 – REVISÃO DE LITERATURA: contempla a fundamentação teórica e conceitual norteadora do trabalho. Trata da arquitetura da paisagem, enuncia os princípios da infraestrutura verde e seus elementos de drenagem e ressalta a importância de promover o metabolismo urbano circular, para garantir os serviços ecossistêmicos, a drenagem sustentável. Constrói os fundamentos para realização do estudo empírico.

Capítulo 3 – ESTUDO DE CASO: Caracteriza Brasília, suas áreas verdes e seu sistema de drenagem. Esse capítulo trata do sistema de drenagem higienista implantado em Brasília, seus problemas e projetos de ampliação, como o projeto Drenar DF. Em outra vertente, trata do urbanismo da cidade e das características de seus espaços verdes, para discutir o potencial de adoção das técnicas compensatórias de drenagem fundadas na infraestrutura verde.

Capítulo 4 – CONTRUÇÃO DOS CENÁRIOS E SIMULAÇÃO: Nessa parte do trabalho definem-se os critérios de escolha das LIDs mais adequadas aos problemas e as condições urbanísticas da cidade, bem como os parâmetros para sua locação e dimensionamento. São definidos os cenários, modelada a rede de drenagem existente e realizadas as simulações hidrológicas. Por fim, foram analisados os resultados alcançados.

Capítulo 5 - INTEGRAÇÃO DA PAISAGEM URBANA AS TÉCNICAS COMPENSATORIAS DE DRENAGEM: O capítulo estuda as técnicas de arquitetura da paisagem, as quais podem ser adotadas na articulação das LIDs com as demais funções urbanas, garantindo a mobilidade, segurança, estética e recreação onde necessária. Ilustra as recomendações com exemplos exitosos em outros contextos urbanos onde foram aliados elementos de infraestrutura verde com a paisagem para atender as necessidades sociais da cidade.

Capítulo 6 – CONCLUSÕES: Consolida os resultados obtidos, as contribuições do trabalho e as respostas aos questionamentos motivadores da pesquisa.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo tem como objetivo realizar uma revisão da literatura que abarque os principais conceitos norteadores da pesquisa. A intenção é compreender as diferentes visões presentes nos estudos sobre a arquitetura da paisagem, drenagem sustentável e serviços ecossistêmicos urbanos, assuntos relativos à promoção da sustentabilidade. Com isso, será possível realizar uma reflexão que possibilitará atribuir solidez às questões desse trabalho bem como suas respostas.

2.1 Soluções urbanas baseadas na natureza

Considerando o conceito de biodiversidade urbana e serviços ecossistêmicos explanados na introdução, aqui se procura destacar as relações entre as formas de ocupação do solo e a garantia desses serviços com olhar focado na manutenção do ciclo da água nos centros urbanos.

As intervenções urbanas que consideram a lógica de funcionamento dos ecossistemas em que se inserem, são denominadas em diferentes trabalhos como **soluções baseadas na natureza** e tratam de agregar as funcionalidades dos sistemas naturais e antrópicos. Sobre o tema se podem elencar os seguintes aspectos que se relacionam ao ciclo da água e ao uso do solo:

- a) Ações de manutenção dos espaços verdes urbanos e de proteção à vegetação urbana: Os espaços verdes urbanos fornecem múltiplos serviços ambientais, nomeadamente no aumento da utilização e no sequestro de carbono da atmosfera e na redução significativa do efeito de ilha de calor urbana⁷. Reduzem ainda o consumo de energia ao diminuir as temperaturas nas épocas de verão, fornecem sombra resfriamento e garantindo conforto térmico no verão, atenuam a velocidade dos ventos no inverno e, também, limitam a poluição sonora⁸. Os

⁷ Sobre este tema, HOUGH (2004) aponta ainda que uma única árvore grande pode transpirar 450 L de água por dia. Isso consome 1.000 Megajoules de energia de calor para conduzir o processo de evaporação.

⁸ Estima-se que uma grande quantidade de arbustos, por exemplo, com até 5 metros de largura pode diminuir os níveis de ruído em até 2 dB e uma área com vegetação com largura de até 50 metros pode diminuir os níveis de ruído de 3-6 dB (BOLUND & HUNHAMMAR, 1999).

espaços verdes também são, para os cidadãos, psicologicamente importantes. Estudo de ULRICHE, *et al.* (1991) indica que as pessoas ao serem expostas ao contato com ambientes naturais – parques, áreas verdes – tem seu nível de stress diminuído enquanto, ao permanecerem em ambientes urbanos, o nível de stress se manteve e em alguns casos aumentou⁹. Salieta-se, ainda, que na cidade ao se planejar a localização e proteger a estrutura da vegetação consegue-se ampliar a capacidade de filtragem do ar urbano¹⁰.

- b) As áreas permeáveis e a vegetação devem ser mantidas em áreas de mananciais, pois regulam água. Essas áreas fornecem serviço ambiental dada a sua grande importância dada à forte pressão causada pelos ambientes urbanos sobre o ciclo da água, tanto a vegetação quanto o solo têm impactos profundos sobre os movimentos das águas¹¹. Cidades com maior risco de inundação irão se beneficiar mais com a presença de áreas naturais. Destaca-se ainda que as florestas, zonas úmidas e áreas protegidas são capazes de fornecer o serviço ambiental de água limpa a um custo muito menor do que as soluções de estações de tratamento de água.

Essa abordagem sobre serviços ecossistêmicos urbanos e soluções baseadas na natureza encontram no conceito de **infraestrutura verde** uma opção tangível de ordenamento do solo urbano e repostas as funcionalidades que a cidade demanda. Revela-se pertinente identificar soluções de infraestrutura verde associadas à regulação da água, como serviço ambiental.

9 Nesse mesmo trabalho, constatou-se que pacientes internados em hospitais com quartos fazendo frente a áreas naturais aumentavam em 10% a rapidez na sua recuperação e diminuía em 50% a necessidade de medicação em comparação com pacientes internados em quartos com face para outros prédios.

10 Avalia-se que 85% da poluição do ar em um parque pode ser filtrada e em uma rua com árvores, até 70%. Por exemplo, estima-se que as árvores da área urbana de Chicago são responsáveis por remover cerca de 5.500t por ano de poluentes do ar. (BERNATZKY, 1983).

11 Em áreas urbanas com presença de vegetação e solos pouco impermeabilizados, estima-se que de 5 a 15% da água da chuva não infiltre. Enquanto em cidades sem a presença da vegetação cerca de 60% da água da chuva é escoada sem infiltrar no solo (BERNATZKY, 1983).

2.2 Infraestrutura verde

No âmbito da discussão sobre infraestrutura verde, pesquisas (BENEDICT e MCHAHON, 2006) fazem referência ao que denominaram **infraestrutura ecológica**. Apresentam um conjunto de soluções sobre formas de ocupação do solo e de infraestrutura necessárias ao funcionamento das cidades que levam em conta os condicionantes ambientais e a proteção dos serviços ambientais.

O conceito de infraestrutura verde surgiu nos Estados Unidos, na década de 1990 tendo sido o termo usado pela primeira vez em 1994, na Flórida, num relatório dirigido ao governo americano sobre estratégias de conservação ambiental. O objetivo era defender que os sistemas naturais - assim como os sistemas constituintes da **infraestrutura cinza**¹²- não se constituíssem subsistemas concebidos à parte das estratégias de planejamento urbano, mas sim previstos durante seu desenvolvimento. Essa seria uma estratégia concreta para promoção da sustentabilidade das cidades.

Segundo WALL & WATERMAN, infraestrutura verde pode ser definida como: *“A doutrina que visa garantir que o projeto, a construção e a ocupação de uma área estejam em absoluto equilíbrio com todo seu contexto, incluindo as considerações ambientais, sociológicas, culturais e econômicas.”* (2012, p. 169).

A principal ideia da infraestrutura verde é que o planejamento e proteção da paisagem natural das cidades podem ser pensados e geridos de forma integrada com a paisagem antrópica. Em outras palavras, seria proteger a biodiversidade e os serviços ambientais por ela fornecidos numa única estratégia de planejamento urbano.

Existem diferentes enfoques adotados para esse novo termo - infraestrutura verde - tanto no meio acadêmico como no técnico, mas todos corroboram sua assertividade em relação a articulação cidade- natureza e nesse sentido será utilizado na pesquisa para responder as questões sobre os elementos de um paisagismo com preocupação ecossistêmica.

De acordo com o Instituto de Pesquisas em Infraestrutura Verde e Ecologia Urbana (INVERDE), a infraestrutura verde consiste em: *“redes multifuncionais de fragmentos*

12 O conjunto de sistemas técnicos de equipamentos e serviços necessários ao desenvolvimento das funções urbanas. São soluções tradicionais que, na maioria das vezes, interrompe o fluxo dos processos naturais e, conseqüentemente, acabam trazendo grandes prejuízos para o meio urbano.

permeáveis e vegetados (permeáveis arborizados) interconectados que reestruturam o mosaico da paisagem.” (HERZOG, 2010). O objetivo é manter ou restabelecer os processos e fluxos naturais e culturais para assegurar a qualidade vida urbana.

O termo, infraestrutura verde, também é utilizado para delimitar estruturas e espaços urbanos que respondam aos sistemas naturais e humanos simultaneamente, nomeadamente as propostas integradas de parques lineares como corredores verdes ao longo de cursos de água, combinando a perspectiva de uso urbano para lazer e recreação e a garantia de condições de manutenção do sistema hídrico (PELLEGRINO *et al.*, 2006; WHATELY, 2008).

Para alguns autores, a infraestrutura verde ou ecológica, (YU e PÁDUA, 2006; IGNATIEVA *et al.*, 2008) é um conceito emergente baseado nos princípios da ecologia da paisagem entretanto, outro a entendem como algo já definido.

(...) uma rede interconectada de áreas naturais e outros espaços abertos que conservam valores e funções de ecossistemas naturais, diferindo da abordagem de conservação e proteção convencional por considerar desenvolvimento e planejamento ambiental como parte do mesmo sistema. Orienta a criação de um sistema de áreas, de espaços abertos, espaços verdes conectados e que associados aos espaços recreativos dão suporte a conservação ambiental entrelaçado aos usos de forma adequada da terra. (BENEDDICT, MCMAHON, 2006).

Para a melhor compreensão dos elementos que compõem a infraestrutura verde, WILSON & PIPER afirmam que nela inclui-se: parques, jardins, curso de água, campos esportivos, áreas abandonadas em recuperação/reabilitação, várzeas, avenidas arborizadas, paredes e coberturas verdes, sistemas sustentáveis de drenagem, entre outras coisas.

BENEDICT & McMAHON (2006) também entendem assim, os elementos de infraestrutura verde ao afirmarem que esse sistema de suporte da biodiversidade urbana deve ser uma rede interconectada de águas, áreas alagadas, florestas, habitats de vida selvagem, áreas naturais, *greenways* (corredores verdes), áreas de conservação, fazendas agrícolas, sítios, matas, áreas naturais e livres que dão suporte para espécies nativas e mantêm os processos ecológicos naturais, sustentam o ar, os recursos hídricos e contribuem para a saúde e a qualidade de vida das comunidades.

Para HERZOG & ROSA (2010), a infraestrutura verde na cidade consiste em redes multifuncionais de fragmentos permeáveis com a presença marcante da arborização em espaços públicos e privados interconectados que reestruturam o mosaico da paisagem.

Em comum aos conceitos acima definidos, se nota que a infraestrutura verde usa vegetação, solos e processos naturais para gerir a água e criar ambientes urbanos sustentáveis. O conceito pode ser aplicado em diferentes escalas do planejamento urbano, na escala do intraurbano a infraestrutura verde refere-se às áreas naturais que fornecem habitat, proteção contra inundações, ar mais limpo, e água potável isso na sua abordagem de proteção ambiental. Especificamente no que se refere aos sistemas de gestão de águas pluviais aponta técnicas que imitam a natureza, absorvendo e armazenando água. Em todas suas abordagens a infraestrutura verde tem por objetivo manter ou restabelecer os processos naturais e culturais que asseguram a qualidade de vida urbana (BENEDICT & McMAHON, 2006; AHERN, 2009).

Conclui-se que infraestrutura verde parte da compreensão de que as áreas livres e os espaços verdes não são apenas áreas destinadas ao serviço direto de demandas socioeconômicas, visão antropocêntrica da cidade, mas que são fundamentais para um planejamento que integre o meio antrópico e o meio natural. Assim, o planejamento da infraestrutura verde deve integrar espaços livres vegetados que vão além de funções tradicionais, como: mobilidade, estar, lazer, recreação e contemplação devem ser aproveitadas todas as oportunidades para o equilíbrio ecossistêmico. (HERZOG & ROSA, 2010).

Na realidade a manutenção da biodiversidade por meio da infraestrutura verde ocorrerá, se o ambiente urbano for planejado de forma a permitir a preservação de áreas naturais e seminaturais - habitats valiosos no contexto da diversidade biológica- e, ao mesmo tempo, promover um novo desenho urbano que crie áreas onde a estrutura básica dos ecossistemas seja restabelecida.

Os benefícios da infraestrutura verde se associam aos serviços ambientais na medida em que o aumento da amenidade visual devido à: maior presença de ambientes naturais; melhora no microclima urbano; melhora na qualidade do ar; redução do risco de enchentes; melhora na qualidade da água; redução da poluição sonora e da emissão de gás carbônico; como também no, já mencionado, aumento da biodiversidade.

No que se refere às áreas verdes urbanas, a infraestrutura verde pode proteger a biodiversidade existente, salvaguardando-a, ou pelo menos favorecendo o equilíbrio ecossistêmico, dado que a presença de árvores urbanas proporciona sombra e reduz-se a temperatura e proteção contra a radiação ultravioleta, reduz-se a velocidade do vento

local e reduz os poluentes atmosféricos e, ainda, pode reduzir o impacto de tempestades de chuva.

Todas essas considerações conceituais reforçam o entendimento de que a infraestrutura verde se constitui em relevante abordagem para o equilíbrio entre o processo de urbanização e a proteção dos serviços ambientais nos espaços urbanos. Ao mesmo tempo em que contempla a qualidade de vida dos habitantes, pode assegurar a biodiversidade urbana e os serviços ambientais que a cidade necessita para garantir o seu funcionamento.

É possível estabelecer relações entre infraestrutura verde e a manutenção da biodiversidade urbana e preservação dos serviços ambientais? A resposta é a princípio, positiva uma vez que a infraestrutura verde compreende a adoção das diferentes funcionalidades dos espaços urbanos em sintonia com os condicionantes ambientais do território. Nesse sentido, a biodiversidade urbana, serviços ambientais e infraestrutura verde – fecham um ciclo em si, pois a primeira precisa ser percebida, conjuntamente com o reconhecimento do valor dos serviços ambientais por ela prestados, que por sua vez necessitam e se beneficiam da abordagem de ordenamento territorial da infraestrutura verde para tornaras cidades **resilientes**¹³.

De modo geral, as práticas voltadas à sustentabilidade e tudo que a ela se associa contribui para alterar a resiliência do ambiente, para flexibilizar a forma como as comunidades constroem e erguem as cidades, para diminuir a pressão à própria infraestrutura tradicional existente.

Como método a infraestrutura verde, na escala regional, retoma ao método do planejamento territorial e aos princípios do planejamento ambientais urbanos defendidos por Ian Mcharg na década de 1960 que desenvolveu técnicas para desenhar com a natureza. Em todas as escalas adota a leitura do metabolismo da cidade para fazer frente aos paradigmas atuais de urbanização e debruçar um olhar para as formas que interagem com a natureza.

¹³“A resiliência é a capacidade de um sistema absorver impactos e manter suas funções ou propósitos, isto é, sobreviver ou persistir em um ambiente com variações, incertezas (...). Para que haja resiliência, é necessário que possa sofrer uma grande perturbação e tenha diversas alternativas e redundâncias, isto é, que possa sofrer uma grande perturbação e tenha como restaurar suas funções ou propósitos, passando pelos ciclos adaptativos, sem mudar de patamar” (HERZOG, 2013 p.79).

2.3 Metabolismos urbanos

As cidades necessitam de recursos naturais a serem consumidos por ela com o propósito de permitido funcionamento de seus sistemas. Muitos desses insumos são fornecidos pelos serviços ambientais como já referidos, são exemplo: água, alimentos, energia etc. O consumo desses pode impactar em maior ou menor grau o local de extração e de uso dos mesmos.

Essa superfície de impacto é chamada de **pegada ecológica** e suas consequências podem ser mensuradas de modo a avaliar a quantidade de áreas do terreno necessária para fornecer determinado estilo de vida. Para GIRARDET (1997):

A pegada ecológica é uma ferramenta muito simples para nos dizer quanta natureza temos, quanta usamos. Nós precisamos olhar para a pegada ecológica para olhar para a saúde dos serviços ecossistêmicos que suportam nossa economia. Nós podemos fazê-lo no nível global, no nível nacional, no nível municipal ou até no nível individual. (*apud* XIMENES, 2011, p. 72).

A pegada ecológica se relaciona com o metabolismo das cidades referindo-se às transformações e mudanças dos recursos naturais. Logo, entende-se que as cidades possuem transformações próprias, ou seja, metabolismo urbano que pode ser de natureza linear ou circular.

Esses termos foram definidos por Herbert Girardet no fim do século XX, para descrever as relações entre o meio natural e antrópico. Esses dois modelos – linear e circular - sintetizam a leitura do espaço urbano. Esses tipos de metabolismos podem ser utilizados para entender diferentes condições de funcionamento das cidades, mas tem nos sistemas de infraestrutura urbana um paralelo muito apropriado no qual se percebe sua lógica. Aplicando essa leitura as técnicas de drenagem têm-se o que se denomina de **drenagem tradicional** (ou cinza) e a **drenagem sustentável** (ou verde).

O **metabolismo urbano linear** agrega as abordagens características da maioria das cidades até o século XX. Nesse tipo de urbanização, os insumos são consumidos pelos centros urbanos indiscriminadamente e os seus dejetos são produzidos e emitidos sem controle em localidades outras de onde foram retirados. Assim, o metabolismo linear traduz a forma tradicional de construirmos cidades num contínuo de consumo de recursos naturais e produção de resíduos.

Tais insumos são representados pela energia elétrica - vinda de hidrelétricas (responsáveis pelo alagamento de grandes áreas e perdas significantes de fauna e floras

entre outros prejuízos), ou de termelétricas (que consome grandes quantidades de combustíveis fósseis não renováveis), pelos alimentos vindos de atividades agropecuárias e agrícolas de longas distancias para abastecer as cidades e, pôr fim, da produção de áreas decadentes que são abandonadas. Assim, tem-se que:

Na cidade, enquanto insumos, estes produtos são metabolizados, isto é, absorvidos tanto por seus habitantes quanto pelos processos produtivos como elementos imprescindíveis ao funcionamento de um núcleo urbano, que precisa consumir em prol das atividades de seus sistemas de transporte, abastecimento, industrialização, dentre outros (VENDRAMINI *et al.* 2005).

Como se vê na Figura 2, os produtos do metabolismo linear são uma infinidade de resíduos gerados pelas cidades e lançados no ar, nas águas e no solo.

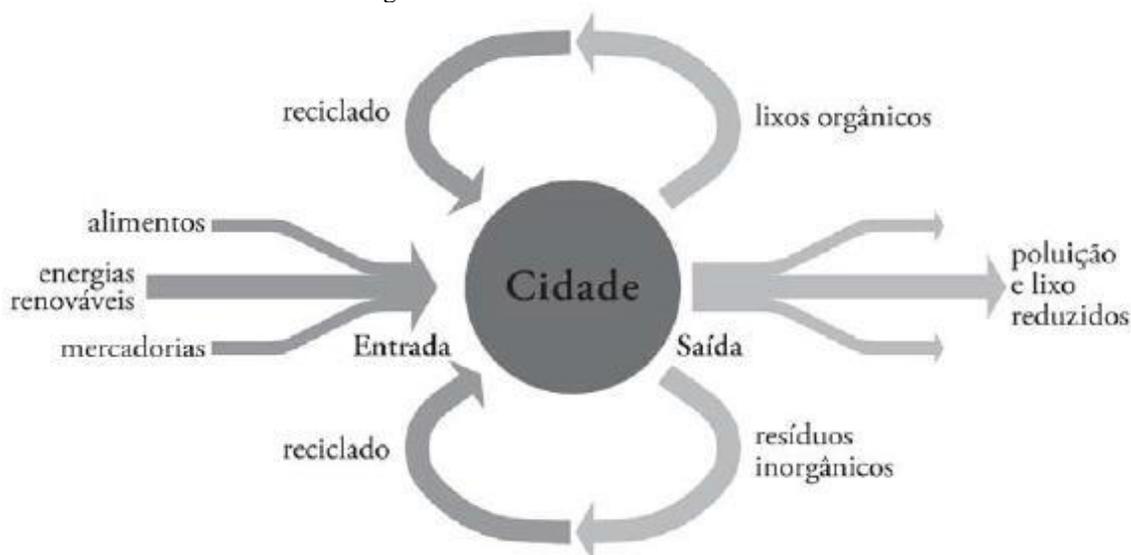
Figura 2 - Metabolismo urbano linear



Fonte: <<https://www.researchgate.net>>

Em oposição à forma tradicional se encontram o conceito de **metabolismo urbano circular**. Nesse outro tipo de metabolismo urbano – apresentado na Figura 3 - o consumo dos serviços ambientais e seus insumos são controlados – de modo a que a pegada ecológica seja reduzida. O reuso e a reciclagem é um destaque nessa concepção de urbanização.

Figura 3 - Metabolismo urbano circular



Fonte: <<https://www.researchgate.net>>

No metabolismo circular a entrada de insumos (recursos naturais) e saída de resíduos, ocorrem de modo a maximizar os processos de reaproveitamento e reciclagem com soluções que se assemelham ao comportamento natural do ambiente. A lógica da implementação de um metabolismo circular é reduzir a pegada ecológica.

Em termos urbanísticos, pode-se associar o próprio desenho das cidades que podem ser pensados para terem um papel importante na existência de um metabolismo circular. Nesse ponto, a infraestrutura verde se relaciona com metabolismo urbano, pois ela é capaz de recriar as condições do ciclo ecossistêmico ao mesmo tempo em que atende as demandas da cidade. Discutir os elementos que permitem a elaboração de intervenção com base na infraestrutura verde é o passo a ser seguido no âmbito dessa pesquisa.

2.4 Drenagem e soluções de infraestrutura verde

Para melhor entendimento das relações anteriormente referidas - sobre áreas permeáveis e seu papel na proteção na manutenção do ciclo hidrológico - é importante entendê-las como parte de uma leitura do espaço urbano que correlacionam as tradicionais soluções de infraestrutura com novas abordagens que visam alterar a lógica do metabolismo urbano linear para o circular.

Dentro dessa perspectiva, a infraestrutura verde se torna uma estratégia para a drenagem urbana pois enfatiza o metabolismo circular por meio do princípio básico da máxima infiltração no solo, ao invés do rápido escoamento promovido das técnicas tradicionais.

Na Tabela 1 apresenta as correlações entre os conceitos de biodiversidade urbana e infraestrutura verde.

Tabela 1 - Conceitos de infraestrutura verde e biodiversidade urbana

Tabela conceitual		
	Infraestrutura verde	Biodiversidade urbana
O que é?	Estrutura ecológica que assegura a saúde ambiental, social e econômica da cidade.	Variabilidade de organismos vivos no meio urbano
Estratégias	Drenagem, sistema de espaços verdes, tratamento de esgoto	Agricultura urbana e periurbana, Vegetação urbana, Áreas permeáveis, Proteção das áreas receptoras de esgotos

Fonte: Arquivo pessoal

Segundo HERZOG (2013) a infraestrutura verde busca mimetizar, em todas as escalas, a paisagem natural e seus procedimentos e podem ser resumidos em intervenções referentes a: drenagem, tratamento de esgoto e sistema de espaços verdes.

I. Drenagem

A drenagem, pensada a partir da infraestrutura verde, tem como objetivo, fazer com que os fluxos hídricos se reconectem por meio da renaturalização dos corpos d'água canalizados e da criação de áreas verdes naturalizadas. A água deve ser infiltrada no local, com a desconexão das áreas impermeáveis, detenção temporária do fluxo superficial ou retenção em prazos mais longos. Quanto mais lento for o escoamento maior será a redução do volume e carga sobre as plantas de tratamento ou nos córregos, rios, mares e oceanos (HERZOG, 2010; MOTA, 2011).

II. Tratamento de esgoto

As soluções de infraestrutura verde para o tratamento de esgoto se referem ao polimento, tratamento e purificação da água se utilizando dos ciclos e mecanismos naturais dos ecossistemas. A vegetação, o solo, os peixes, as bactérias e os micróbios presentes em zonas úmidas, várzeas, pântanos e formações lacustres funcionam como filtros que decompõem os poluentes permitindo que a água purificada seja reutilizada. (ZANELLA, 2008).

III. Sistema de espaços verdes

O conceito de infraestrutura verde considera que **espaço verde** é qualquer espaço livre onde predominam áreas com vegetação para funcionarem no equilíbrio entre a estrutura urbana construída e a natureza. A manutenção da vegetação nas cidades representa, para os grandes centros urbanos principalmente, uma melhor composição atmosférica, uma constância maior entre solo-clima e diminuição da poluição sonora. Ao mesmo tempo, do ponto de vista psicológico e social, influenciam sobre o estado de ânimo dos indivíduos, além de propiciarem ambientes para a prática de esportes, exercícios físicos e recreação.

Para colocar em prática os princípios de infraestrutura verde, nomeadamente aqueles referentes a drenagem, tratamento de esgotos e sistemas de espaços verdes se pode utilizar elementos como os resumidos na Tabela 2.

Tabela 2 - Estratégias de infraestrutura verde

Como a Infraestrutura verde promove a Biodiversidade Urbana?	
Estratégias de infraestrutura verde para promoção da biodiversidade urbana	Elementos /soluções/tipologias
Drenagem	Alagado construído, bioengenharia, biovaleta ou vala biorretentora, canteiro pluvial, hortas urbanas, interseções viárias, jardim de chuva ou pequenas bacias biorretentora, lagoa pluvial, lagoa seca ou bacia de detenção, muro vegetal, pavimentos porosos, ruas verdes, teto verde, silvicultura urbana, pavimentação permeável, trincheiras de infiltração, telhados azuis, redução das superfícies impermeáveis.
Sistema de espaços verdes	Arborização urbana, corredores ecológicos, sistema de parques e praças, teto verde.
Tratamento de esgoto	Fazer uso de zonas úmidas (várzeas, mangues, pântanos, formações lacustres), utilizar os processos de depuração dos ecossistemas naturais

Fonte: Produção da autora

Quando se considera o princípio da drenagem urbana, as soluções de infraestrutura verde se relacionam a:

- a) Alagados construídos (*wetlands*): são áreas alagadas que recebem águas pluviais, geralmente com pouca profundidade, que promovem a retenção e remoção de contaminantes.
- b) Bioengenharia ou engenharia *soft*: são estruturas de engenharia biotecnica que mimetizam a natureza por meio de técnicas ecológicas voltadas à estabilização do solo que combinam o uso de vegetação com materiais de construção

tradicionais. Servem para reforçar locais instáveis como encostas e margens. Como exemplo, pode-se destacar os gabiões vegetados, estacas vivas e muros de pedra vegetados.

- c) Biovaleta ou vala biorretentora: são valas vegetadas ou jardins lineares em cotas mais baixas que recebem a água do escoamento superficial, muitas vezes contaminadas por resíduos que são purificadas pela sedimentação. Normalmente se localizam ao longo de vias e estacionamentos. A água infiltrada é coletada e encaminhada para os cursos d'água. A biorretenção consiste em técnicas de drenagem pluvial voltadas para o uso da matriz orgânica do solo, preenchimentos inertes, manta geotêxtil e vegetação nas etapas de tratamento inicial dos escoamentos, envolvendo ainda sedimentação, filtragem, absorção e ação biológica. (HATT *et.al.*, 2009).
- d) Canteiro pluvial: são jardins de chuvas, em cotas mais baixas, que recebem as águas provenientes do escoamento superficial das áreas impermeáveis. Podem ser colocados junto do meio-fio, para receber o escoamento superficial que carrega os poluentes do leito carroçável, também podem ser compactados em pequenos espaços. Podem ser utilizados, também, no sistema de escoamento de edificações e ao redor delas.
- e) Hortas urbanas: são hortas comunitárias ou particulares que, além de resgatar a relação do cidadão com o alimento, é elemento de infraestrutura que torna as áreas verdes mais produtivas e podem promover a drenagem.
- f) Interseções viárias: são ilhas de distribuição de trânsito com áreas vegetadas em seu interior. Organizam o fluxo viário e coletam água da chuva.
- g) Lagoa pluvial (ou bacia de retenção ou bioterração): é uma lagoa cuja capacidade é superior a permanente, logo seu armazenamento total é entre o nível permanente de água e o nível de transbordamento.
- h) Lagoa seca (ou bacia de detenção): depressão - que pode ou não ser vegetada - que durante as chuvas recebe a água de escoamento superficial. Pode se localizar ao longo de vias, parques e jardins. Na época de seca pode propiciar outros usos como, por exemplo, campo de futebol.

- i) Muro vegetal: ideal para locais com pouca área verde disponível. Podem ser aplicados em muros de propriedades particulares ou comunitárias.
- j) Pavimentos porosos ou drenantes: reduz a impermeabilidade das superfícies urbanas, pois permitem a infiltração das águas da chuva. São também conhecidos como pavimentação permeável. Como exemplo, há elementos celulares de concreto que podem ser colocados sobre camadas permeáveis, geralmente bases de material granular. Este tipo de pavimentação permite, através dos espaços entre os blocos, que a água escoe e infiltre para uma camada de solo subjacente. CANHOLI (2005).
- k) Ruas verdes: são aquelas que são densamente arborizadas. Nelas a circulação de veículos pesados é restrita, sendo mais indicada para o fluxo de pedestres, ciclistas e veículos leves. Podem ser associadas à outros elementos de infraestrutura verde como: canteiros de chuva, biovaleta, etc.
- l) Teto verde: consiste em recobrir as coberturas das edificações com vegetação. Podem coletar as águas pluviais e conduzi-las para o local de armazenagem e futuro reuso.
- m) Trincheiras de infiltração: são dispositivos de controle do escoamento superficial na origem, que têm a função de coletar, armazenar e infiltrar as águas de chuva. Esse tipo de instalação visa restabelecer, em parte, a infiltração das águas pluviais, componente do ciclo hidrológico que se perde parcial ou totalmente com a urbanização da bacia hidrográfica. (MIKKELSEN e JACOBSEN, 1993).
- n) Telhados azuis: são telhados não vegetados, mas que mesmo assim retêm a água na superfície através de bandejas que, posteriormente, libertam lentamente essa água através de um dispositivo que a drena. De lá a água percorre um sistema natural de escoamento até uma área de biorretenção. Esses telhados podem ainda ajudar a reduzir a demanda de água do edifício através da reutilização da água da chuva coletada.

2.5 Manejo sustentável das águas pluviais no meio urbano

A urbanização é um processo inerente à sociedade, não deve ser evitada, porém deve-se articular seu desenvolvimento com as lógicas da natureza o que fará com que se minimize impactos negativos de tal processo. A urbanização descontrolada caracteriza-se por:

(...) ocupação de áreas sem condições adequadas, áreas impróprias (várzeas de inundação), proliferação de favelas e invasões, ocupação extensa e adensada dificultando a construção de canalizações e eliminando áreas de armazenamentos de água escoada, crescimento acelerado da disputa por recursos financeiros entre os diversos setores da administração urbana, dificuldade na aplicação de medidas para disciplinar a ocupação do solo devido a conflitos de interesses e colocação em segundo plano de políticas de médio e longo prazo. (GOMES, 2004, p.6).

No que se refere ao manejo das águas, os principais impactos negativos da urbanização são vistos por meio de alagamentos, enchentes¹⁴ a inundações¹⁵ ocasionados pelo mau funcionamento do sistema de drenagem e/ou sua inexistência. Segundo BRAGA (1994 *apud* CANHOLI, 2005, p.23):

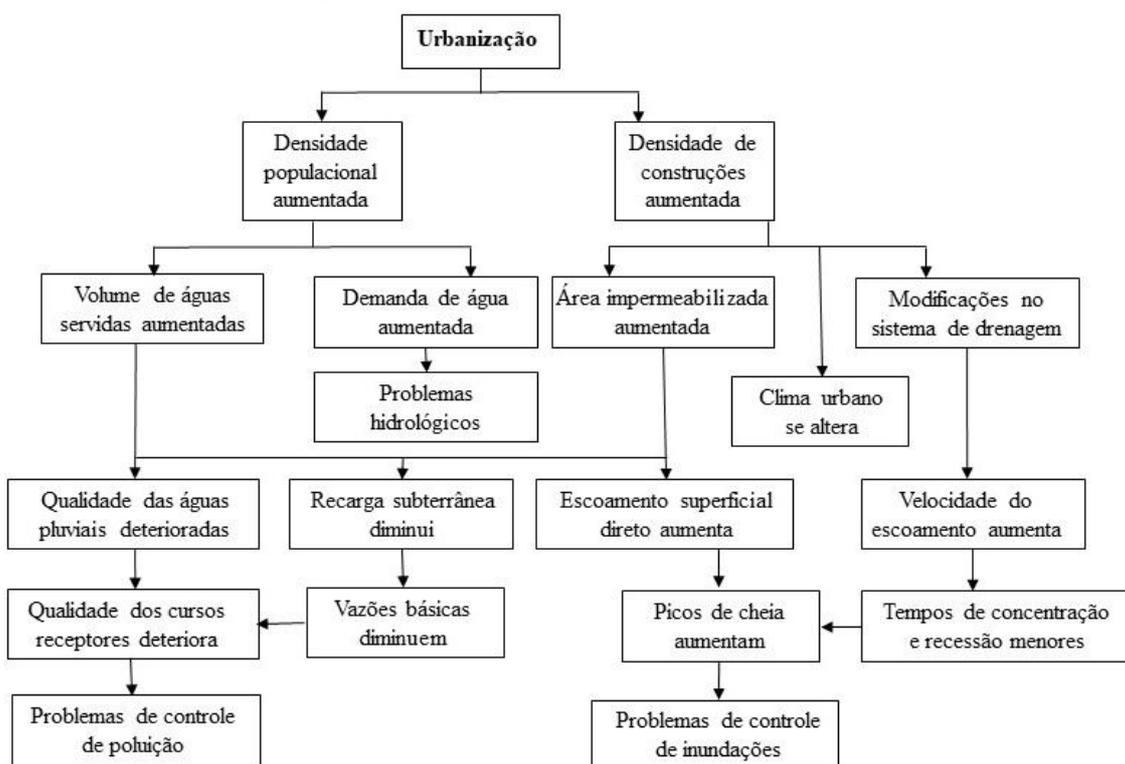
(...) a maioria dos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil, experimentou nas últimas décadas uma expansão urbana com precária infraestrutura de drenagem, advindo os problemas de inundação principalmente da rápida expansão da população urbana, do baixo nível de conscientização do problema, da inexistência de planos de longo prazo, da utilização precária de medidas não estruturais e da manutenção inadequada dos sistemas de controle de cheias.

Na Figura 4, vê-se que as relações entre o crescimento das áreas impermeabilizadas e os picos de cheias que resulta em alagamentos.

14 *“A enchente é um fenômeno natural do regime do rio, e todo rio tem sua área de inundação”* (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2006, p.8).

15 *“As inundações passam a ser um problema para o homem quando ele deixa de respeitar os limites naturais dos rios, ocupando suas áreas marginais.”* (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2006, p.8). As inundações urbanas podem ser em áreas ribeirinhas ou devido à urbanização.

Figura 4 - Processos que ocorrem numa área urbana



Fonte: HALL, 1984 *apud* GOMES, 2004, p. 6

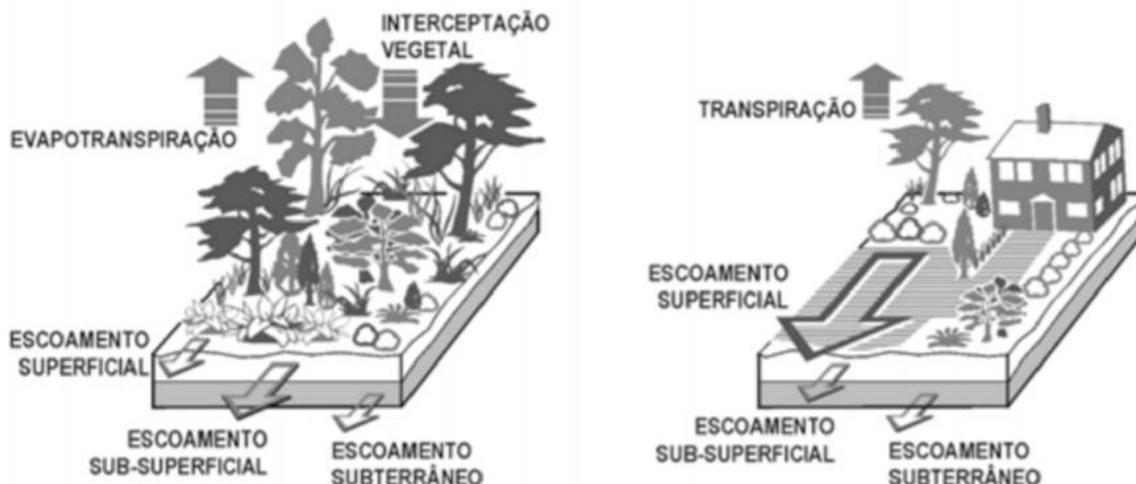
O processo de urbanização gera uma série de alterações no sistema hídrico de uma cidade e na manutenção do ciclo hidrológico natural devido a redução da cobertura vegetal e o aumento das superfícies impermeabilizadas. Os principais efeitos são:

- o aumento do escoamento superficial;
- as galerias de águas pluviais aceleram a velocidade de escoamento, têm-se, então, vazões maiores em tempos mais curtos;
- o nível do lençol freático decresce por falta de alimentação;
- ao diminuir o aporte de água para a atmosfera, em decorrência disso, a umidade do ar diminui e a temperatura aumenta.

De acordo com CHRISTOFIDIS (2010), em locais sem urbanização, cerca de 50% da água precipitada infiltra e 10% escoam superficialmente. Em contrapartida, em áreas urbanizadas a taxa de infiltração cai para 30% enquanto o escoamento superficial aumenta para 30%.

A Figura 5 mostra o impacto da urbanização no balanço hídrico. Compara as situações pré e pós-urbanização e representa os fatores que contribuem para o aumento do escoamento superficial e na diminuição da infiltração das águas pluviais.

Figura 5 - Situações pré e pós-urbanização



Fonte: ADASA, 2018, p.32

Para evitar problemas decorrentes da situação pós-urbanização é implementado o **sistema de drenagem** que é definido como:

o conjunto da infraestrutura existente em uma cidade para realizar a coleta, o transporte e o lançamento final das águas superficiais. Inclui ainda a hidrografia e os talwegues. É constituído por uma série de medidas que visam a minimizar os riscos a que estão expostas as populações, diminuindo os prejuízos causados pelas inundações e possibilitando o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e ambientalmente sustentável. (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2006, p. 8).

A drenagem urbana tradicional - infraestrutura cinza, como dito, é baseada no metabolismo linear - tem como características o rápido escoamento das precipitações, a concentração dos volumes e vazões, e o lançamento pontual dos efluentes coletados nos corpos receptores. O problema é que com as alterações do uso do solo, nem sempre planejadas, esse sistema tende a entrar em obsolescência e acarretar problemas.

Esse sistema não estabelece uma relação dinâmica com a ocupação do solo que só é considerado para o fim de cálculos de dimensionamento do sistema de dutos de escoamento. Nesse sistema, cada vez que a ocupação urbana é alterada todo o sistema entra em obsolescência requerendo atualização e ampliação, sem isso ocorrerão os alagamentos.

De acordo com ADASA (2018), o excessivo escoamento superficial das águas durante os períodos chuvosos, devido à alta impermeabilização do solo e os sistemas de

drenagem tradicionais tem como consequência a escassez hídrica que as grandes cidades passam atualmente devido ao rebaixamento de lençóis freáticos.

Esse modelo é dividido em microdrenagem e macrodrenagem - de acordo com suas dimensões – que são projetadas por trechos e, muitas vezes, sem adequada avaliação dos impactos e consequências globais.

A primeira – **microdrenagem** – capta a água do escoamento superficial por meio da malha viária de uma cidade. Entre seus principais componentes estão: as vias, sarjetas, meios-fios, bocas-de-lobo, galerias e poços de visita (PV). Já os mecanismos da **macrodrenagem** destinam-se a lançar as águas coletas na microdrenagem em seu destino final que são as águas superficiais e canais naturais como: cursos d'água, córregos, ribeirões e rios próximos ao meio urbano. Sendo assim, a macrodrenagem compreende, também, a rede de drenagem natural, existente antes da ocupação. A drenagem urbana tradicional apresenta vantagens, porém também desvantagens que estão listadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Vantagens e desvantagens do sistema de drenagem tradicional.

Vantagens e desvantagens da drenagem tradicional		
Características	Vantagens	Desvantagens
Tempo de concentração reduzido	Escoamento é veloz o que gera menos transtorno para a população urbana.	A tormenta atinge os corpos hídricos rapidamente que podem não estar preparados para receber tal volume repentinamente.
Concentração de vazões	O sistema possui uma lógica de concentração que reduz custo de dissipação, tratamento ou lançamento final.	As vazões naturais são difusas e lentas. A vazão concentrada descarrega todo o volume coletado num único ponto. Isso pode erodir margens e dificultar a recarga dos aquíferos.
Lançamentos pontuais	Prevê-se o local da dissipação de água o que facilita a manutenção.	Há o aumento do volume de água num local específico e a descarga é rápida, o que dificulta a vazão da chuva.
Redução da infiltração	Maior estabilidade dos terrenos urbanos, redução da contaminação do solo por metais pesados e poluição difusa.	Redução dos níveis dos lençóis freáticos e das vazões de estiagens dos rios, diminuição da capacidade de armazenamento de água no solo, degradação dos ecossistemas aquáticos e perda da biodiversidade.

Fonte: Produção da autora adaptado de CHRISTOFIDIS (2010).

Mesmo com o conhecimento acerca das desvantagens listadas acima, o sistema de drenagem tradicional continua a ser implementado em diversos locais do país.

A necessidade de um melhor manejo das águas urbanas decorre de uma urbanização que modifica o ciclo hidrológico devido, entre outros aspectos, à impermeabilização do solo e a alteração da cobertura vegetal com possibilidade de assoreamentos e contaminação dos cursos d'água devido a gestão ineficaz de resíduos sólidos.

Com a impermeabilização do solo, a água de chuva que infiltrava, passa a escoar pelas vias urbanas aumentando o volume do escoamento superficial. O volume, que escorria lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, passa a fluir nas superfícies impermeáveis dos sistemas de drenagens tradicionais, o que exige cada vez mais capacidade de amortecimento acarretando o aumento do diâmetro das tubulações a cada pico climático.

Em síntese os impactos da urbanização sobre o ciclo da água envolvem: assoreamento de corpos d'água, aumento da poluição dos cursos d'água, redução da disponibilidade de água para uso humano, degradação da qualidade das águas dos aquíferos, degradação dos mananciais e áreas de abastecimentos, perda da biodiversidade entre outros prejuízos.

Por outro lado, o **manejo sustentável das águas de chuva** tem como objetivo diminuir os impactos da urbanização em relação à quantidade e a qualidade da água pluvial seja por meio do aumento da infiltração e/ou redução e melhoria das águas que drenam para os cursos d'água.

A infraestrutura verde oferece diversas soluções que favorecem o metabolismo circular nas cidades. Algumas alternativas ao modelo convencional de drenagem já são estudadas na engenharia sanitária, como se pode observar:

Dentro da nova concepção de projeto de drenagem, onde se pretende não somente livrar-se o mais rápido possível da água precipitada, mas fazer com que seja controlado o desague a jusante, existem medidas alternativas de controle de enchente. Essas medidas, em geral, reúnem diferentes soluções, envolvendo equipes multidisciplinares. Dentre essas podem ser citadas as bacias de percolação, os planos, trincheiras de infiltração, os pavimentos porosos, os armazenamentos em cobertura, estacionamentos e microreservatórios e as bacias de amortecimento de cheias (GOMES, 2004, p.8).

A drenagem urbana sustentável tem como meta reduzir os impactos ambientais gerados pelo modelo tradicional por meio de soluções que visam: favorecer a infiltração da água no solo, diminuir os picos de cheia, retardar o escoamento pluvial (aumentando o tempo de concentração), reduzir a poluição nos corpos receptores, manter o ciclo hidrológico, tudo isso sem deixar de atender as necessidades dos centros urbanos.

CHRISTOFILIDIS conceitua a **drenagem urbana sustentável** como: “*o conjunto de medidas que visam a manter as condições pluviais de uma ocupação urbana próxima, ou igual, à que existia antes da sua ocupação e que permita a recuperação ambiental de ambientes anteriormente degradados*” (2010, p.73).

O mesmo autor lista como princípios norteadores da drenagem sustentável: não ampliação da cheia natural, o favorecimento o escoamento natural, a bacia hidrográfica como principal base de planejamento, medidas de controle no conjunto da bacia, o controle permanente (fiscalização e manutenção), educação ambiental e o tratamento do esgoto pluvial.

A potencialização da infiltração se associa a drenagem sustentável por utilizar uma abordagem ecológica para propiciar o retorno das águas ao solo para abastecimento dos reservatórios subterrâneos e com isso influenciar no volume dos cursos de água e mananciais de abastecimento.

As diferenças, numa perspectiva apenas funcional da cidade, é que a drenagem tradicional acredita ser possível a solução por escoamento e não considera o fato de que diferentes formas de ocupação do solo podem ser utilizadas para potencializar a infiltração e reduzir o escoamento. A drenagem sustentável por sua vez, não visa solucionar tudo por infiltração, mas potencializá-la ao máximo para reduzir a necessidade de dutos ou tornar um sistema tradicional que se tornou obsoleto em eficaz novamente sem maiores investimentos em ampliação constante do mesmo.

No que se refere a drenagem sustentável as técnicas mais difundidas que permitem esse ajuste do escoamento superficial gerado pela impermeabilização do solo urbano foram desenvolvidas na década de 1980 pela Agência de Proteção Ambiental Americana - US-EPA e são conhecidas pelo nome de **Low Impact Development (LID)**. As práticas de LID podem ser adotadas tanto em novas urbanizações quanto em áreas a serem urbanizadas proporcionam benefícios ambientais, entre eles: redução no número de eventos de enchentes e alagamentos seus prejuízos, restauração do habitat aquático, melhoria na recarga dos aquíferos e embelezamento a paisagem urbana. Além disso, LID proporciona vantagens econômicas já que os custos de manutenção em longo prazo são normalmente menores.

Adotar técnicas de LID associadas às estratégias de infraestrutura verde pode resultar em soluções que garantam que as outras funções urbanas não serão afetadas com as

soluções de drenagem. Afinal, o que se deseja não é apenas uma drenagem sustentável, mas uma cidade sustentável.

Dentre as estratégias de gestão sustentável das águas pluviais urbanas se destacam o papel das áreas verdes da cidade que se forem pensados obedecendo aos mecanismos naturais de escoamento permitindo a infiltração das águas pluviais o equilíbrio do ciclo da água teria mais chances de ocorrer deixando para sistema de canalizações apenas o que fosse excedente.

Com isso, espaços ajardinados – objetos de atuação do paisagista – ganham razão ecossistêmica e funcional, além da estética e recreação (já tão conhecidas e disseminadas pelos modernistas). Sobre essa relação, entre drenagem sustentável e paisagismo, tem- que:

A utilização da reservação em drenagem urbana transformou-se em um conceito multidisciplinar. O aspecto paisagístico adquire fundamental importância, principalmente na viabilização social dessas obras. A aceitação pela comunidade de tal tipo de obra guarda estreita relação com o sucesso de implantação, nesses locais, de áreas verdes e de lazer. (CANHOLI, 2005, p.54).

O objetivo é que a área urbanizada tenha um comportamento aproximado às condições hidrológicas do ambiente natural, com maior tempo de detenção do escoamento pluvial, maior infiltração e recarga dos aquíferos, menor escoamento superficial, menores níveis de erosão e de poluição das águas e, conseqüentemente, menores impactos negativos.

De forma sintética os principais objetivos do manejo sustentável das águas pluviais são: melhorar a qualidade das águas (remover poluentes), desacelerar e/ou reter o fluxo do escoamento das águas da chuva, controlar enchentes, conter erosão e sedimentação, embelezar a paisagem, promover a biodiversidade e minimizar os impactos negativos hidrológicos nas cidades.

O sistema de drenagem urbano consiste num sistema híbrido que combina a drenagem natural – por meio de corpos d'água remanescentes (rios, alagados, etc) – e a rede de drenagem construída – com áreas de acumulação e estoque de águas. Para se planejar e projetar a infraestrutura verde, todos os fluxos de água existentes devem ser mapeados, a fim de que se possa analisar por onde eles circulam e como se acumulam na paisagem em diferentes escalas. (HERZOG, 2013, p.118).

O planejamento da ocupação do solo urbano e de suas infraestruturas sobre bases sustentáveis permite antecipar e avaliar os impactos das intervenções sobre abacia hidrográfica, em substituição as técnicas tradicionais, que impedem as interações da dinâmica dos processos socioambientais. Uma implantação urbana com menor impacto

negativo gera menor custo financeiro e ambiental, presentes e futuros, garantindo um meio ambiente equilibrado com qualidade de vida a população.

AHREM (2007. p. 132) destaca o papel da infraestrutura verde para novas soluções de drenagem urbana argumentando sobre o seu potencial para promoção do equilíbrio do ciclo da água nas cidades ao afirmar: *“a infraestrutura verde é uma abordagem emergente de planejamento e projeto que possui aplicação no equilíbrio da rede híbrida e de drenagem, completando as redes existentes com soluções nas áreas verdes que devem explorar suas funções ecológicas”*.

Para atingir os objetivos da drenagem sustentável, a infraestrutura verde possui cinco principais funções do manejo das águas pluviais que são: purificação, detenção, retenção, condução e infiltração.

- A purificação das águas pluviais escoadas acontece naturalmente por meio da: sedimentação, filtração e absorção. Todas as tipologias de infraestrutura verde favorecem a purificação, desde os alagados construídos até os tetos verdes.
- A detenção desacelera o fluxo das águas pluviais e, conseqüentemente, não sobrecarrega a drenagem. Sua principal função é retardar o escoamento. Entre as estratégias de infraestrutura verde que favorecem a detenção tem-se: biovaletas, canteiros pluviais, lagoas secas, muros vegetais, interseções viárias, pavimentos porosos, ruas verdes e os tetos verdes.
- A retenção é o ato de acumular e reter a água por um período (em bacias ou lagoas) para ser utilizada e, posteriormente, lançada para o sistema de drenagem ou corpos d'água. Entre as soluções de infraestrutura que favorecem a retenção, têm-se os alagados construídos e as lagoas pluviais.
- A condução é o modo como a água pluvial é deslocada e transportada do seu ponto inicial (onde choveu) até o seu ponto de descarga final. As biovaletas e as ruas verdes são os elementos que favorecerem a condução das águas.
- A infiltração é o processo no qual a água penetra no solo e recarrega os lençóis freáticos e aquíferos e sofre a ação da purificação. Entre as estratégias de infraestrutura verde promotora da infiltração tem-se: alagados construídos, canteiros pluviais, hortas urbanas, interseções viárias, jardins de chuva, lagoas pluviais, lagoas secas, pavimentos porosos, e ruas verdes.

Tais princípios e seus elementos espaciais são menos onerosos e de menor impacto sobre o meio físico se comparados às soluções de infraestrutura cinza, além de gerarem muitos outros benefícios ambientais. Entretanto, a eficácia dessas soluções frente ao tamanho dos problemas instalados nas cidades deve ser analisada antes de advogar uma substituição dos sistemas de drenagem tradicionais. No âmbito dos conceitos o caminho para uma gestão sustentável da drenagem estaria em encontrar num equilíbrio entre a utilização de soluções de infraestrutura verde e tradicionais.

Dentre as soluções para drenagem urbana sustentável o sistema de *Low Impact Development* (LID), já referido, se refere ao sistema e práticas que utilizam e imitam os processos naturais que resultam na infiltração, evapotranspiração ou uso de águas pluviais, a fim de proteger a qualidade da água e o habitat aquático associado.

As LIDs constituem técnicas, hoje, já testadas e incluem, a exemplo da infraestrutura verde, diversas práticas que mimetizam ou preservam os processos de drenagem natural no manejo de águas pluviais. Tais técnicas retêm as águas de chuva e incentivam a infiltração no solo reduzindo o escoamento para condutos do sistema de drenagem tradicional que, também, fazem parte da solução por elas concebida.

O controle na fonte é realizado por dispositivos que, instalados no sistema de drenagem, têm como função abater vazões e volumes de escoamento superficial através da infiltração e/ou armazenamento temporário.

As práticas de LIDs podem ser adotadas tanto em novas urbanizações quanto em áreas já urbanizadas proporcionam benefícios ambientais, entre eles: redução no número de eventos de enchentes e alagamentos seus prejuízos, restauração do habitat aquático, melhoria na recarga dos aquíferos e embelezamento a paisagem urbana. Além disso, as LIDs proporcionam vantagens econômicas já que os custos de manutenção em longo prazo são normalmente menores.

A pesquisa visa analisar a viabilidade de utilização dos princípios da drenagem sustentável por meio da modelagem de um caso real onde se avalia a aplicação de LIDs ajustados com técnicas de infraestrutura verde que considerem além da solução de drenagem as demais funções urbanas.

2.6 O manejo do sistema de áreas verdes para promoção da drenagem sustentável

Do ponto de vista conceitual a discussão sobre as relações entre o equilíbrio solo-clima-vegetação que é essencial para que as áreas verdes exerçam seu papel ecossistêmico de regulação propositado a fácil infiltração. Essa relação para favorecer a drenagem deve mantêm a permeabilidade e a fertilidade do solo para permitir a infiltração e manter o balanço hídrico.

Sugue assim o desafio de compreender como criar espaços livres e verdes que realmente favoreçam o fluxo natural do ciclo hidrológico.

Para os pesquisadores – citados a seguir- a infraestrutura verde pode usar o sistema de espaços livre/verdes para exercer o papel paisagístico de recriar paisagens e espaços de reação para a população, atender as necessidades funcionais ao urbanismo e favorecer o equilíbrio ecossistêmico.

Existe uma grande variabilidade de soluções de infraestrutura verde que conectam o sistema de áreas verdes a drenagem urbana. Alguns elementos são explicados na sequência.

Os **corredores verdes**, ou *greenways*, são definidos como: “*estruturas lineares da paisagem que diferem das unidades vizinhas e que ligam pelo menos dois fragmentos de ecossistemas*” (FERNANDES *et al.* 2003, p.8). Os corredores são caracterizados por:

- Facilitar fluxos hídricos e biológicos na paisagem;
- Reduzir os riscos de extinção de flora e fauna por favorecer as recolonizações;
- Atuar como suplemento de habitat na paisagem;
- Refúgio para a fauna quando ocorrem perturbações;
- Facilitar a não propagação de algumas perturbações, tais como o fogo ou certas doenças.

Os **Stepping stones** são: “*pequenas áreas de habitat dispersas que facilitam o movimento das espécies em uma determinada paisagem, possibilitando um aumento na taxa de recolonização dos habitats favorecendo a chegada de animais e sementes*” (FERNANDES *et al.* 2003, p.8).

Para conectar os *stepping stones* dispersos na malha urbana pode-se utilizar corredores ecológicos reflorestados com vegetação nativa a fim de garantir o fluxo gênico e o equilíbrio ecológico no ambiente urbano. A conexão entre esses espaços pode, também, ser utilizados como parques lineares¹⁶ e fornecer lazer à população. Além de parques, os corredores, também, podem ser constituídos por: ruas arborizadas, faixas de preservação nos cursos d'água e faixas de servidão de linhas de transmissão de energia etc.

Outro elemento do sistema de espaços verdes que favorecem a biodiversidade e a manutenção do ciclo da água são os **alagados construídos**, ou *construted wetland*. Esses elementos se baseiam nas áreas encharcadas naturalmente e são espaços nos quais os níveis de água subterrânea afloram formando uma área de solo saturado com vegetação aquática específica. São exemplos de *wetlands* naturais: brejos, pântanos, lagos superficiais etc.

Uma característica típica destas áreas é o alto teor de matéria orgânica acumulada no solo e nos sedimentos, dada a grande produtividade do sistema. As macrófitas aquáticas são as principais responsáveis pela produção de matéria orgânica, tornando-se uma fonte de alimento importante para uma série de animais. Além disso, outro fator relevante deve-se à capacidade deste tipo de vegetação de absorver nitrogênio, fósforo, metais pesados, bactérias e outros materiais contaminantes, o que faz com que tenham um grande valor como depurador natural, sendo ainda capazes de regularizar os fluxos d'água, amortecer enchentes e controlar a erosão. (FERNANDES *et al.* 2003, p.10).

Os principais objetivos dos alagados construídos são: a melhoria da qualidade da água (pela remoção de sedimentos, nutrientes, cargas orgânicas) podendo ser utilizado, também, para o controle de cheias sendo parte do sistema de drenagem urbana. Dentre suas características se destacam o uso de vegetação aquática que aumenta a sua eficiência e permite a construção de um espaço esteticamente atraente.

De acordo com HERZOG (2013) as soluções de infraestrutura verde, de modo geral, resolvem mais de um problema. Assim, para beneficiar o sistema hidrológico a infraestrutura ecológica propõe a transformação, ou retrofit, das áreas impermeabilizadas (monofuncionais) em áreas com múltiplos usos que:

(...) mantêm o equilíbrio dinâmico, sustentável e resiliente do ecossistema urbano com a “reutilização” ou “desimpermeabilização” das superfícies mineralizadoras (concreto, asfalto, cimento, cerâmicas, pedras, telhas, etc.). O objetivo é reintroduzir ou incrementar a biodiversidade urbana, para que seja possível ter seus serviços

¹⁶ São faixas destinadas ao lazer e à prática de esportes. Devem contar com equipamentos esportivos e recreativos como quadras, playgrounds, ciclovias, etc.

ecossistêmicos onde as pessoas vivem, circulam, trabalham e se divertem: nas cidades. (HERZOG, 2013, p. 110).

Para exemplificar as soluções de infraestrutura verde que tem sido utilizada com mais frequência para favorecer a drenagem é descrito na Tabela 4 vários elementos, funções e atributos de soluções que podem ser adotadas no meio urbano. Com esse quadro é possível, diante da problemática colocada pelo estudo de caso, aplicar as mais adequadas técnicas para a área a ser analisada.

Tabela 4 - Síntese dos elementos de infraestrutura verde que favorecerem a drenagem

Componentes da infraestrutura verde	Função	Elemento	Atributos
Áreas verdes	Manter a permeabilidade e fertilidade do solo, diminuir o escoamento superficial	Praças, parques urbanos, jardins públicos, canteiros	Predomínio de vegetação
Corredores verdes (<i>greenways</i>)	Facilitar fluxos hídricos e biológicos, reduzir risco de extinção local, favorecer a recolonização. São refúgios para fauna, facilitam a propagação de perturbações.	Parques lineares, ruas arborizadas, faixas de preservação nos cursos d'água, faixas de servidão de linhas de transmissão de energia	Estruturas lineares da paisagem que diferem das unidades vizinhas e ligam ao menos dois fragmentos de ecossistemas
<i>Steppingstones</i>	Facilitar o movimento das espécies na paisagem, aumentar a taxa de recolonização dos habitats, favorecer a chegada de animais e sementes, garantir o fluxo gênico	Praças, parques urbanos, jardins públicos	Pequenas áreas de habitat dispersas pela matriz. Podem ser conectados pelos corredores ecológicos
Alagados construídos (<i>constructed wetlands</i>)	Aumentar área de filtragem e a superfície de contato, estabilizar o meio de suporte, aumentar a diversidade, densidade e atividade biológica, absorver nutrientes, aumentar condutividade hidráulica, reduzir a colmatação, representar a beleza paisagística, melhorar a qualidade da água e controlar cheias.	Lagos e lagoas, bacias de retenção	áreas encharcadas ou de acumulação de águas pluviais com vegetação aquática
Telhados verdes	Permitir a gestão racional de água, reduzir ilhas de calor, contribuir para eficiência energética, criar habitat para vida silvestre	Tetos construídos com uma camada de isolamento, uma membrana impermeável, uma camada de meio crescimento	telhados cobertos de plantas que permitem a gestão das águas pluviais

Bioengenharias ou engenharia <i>soft</i>	Reforçar locais instáveis como encostas e margens	Gabiões vegetados, estacas vivas, muros de pedra vegetados	Estrutura de engenharia biotécnica que mimetizam a natureza por meio de técnicas ecológicas voltadas à estabilização do solo que combinam o uso da vegetação com materiais tradicionais
--	---	--	---

Fonte: Produção da autora

Para ampliar a discussão entre espaços verdes urbanos e sua potencialidade de promover infiltração, é relevante enfatizar que para atingir os objetivos da infraestrutura verde se faz necessário que a rede de espaços verdes urbanos seja planejada para a promoção dos benefícios sinérgicos¹⁷ que demandamos serviços ecossistêmicos urbanos. Contudo, para que esses benefícios aos seres humanos decorrentes dos ecossistemas aconteçam de fato não é suficiente que sejam implantados os componentes de infraestrutura verde supracitados eles demandam certa preparação do solo.

Pesquisas constatam (AMARAL, 2015) que as áreas verdes urbanas devem possuir características específicas para que a funcionalidade ambiental seja alcançada e mantida. Entre os principais aspectos que proporcionam tal funcionalidade é o sequestro de carbono (C). Esse é o processo de remoção do gás carbônico (CO₂), no qual os organismos por meio da fotossíntese capturam o CO₂ e lançam oxigênio (O₂) na atmosfera. No solo o acúmulo gradual e lento da deterioração do material orgânico promove o acúmulo do carbono que age como sequestrador. Parte desta aglomeração é transformada em substâncias húmicas que representam o estoque de carbono no solo. A presença de tais substâncias assegura os serviços ecossistêmicos, entre eles a infiltração.

A matéria orgânica húmica aumenta a fertilidade do solo e favorece o sequestro de carbono e o crescimento das plantas. Promove também a agregação e equilibra a porosidade do solo, o que resulta em melhor crescimento vegetal, controle da erosão e maior drenagem, com consequente manutenção dos aquíferos. (AMARAL *et al.* 2017 p.164).

Os resíduos de plantas (folhas, galhos, frutos, etc) que caem sobre o solo são gradualmente alterados por interações entre afaunado solo e microrganismos formando húmus. Essa camada superficial formada pela deposição e acúmulo de matéria orgânica morta em diferentes estágios de decomposição que reveste a superfície do solo em

¹⁷Efeito ativo e retroativo do trabalho ou esforço coordenado de vários subsistemas na realização de uma tarefa complexa ou função.

ecossistemas terrestres é denominada **serrapilheira**. Sobre a formação da camada de serrapilheira sobre o solo tem-se que: “*A formação e estabilização dessa camada é condição si ne que non para o eficiente sequestro de carbono na área, instalação do ciclo paralelo de nutrientes, fluxo vertical de energia e matéria e o provimento de serviços ecossistêmicos florestais*” (AMARAL, 2015, p. 131).

Para que ocorra a formação de serrapilheira do modo eficaz, é necessária a presença do estrato arbóreo característico das florestas urbanas¹⁸. Isso porque a presença exclusiva do estrato arbustivo e das forrações não é capaz de promover uma camada perene de serrapilheira sobre o solo, suficiente para assegurar o sequestro de carbono e manter o equilíbrio ambiental.

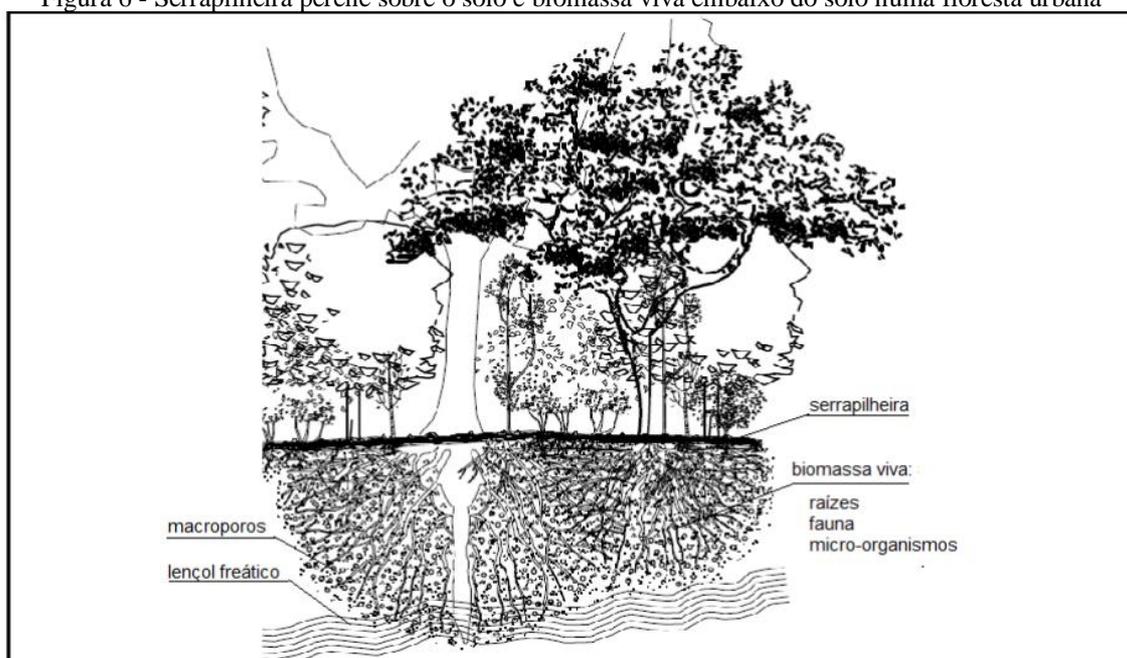
Essa camada, de acordo com os levantamentos, seria composta com os mais variados tipos de detritos vegetais com predominância dos lenhosos - decorrentes da decomposição das folhas, galhos e troncos das árvores. Essa predominância é importante para a formação mais significativa de ácidos húmicos e húmicos. Cabe frisar que a serrapilheira é um importante isolante térmico do solo que, ao mesmo tempo, protege a umidade das substâncias húmicas, retém considerável proporção de água, diminuindo a evaporação da água do solo. (AMARAL, 2015, p. 132).

A concentração de diversas árvores numa floresta urbana cria, simultaneamente, uma biomassa viva abaixo do solo. Essa é composta por raízes, fungos, bactérias e outros que ajudam na produção dos serviços ecossistêmicos. A existência dessa biomassa está intimamente ligada à presença da camada de serrapilheira perene acima do solo.

A Figura 6 representa um trecho de floresta urbana composta por: diversas espécies arbóreas (de portes variados) próximas entre si, juntamente com arbustos, o solo tomado por uma camada de serrapilheira, e a biomassa viva embaixo do solo. Todos esses elementos coexistem de modo dependente um do outro.

18 “*Pode-se entender como ‘floresta urbana’ a soma de toda vegetação arbórea a ela associada, existente em assentamentos urbanos ou a eles circundantes. Tanto oriunda de intervenções paisagísticas quanto dos processos de sucessão vegetal, inclui a vegetação ao longo de ruas e em parques urbanos; em áreas abandonadas ou no interior dos lotes; em manchas florestais remanescentes ou em áreas de reflorestamento. Trata-se de elemento dinâmico que, conforme os critérios e fases de desenvolvimento da paisagem urbana, apresenta significativa diversidade de espécies sob os mais variados impactos – positivos ou negativos*” (AMARAL; COSTA; MUZZI; 2017 p.164).

Figura 6 - Serrapilheira perene sobre o solo e biomassa viva embaixo do solo numa floresta urbana



Fonte: AMARAL, 2015, p. 134

Além disso, o estrato arbóreo apresenta outra característica que favorece a drenagem que é a descompactação do solo por meio de seu vasto sistema radicular que o torna permeável.

A presença do estrato arbustivo nessa dinâmica descrita faz com que as águas pluviais desacelerem o que reduz o escoamento superficial. Ambos os comportamentos contemplam a ideia de drenagem verde.

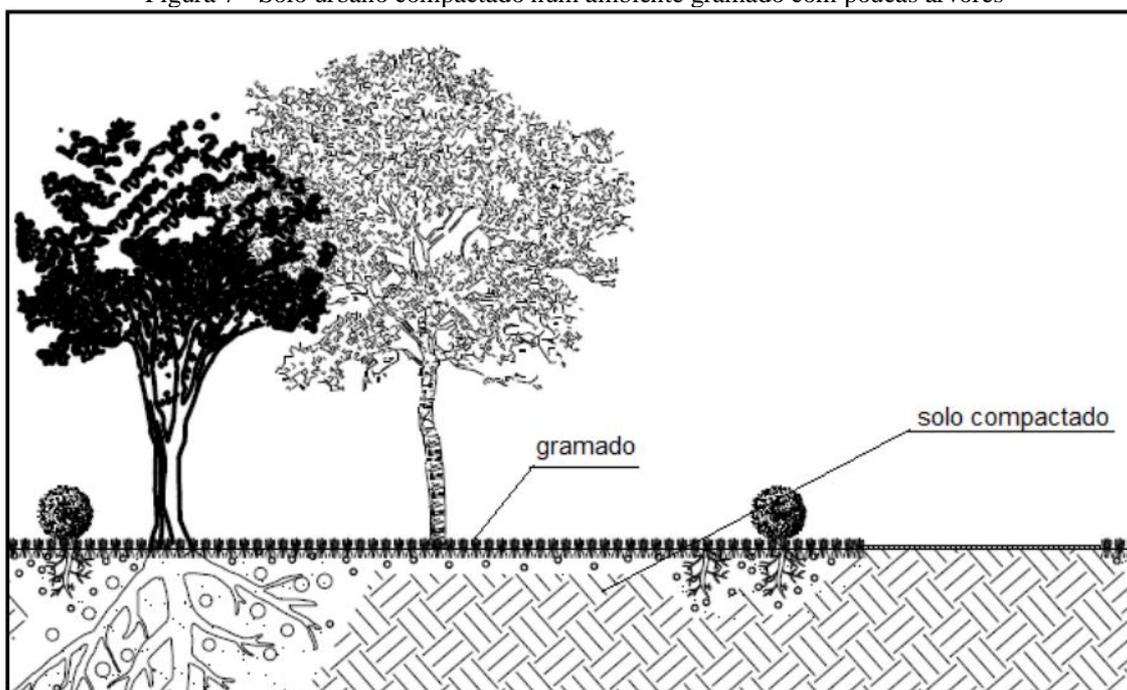
Por sua vez, como a área apresenta indícios de que tanto o ciclo de carbono, quanto o paralelo de nutrientes encontram-se implantados, espera-se a ocorrência significativa de micro e macroporos no solo. Esses atributos, relacionados ao sequestro de carbono nas formas mais estáveis é responsável pelo serviço ecossistêmico de drenagem. O solo se torna aerado, permitindo a absorção das águas das chuvas, contribuindo para a manutenção do nível dos lençóis freáticos. Quanto maior e mais estável o sequestro de carbono pelo solo, maior sua permeabilidade e capacidade de infiltração de água. (AMARAL, 2015, p.134).

Essa condição pode explicar por que as áreas verdes de Brasília não contribuem para infiltração que levaria a maior eficiência da drenagem. Isso ocorre porque tais espaços da Capital são caracterizados, majoritariamente, por árvores espaçadas entre si e vastos gramados. A presença desses espaços não proporciona a serrapilheira e nem a biomassa viva no solo, mesmo que possuam algum tipo de vegetação. Somado a isso, é sabido que o sistema radicular das gramíneas é superficial. Logo, não permite que o substrato se torne aerado, o que facilitaria a infiltração.

Ao mesmo tempo, deve-se considerar que o acúmulo de serrapilheira sem a manutenção adequada pode acarretar problemas como o entupimento de boca-de-lobo.

Por essas razões os gramados da capital são áreas com solo compactado e impermeável. Neles as águas pluviais pouco infiltram e escoam superficialmente o que configura precariedade da drenagem do solo na área. Na Figura 7 observa-se a ausência da serrapilheira e da biomassa viva o que leva a compactação do solo dada a pouca presença do sistema radicular vegetal.

Figura 7 - Solo urbano compactado num ambiente gramado com poucas árvores



Fonte: AMARAL, 2015, p. 137

Concluimos que os atributos paisagísticos que possibilitam o funcionamento ambiental é a presença do estrato arbóreo abundante com papel de destaque para a serrapilheira.

Assim, infere-se que os componentes de infraestrutura verde discriminados no item anterior (*wetlands*, corredores verdes, biovaletas, etc) se tornarão, ainda, mais eficazes se forem construídos com um manejo do solo como aqui descrito.

Lucio Costa, mesmo que sem a intenção, estava correto ao estabelecer que as superquadras de Brasília deveriam ser envolvidas por um maciço arbóreo, visto os benefícios descritos anteriormente. Uma diretriz de manejo paisagístico que facilmente pode ser implementada é deixar que as folhas das árvores das superquadras permaneçam sobre o solo. Assim, com o passar tempo haverá a formação da serrapilheira que favorecerá a infiltração, ver Figura 8.

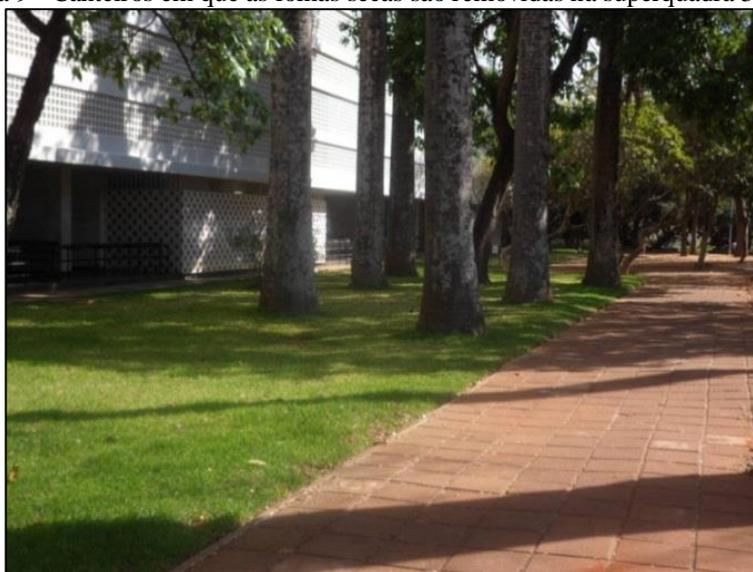
Figura 8 - Folhas secas nos canteiros da superquadra 408 Norte



Fonte: arquivo pessoal

Há, em contrapartida, uma visão de `limpeza urbana` na qual a serrapilheira é removida das superquadras como ilustrado na Figura 9. Como visto a prática é desfavorável do ponto de vista ecossistêmico.

Figura 9 - Canteiros em que as folhas secas são removidas na superquadra 308 Sul.



Fonte: arquivo pessoal

Além de favorecer a drenagem a serrapilheira é um modo de adubação natural. Boa parte do solo da região de Brasília é pouco fértil. Muitas vezes, para aumentar a capacidade de produção vegetal se utiliza diversos tipos de adubos, inclusive os químicos. O uso destes aditivos pode ser reduzido ou até eliminado por meio de adubação natural. *“Em sua maioria, os solos de Cerradão são profundos, bem*

drenados, de média e baixa fertilidade, ligeiramente ácidos, pertencentes às classes Latossolos Vermelho ou Latossolos Vermelho-amarelo” (EMBRAPA, 2008, p.172).

Outro fato que torna os gramados desfavoráveis para a drenagem - ou pouco permeáveis - é o fato de eles serem convexos. Esse formato faz com que as águas pluviais escoem rapidamente o que dificulta sua infiltração. Uma solução simples e viável é torná-los côncavos, pois assim as águas advindas das precipitações ficariam retidas por mais tempo permitindo sua absorção pelo solo.

Após essas reflexões, é possível enunciar diretrizes paisagísticas para melhorar os serviços ambientais urbanos. Elas são citadas a seguir:

- Acréscimo de árvores;
- Preservação de árvores mais antigas, evitando ao máximo a supressão de exemplares;
- Formação de camada de serrapilheira sob as árvores (condição sinequa non para a introdução plena do ciclo de carbono e do paralelo de nutrientes nessas áreas);
- Introdução de plantas da família das leguminosas, procurando evitar a utilização de adubos químicos (medida importante para a melhoria da fertilidade dos trechos de floresta urbana).(AMARAL; COSTA; MUZZI; 2017 p.164).

2.7 Síntese do Capítulo

Esta seção do trabalho fez uma avaliação sobre diversas pesquisas que tratam de temas inter-relacionados que tratam de condições que favorecem a infiltração nas áreas urbanas e sobre o papel das áreas verdes nesse contexto. Houve, também, a explicação dos danos causados pela urbanização e a infraestrutura tradicional na manutenção do ciclo hidrológico. Essas referências visaram complementar o entendimento da problemática enunciada na introdução.

Como síntese, se destaca que o conceito de infraestrutura verde associado ao tratamento paisagístico adequado (manejo adequado do solo como a formação de serrapilheira) e, ainda, aliado as técnicas de drenagem compensatórias (LIDs) podem se constituir em soluções adequadas para responder às necessidades de redesenho e gestão de áreas verdes urbanas voltadas à promoção de drenagem sustentável.

A infraestrutura verde, assim como o uso de LID se mostra estratégia para a drenagem urbana por enfatizar o metabolismo circular por meio do princípio básico da máxima infiltração ao invés do máximo escoamento das técnicas tradicionais. Assim, após essa revisão de literatura, tem-se os fundamentos necessários para embasar essa pesquisa visando o metabolismo urbano circular.

3 ESTUDO DE CASO: ALAGAMENTOS URBANOS NO PLANO PILOTO DE BRASÍLIA

Esse capítulo discute os problemas dos alagamentos urbanos no Plano Piloto de Brasília e as possibilidades de soluções a serem testadas no capítulo seguinte. Para tanto, trata da descrição das bacias hídricas do Distrito Federal e da urbanização de Brasília e descreve e avalia o sistema de drenagem existente e os projetos de sua expansão. Apresenta a descrição da paisagem urbana do Plano Piloto e seu paisagismo e discute as potencialidades para inserção de elementos de infraestrutura verde e técnicas compensatórias de drenagem como solução para problemas de alagamentos. Em síntese, o intuito é entender os problemas da rede de drenagem atual e pensar em soluções de drenagem sustentável para os mesmos em consonância com a paisagem tombada da capital.

3.1 Águas urbanas em Brasília

No contexto da pesquisa é fundamental entender a inserção da bacia do Paranoá receptora das águas de drenagem do Plano Piloto dentro do quadro hidrográfico do DF, bem como, o sistema de áreas verdes da capital. A intenção é ter embasamento de como é possível aliar a infraestrutura verde em prol do metabolismo urbano circular.

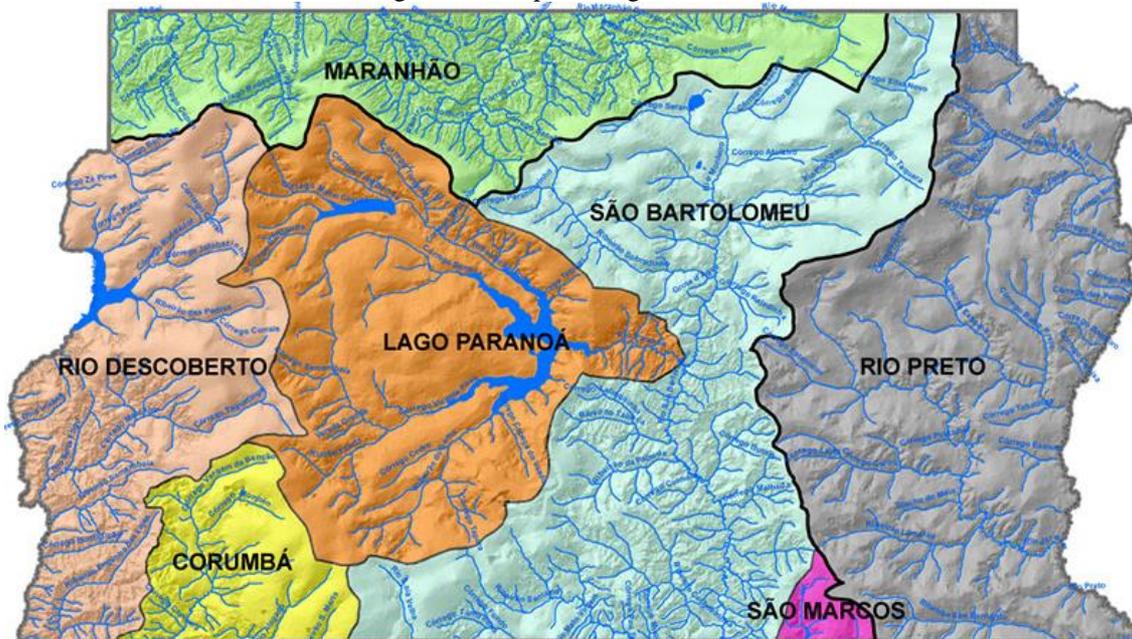
O Distrito Federal está situado numa região de terras altas que servem como dispersores das drenagens que fluem para três importantes bacias fluviais do Brasil: Paraná, Araguaia-Tocantins e São Francisco¹⁹.

Nos limites do DF, essas se subdividem em 7 bacias hidrográficas – descritas a seguir: a Bacia do Rio Maranhão (pertencente à Região Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia), a Bacia do Rio Preto (pertencente à Região Hidrográfica do Rio São Francisco), a Bacia do Lago Paranoá (pertencente à Região Hidrográfica do Rio

¹⁹ De acordo com o Instituto Brasília Ambiental (IBRAM), apesar da grande quantidade de nascentes e em sua superfície plana, os rios do DF são pequenos e não tem grande volume de água. O DF tem a terceira pior disponibilidade de água do país ficando atrás apenas de Pernambuco e da Paraíba.

Paraná), a Bacia do Rio Corumbá (pertencente à Região Hidrográfica do Rio Paraná), a Bacia do Rio São Marcos (pertencente à Região Hidrográfica do Rio Paraná), a Bacia do Rio São Bartolomeu (pertencente à Região Hidrográfica do Rio Paraná), e a Bacia do Rio Descoberto (pertencente à Região Hidrográfica do Rio Paraná). Figura 10.

Figura 10 - Mapa Hidrográfico do DF



Fonte: <<http://priscillabagano.com.br/adasa/>>

No que tange a urbanização do território do DF essa se inicia com a implantação de Brasília que foi resultado de um Concurso Nacional de Urbanismo para instalação da Nova Capital do Brasil. O vencedor, entre outros vinte e cinco candidatos, foi Lúcio Costa com o projeto urbanístico de Plano Piloto para Brasília.

Tal projeto foi implantado e inaugurado em 1960 e, posteriormente, tombado em 1987 pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) como Patrimônio Histórico e Cultural da Humanidade, sendo o único monumento arquitetônico com menos de cem anos a receber este título. Devido ao seu conjunto urbanístico e arquitetônico, Brasília possui a maior área tombada do mundo: 112,5 quilômetros quadrados. Assim, a área de estudo, Brasília, é uma parte do Distrito Federal que possui cerca de 5800 km² e mais 31 regiões administrativas cada uma com suas cidades.

O Plano Piloto de Brasília, denominação da área do projeto urbanístico da cidade é composto pela Asa Norte, Asa Sul, Setor Militar Urbano, Setor de Clubes, Setor de Garagens e Oficinas, Setor de Indústrias Gráficas, Área de Camping, Eixo Monumental,

Esplanada dos Ministérios (onde se localizam os três poderes da República: Executivo, Legislativo e Judiciário), Setor de Embaixadas Sul e Norte, Vila Planalto, Granja do Torto, Vila Telebrasília, Setor de áreas Isoladas Norte, Cruzeiro, do Sudoeste/Octogonal e da Candangolândia. Em outra denominação legal dada pelo decreto 10.829/87, os limites do Plano Piloto são definidos pelo lago Paranoá, a leste; pelo córrego Vicente Pires, ao sul; pela Estrada Parque Indústria e Abastecimento (EPIA), ao oeste; e pelo córrego Bananal, ao norte.

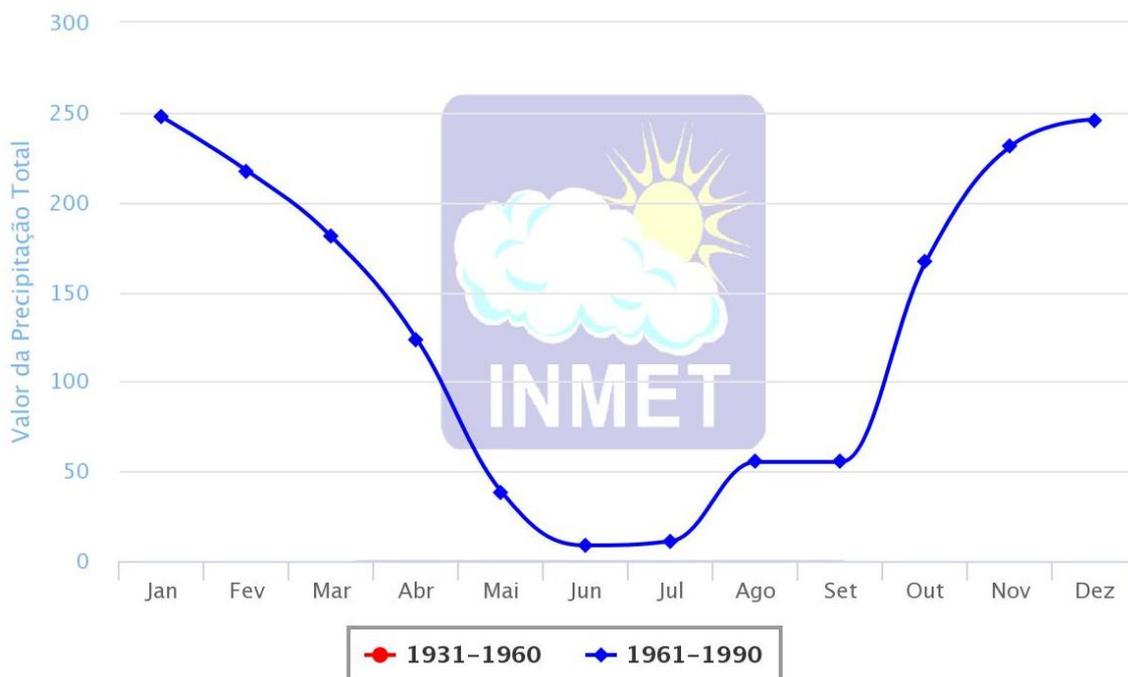
No que se refere às características de meio físico Brasília está localizada no bioma Cerrado com as seguintes características de meio físico: *“o clima do Cerrado pode ser dividido em duas estações bem definidas: uma seca, que tem início no mês de maio, terminando no mês de setembro, e outra chuvosa, que vai de outubro a abril, com a precipitação média anual variando de 600 mm a 2.000 mm”* (EMBRAPA, 2008, p.92).

Contata-se que a cidade possui duas estações climáticas bem definidas: uma quente e úmida e outra seca e fria. De acordo com EMBRAPA:

A ação conjunta desses sistemas durante o ano confere ao Cerrado características climáticas peculiares, pois a região, em sua grande parte, apresenta duas estações bem definidas: uma chuvosa, que se inicia entre os meses de setembro e outubro e se estende até março e abril, destacando-se os meses de novembro, dezembro e janeiro como os que, geralmente, apresentam maior média mensal de precipitações; e outra estação seca, marcada por profunda deficiência hídrica, causada pela redução drástica de ocorrência de chuvas. Essa estação seca inicia-se entre os meses de setembro a outubro, registrando, dessa maneira, de 5 a 6 meses de deficiência hídrica climática (2008, p.73).

Na Figura 11 observa-se o regime de chuvas dual em Brasília.

Figura 11 - Gráfico de precipitação acumulada
Gráfico Comparativo Precipitação Acumulada (mm)



Fonte: <<http://www.inmet.gov.br>>

A compreensão deste regime hídrico, que possui esses dois comportamentos distintos é essencial para entender a drenagem urbana. Visto que em parte do ano é pouco usado, mas em contrapartida, no outro momento o sistema de drenagem é essencial para o bom funcionamento da cidade. De acordo com CANHOLI:

Nos projetos de canalização, o parâmetro mais importante a considerar é a vazão de projeto, ou seja, o pico dos deflúvios associado a uma precipitação crítica e a um determinado risco assumido. Portanto, outras precipitações que levem a picos de vazão menores serão sempre conduzidas com segurança pelo sistema existente ou projetado. Ou seja, o volume das cheias, associado às diferentes precipitações, passa a ter interesse secundário (2005, p.72).

O Plano Piloto de Brasília está situado na Bacia Hidrográfica do Rio Paranoá – porção central do DF – nela há a maior ocupação populacional, pois aí se localizam quase inteiramente as regiões administrativas de Brasília, Lago Norte, Lago Sul, Núcleo Bandeirante, Riacho Fundo, Candangolândia, Cruzeiro e Guará, além de parte da RA de Taguatinga. É responsável por drenar uma área de cerca de 1000 km² dentro do Distrito Federal, sendo essa a única Bacia que está totalmente inserida no Distrito Federal. O principal corpo hídrico é o Lago Paranoá, com seus principais afluentes: Riacho Fundo e Ribeirões do Gama, Bananal e Torto. O Lago Santa Maria, principal responsável pelo abastecimento de água do Plano Piloto também se encontra dentro da bacia.

A área de estudo, Brasília, está na bacia do Lago Paranoá que está localizada entre as latitudes 15°35' e 15°59' Sul e longitudes 47°47' e 48°05' Oeste, numa área de aproximadamente 1.034,07 km², correspondendo a cerca de 18% do DF. O Lago Paranoá pertence à bacia hidrográfica do Rio São Bartolomeu que, por sua vez, pertence à região hidrográfica do Rio Paraná. A Bacia do Lago Paranoá é formada pelas unidades hidrográficas do Lago Santa Maria/Torto, Bananal, Riacho Fundo, Ribeirão do Gama, Córrego Cabeça do Veado e Lago Paranoá.

Brasília foi locada numa cota acima do lago que advém de um barramento no rio Paranoá (que recebe seu nome) e visava receber as águas pluviais e os efluentes de estações de tratamento de esgoto do Plano Piloto. Inicialmente, o lago não possuía como objetivo abastecer a cidade como é hoje. A função do lago, além das já referidas, seria de recreação e composição da paisagem.

No início os esgotos eram lançados sem tratamento e constituíram na principal fonte de poluição do lago que chegou a altos níveis de eutrofização. A partir de 1994 foram construídas as estações de tratamento norte e sul e esse problema foi contornado até se alcançar a condição atual de fonte de abastecimento da cidade. Entretanto, a drenagem, hoje se constitui umas das fontes de contaminação do lago que carrega resíduos sólidos devido ao aumento da impermeabilização das áreas urbanas que para ele drenam. As ocupações das margens do Lago, também, se constituem em fonte de assoreamento e tudo contribui para comprometer a qualidade de suas águas.

Os problemas de poluição que a drenagem constitui para o lago e os alagamentos que ocorrem em vários pontos do Plano Piloto colocam em discussão as soluções que hoje existem para a drenagem de Brasília. A problemática aqui estudada - de que sendo Brasília uma cidade planejada e detentora de grandes áreas verdes em sua configuração urbana seria uma condição de permeabilidade e potencial de infiltração, atenuante de alagamentos e do carregamento de fontes comprometedoras da qualidade da água do Lago Paranoá - será abordada pelo entendimento das funções destinadas a essas áreas em sua concepção e de como são manejadas para responderem as funções ecossistêmicas.

3.2 Sistema de áreas verdes de Brasília

No Distrito Federal (DF), se analisado o PDOT²⁰, Plano Diretor de Ordenamento Territorial aprovado em 2009 e completando em 2012, esse trata da preocupação com a relação entre sistema de espaços verdes e drenagem e traça diretrizes de gestão de uso do solo e drenagem que se aliam com as discussões procedias no capítulo anterior .
Senão vejamos:

Com a intenção de reduzir os problemas urbanos (alagamentos, poluição sonora e do ar, ilhas de calor, etc) tal plano lança diretrizes ambientais. Alguma delas são relacionadas a drenagem urbana, entre elas:
Executar planos de manejo, definir zonas de amortecimento e, quando conveniente, corredores ecológicos;
Estruturar os parques ecológicos e parques de usos múltiplos;
Promover a gestão integrada do conjunto de unidades de conservação;
Nos recursos hídricos: respeitar a capacidade dos corpos hídricos, mediante monitoramento da qualidade e quantidade da água de mananciais superficiais e subterrâneos; controlar a impermeabilização do solo, de modo a manter a capacidade de infiltração e de recarga dos aquíferos. (PDOT,2009)

Em linhas gerais as medidas acima descritas estão de acordo com estratégias de drenagem sustentável, já que estimulam a coexistência entre o ecossistema natural e o ecossistema urbano e proteção dos serviços ambientais de previsão da regulação do ciclo hidrológico. Mas o que tem sido feito nesse sentido? As estratégias que fundamentam a implantação e manutenção das áreas verdes do DF corroboram com o que prevê o PDOT? Essa será a avaliação que se fará a seguir entender melhor a área de estudo: o plano Piloto e a macrobacia de drenagem do estudo empírico.

Além de sua arquitetura marcante e da concepção urbanística ímpar, Brasília é reconhecida por seus grandes espaços verde, áreas livres e um número grandioso de árvores. Características como estas fazem com que essa cidade tenha um diferencial dentre as demais cidades brasileiras, pois sua vegetação (árvores, arbustos, forrações, entre outras coisas) destaca-se em relação à maior parte das cidades.

Não há dúvida que a presença da vegetação no ambiente urbano confere qualidade à sua população que conta com o desfrute da paisagem, ar puro, silêncio e amplos espaços de contemplação e interação social. Outro fator relevante é que a exuberância das árvores

²⁰ A ocupação do solo é definida com base no Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal, que norteia o desenvolvimento das cidades, estabelecendo limites máximos para adensificação urbana e/ou grau de impermeabilidade do solo. Ele também poderá ser definido om base em projeções estatísticas de crescimento populacional em cada setor censitário.

confere identidade à cidade como o grande maciço arborizado que envolve as superquadras do Plano Piloto. Este é um verdadeiro escudo verde que, além de atrair a fauna nativa do cerrado, gera a sensação de envolvimento e de proteção nestas áreas residenciais como previu Lúcio Costa

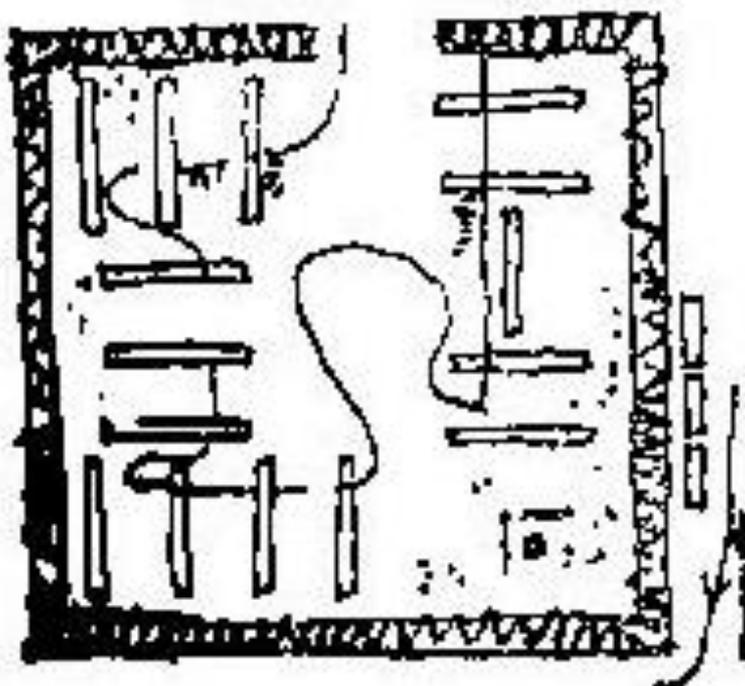
No relatório do Plano Piloto de Brasília, Lucio Costa define este elemento verde como “*cintas arborizadas de enquadramento*” com a função de cobrir os passeios públicos. No item 16 do relatório para o Plano Piloto de Brasília, Lucio Costa, autor do projeto, explicitou a solução do setor residencial envolto com cinturão-verde:

Quanto ao problema residencial, ocorreu a solução de criar-se uma sequência contínua de grandes quadras dispostas, em ordem dupla ou singela, de ambos os lados da faixa rodoviária, e emolduradas por uma larga cinta densamente arborizada, árvores de porte, prevalecendo em cada quadra determinada espécie vegetal, com chão gramado e uma cortina suplementar intermitente de arbustos e folhagens, a fim de resguardar melhor, qualquer que seja a posição do observador, o conteúdo das quadras, visto sempre num segundo plano e como que amortecido na paisagem (COSTA, Relatório do Plano Piloto).

Na Figura 12 observa-se, nas bordas da superquadra, o cinturão verde de enquadramento e os espaços verdes no interior dela.

Figura 12 - Croqui de Lucio Costa que representa as superquadras

SECTOR RESIDENCIAL



Fonte: Relatório do Plano Piloto de Brasília

Já no item 19 do mesmo relatório, o urbanista fala das áreas destinadas aos cemitérios que devem ser compostos por grandes áreas permeáveis: *“Os cemitérios localizados nos extremos do eixo rodoviário-residencial evitam aos cortejos a travessia de centro urbano. Terão chão de grama e serão convenientemente arborizados, com sepulturas rasas e lápides singelas, à maneira inglesa, tudo desprovido de qualquer ostentação”* (COSTA, Relatório do Plano Piloto).

No item 20 do Relatório do Plano Piloto, Lucio Costa falou sobre as áreas verdes na beira do Lago Paranoá:

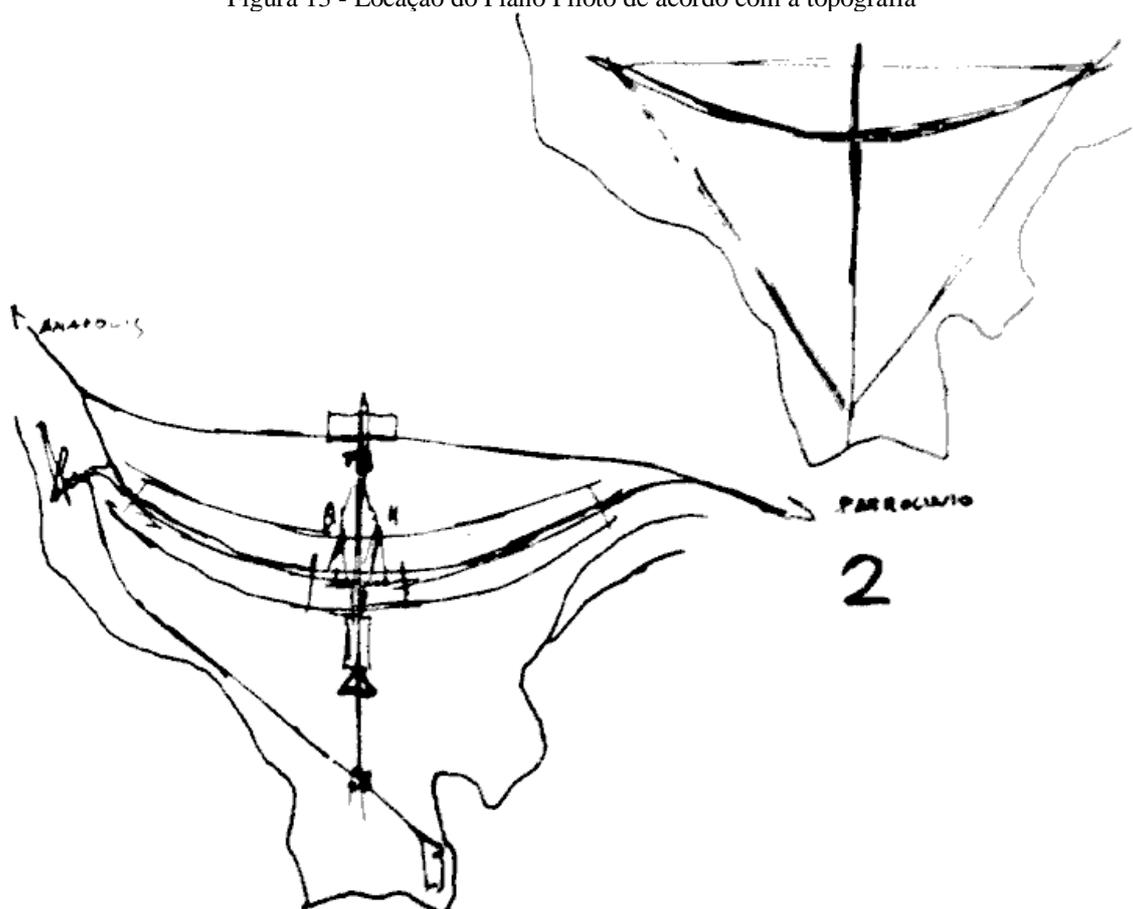
Evitou-se a localização dos bairros residenciais na orla da lagoa, a fim de preservá-la intata, tratada com bosques e campos de feição naturalista e rústica para os passeios e amenidades bucólicas de toda população urbana. Apenas os clubes esportivos, os restaurantes, os lugares de recreio, os balneários e núcleos de pesca poderão chegar à beira d'água (COSTA, Relatório do Plano Piloto).

Lucio Costa finaliza o relatório com a frase: *“Brasília, capital aérea e rodoviária; cidade parque. Sonho arqui-secular do Patriarca”*. Constata-se aqui, que a capital foi concebida como cidade parque.

Mesmo com tantos espaços verdes, a capital - como a maioria das cidades brasileiras - apresenta um metabolismo urbano linear. Isso é perceptível ao observarmos o funcionamento de sua infraestrutura urbana que é implantada nos moldes tradicionais. Assim, percebemos que o potencial do urbanismo e paisagismo implantado em Brasília não é explorado em favor de um metabolismo circular.

No Relatório do Plano Piloto Lucio Costa comparece alguma referência a drenagem. Apesar de bastante simplista e sem relação com a dimensão dos espaços verdes concebidos para a cidade: *“Procurou-se a adaptação à topografia local, ao escoamento natural das águas, à melhor orientação, arqueando-se um dos eixos a fim de contê-lo no triângulo equilátero que define a área urbanizada)”* (COSTA, Relatório do Plano Piloto). Na Figura 13 observa-se a ideia de implantar o Plano Piloto de acordo com a topografia do sítio.

Figura 13 - Locação do Plano Piloto de acordo com a topografia



Fonte: Relatório do Plano Piloto

O fato de a cidade estar numa cota acima do Lago não é suficiente para sanar a questão. De modo geral outros elementos propostos por Lucio Costa demonstram que não há interação entre o traçado da cidade e seu sítio em benefício da drenagem. Isso pode ser visto na repetição do mesmo desenho urbano na ocupação de diferentes características morfológicas do sítio da Nova Capital como, por exemplo, o Parque Olhos D'água na Asa Norte.

Assim, as áreas verdes brasilienses possuem potencialidades paisagísticas para um tratamento de ordem ecológica e não apenas funcionais. Em relação à drenagem, há grande potencial de infiltração, desde que seja dado tratamento específico das técnicas de infraestrutura verde.

Cabe hoje a revisão desse metabolismo linear. Brasília foi projetada e construída em meados do século XX. De acordo com ROCHA (2011), na época da implantação da capital os estudos e pesquisas destinadas as questões ambientais não eram relevantes. Porém, hoje, o cenário é diferente, já se sabe que o planejamento urbano deve ser

associado às questões ambientais a fim de garantir os serviços ambientais necessários ao atendimento das demandas da cidade. Como reconverter as áreas verdes brasilienses a favor do metabolismo urbano circular?

Analisando outro documento institucional, o Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal (PDDU), elaborado em 2008, verifica-se que esse assume que as áreas verdes do Plano Piloto pouco favorecem para a infiltração das águas pluviais. Essa passagem é reveladora:

Pode-se observar que o Plano Piloto apresenta lotes grandes, mas nas suas áreas centrais já corre uma alta densidade de áreas impermeáveis apesar dos jardins, principalmente porque as áreas verdes não são utilizadas como compensação a infiltração e os projetos de drenagem são, muitas vezes, inadequados (PDDU, 2008, p.23).

Retornando a construção de Brasília verifica-se que não houve nenhuma consideração com a vegetação existente ou com as perdas de solo decorrentes do processo de terras arrasadas que caracterizou a construção da cidade.

Torna-se relevante conhecer tais acontecimentos para entender o paisagismo brasiliense. O fato pode ser constatado por meio do relato de GOUVÊA: *“Destaca-se no caso de Brasília, onde, a rigor o processo de ocupação se deu com o sistema de ‘terras arrasadas’ e que gerou grandes impactos ambientais, com a retirada da cobertura vegetal nativa”* (2002, p.43). Assim, a construção da nova capital foi uma grande agressão ao sítio original, pois sua consolidação foi por meio do desflorestamento desmedido e da destruição dos recursos naturais existentes.

Este método destrutivo, de planejamento e construção, foi adotado por diversos fatores. Primeiramente, pela falta de conhecimentos específicos sobre o bioma cerrado, sobre noções de ecologia, e sobre a importância das inter-relações entre urbanismo e natureza. Em segundo lugar pela pressa em construir a cidade, na época a meta do presidente Juscelino Kubitschek era evoluir o país 50 anos em 5. De acordo com ALENCAR:

Com a construção de Brasília, os intensos trabalhos de abertura de vias e construção de edifícios causaram grande impacto na paisagem natural. Os prazos políticos eram curtos para a inauguração da cidade, portanto era necessário trabalhar dia e noite, com afinco e dedicação (2008, p. 25).

De acordo com MOTA (2011) a implantação inadequada das áreas verde, bem como a supressão vegetal (característica da implantação do paisagismo brasiliense) causam impactos ambientais como: alterações climáticas, danos à fauna e flora, erosão e

empobrecimento do solo, assoreamento de recursos hídricos, aumento do escoamento da água, redução da infiltração e inundações. O mesmo autor afirma que as movimentações de terra geram: alterações na drenagem das águas, erosão do solo, a também, assoreamento de recursos hídricos. Com isso, entendem-se os diversos danos ecossistêmicos causados na região devido ao método de construção da cidade.

Posterior à construção surgiu um novo desafio, arborizar e gramar as grandes áreas livres entre os edifícios então construídos. Medidas como essas visavam humanizar a cidade e amenizar os danos gerados pelo método de terras arrasadas, tais como: a poeira, a baixa umidade, e o calor elevado. Assim, ao longo da década de 60, iniciou-se um processo de arborização urbana²¹ introduzindo vegetação exógena na cidade com intuito de amenizar esses malefícios.

Uma das áreas primeiramente arborizadas foi a avenida W3 Sul, área muito usada, à época, pela população por possuir bares, restaurante, cinemas e comércio diversificado. Logo, a arborização nesta via foi fundamental para o conforto da sociedade brasileira na década de 60 (e no princípio da década de 70). Foram plantadas espécies arbóreas exóticas que levou, na década de 1970, a necessidade de cortes devido a doenças e outros desequilíbrios. Nesse período o bioma Cerrado era pouco conhecido e valorizado, conseqüentemente, não existia a disponibilidade de mudas de espécies nativas para o plantio urbano.

A presença da vegetação exótica favoreceu o desequilíbrio ecológico do ecossistema local com conseqüências para funcionamento do ciclo hidrológico. Como principal forração de piso, foi utilizada a grama-babatais (*Paspalum notatum*) que já era utilizada na região anteriormente à construção de Brasília. Estes fatos são embasados conforme citação de LIMA no trecho:

As primeiras intervenções efetivas para amenizar os impactos gerados com a destruição do cerrado, foram realizadas através do plantio de gramados com grama babatais, (*Paspalum notatum*), por ser esta espécie facilmente encontrada na região, além de apresentar grande resistência aos longos períodos de seca e à ação do fogo, muito comum neste período (LIMA, 2003, p. 75).

21 Esta expressão pode ser definida como: “*todo e qualquer tratamento da vegetação dado aos espaços livres, envolvendo todos os extratos vegetais – desde pisos vegetais (gramados) e herbáceos, até arbustos e árvores*” (SILVA, 2003, p.5 *apud* MEDEIROS, 2008).

A grama batatais, plantada em larga escala, apresentou bons resultados por ser resistente e passou a ser inserida em outras áreas do Distrito Federal. Com esta medida, houve a diminuição da terra vermelha exposta e gerou a existência de vastos tapetes verdes característicos da capital. A presença dos grandes gramados na cidade tem a vantagem de minimizar o processo erosivo e reduzir a quantidade de poeira em suspensão, mas do ponto de vista da infiltração não se mostram adequados. Se comparados a uma área totalmente impermeabilizada possuem alguma capacidade de infiltração, mas não asseguram que as águas pluviais infiltrem a ponto de evitarem os alagamentos comuns na época chuvosa de Brasília.

Para atender a diretriz paisagística traçada por Lucio Costa no Relatório do Plano Piloto - cinturão verde de enquadramento nas superquadras - foram plantadas espécies largamente utilizadas em outras cidades brasileiras. Ocorreu neste período um grande plantio de mudas de Cassia-simea (*Cassia simea Lam*), principalmente nas superquadras da Asa Sul 107, 302 e 304. O plantio desta espécie exótica tinha como objetivo principal a rápida ornamentação da cidade. Este fato é constatado ao observar a afirmação de ALENCAR:

Em 1961, foram introduzidas 8.600 mudas de cássia (*Cassia simea Lam*), trazidas do Rio de Janeiro. [...] Possuíam expressiva floração amarela-clara, que durava aproximadamente seis meses, e garantiam ao Departamento de Parque e Jardins – DPJ resultados imediatos após sua implantação, por sua expressão na paisagem. (2008, p. 28).

Durante a década de 70, a introdução da vegetação de outras regiões continuou e finda com um episódio de crise das espécies arbóreas exóticas. Isso ocorreu, pois, grande parte das árvores plantadas em Brasília sofreu com doenças e/ou foram atacadas por pragas. A grande perda de árvores se deveu a dois fatos, são eles: a vegetação introduzida não pertencia ao bioma cerrado e havia grande quantidade de indivíduos da mesma espécie. Com isso, estas plantas se tornaram vulneráveis ao ambiente em que se encontravam. Os primeiros sinais de problemas com a vegetação exótica ocorreram no início da década com as cássias (*Cassia simea*).

A década de 70 começou com um grave problema a ser enfrentado pelos técnicos, o aparecimento, entre 1971/1972, de ataques severos de pragas na arborização que já se consolidava. Nesta época, foi constatada exsudação nos troncos, amarelecimento e queda das folhas, causando a morte de inúmeras Cássias e outras espécies [...] (ALENCAR, 2008, p.28).

Como consequência houve, em 1976, a morte de aproximadamente 50.000 árvores adultas. As espécies mais atacadas foram as cássias (*Cassia macranthera* DC e *Cassia simea*) e a espécie albizia (*Albizia lebbbeck*).

As principais áreas que foram acometidas com a perda arbórea foram a Avenida W3 Sul e as superquadras 107 Sul, 302 Sul, 304 Sul. O processo de retirada das plantas mortas acarretou um impacto negativo na opinião pública. Os moradores, políticos e jornalistas ficaram inquietos frente à modificação da paisagem urbana. Esta conjuntura levou o Departamento de Parques e Jardins (DPJ) da NOVACAP a pesquisar e coletar sementes de espécies nativas que pudessem substituir às árvores exóticas na arborização urbana. Esta mudança de comportamento ocorreu como reação à má adaptação da flora de outros biomas na capital (LIMA, 2003).

O urbanista criador do Plano Piloto de Brasília estabeleceu que o cinturão-verde das superquadras fosse de uma única espécie vegetal. Após a morte de grande parte da massa vegetativa (principalmente de cássias) ficou comprovado que se deve ter variabilidade de indivíduos para que, em caso de praga ou doença, apenas alguns vegetais sejam afetados. Sobre o tema, comenta-se que:

Imediatamente após a perda de expressivos números de árvores, o Departamento de Parques e Jardins implantou cintas verdes com diferentes espécies, e não como era recomendado por Lucio Costa em seu relatório. A intenção era de garantir maior segurança na permanência da vegetação (ALENCAR, 2008, p.31).

Tais fatos comprovam que as noções de arborização urbana adotadas durante o período de 1960 não eram ecologicamente viáveis. A perda de vegetação na cidade corroborou a necessidade e a importância de usar a flora nativa no paisagismo urbano. A variabilidade de indivíduos também se apresentou como diretriz fundamental para o paisagismo ecologicamente correto. Estes dois princípios, uso flora nativa e volubilidade, são fundamentais que para a vegetação não seja devastada por enfermidades. SILVA afirma:

A recuperação da flora original poderia trazer diversas vantagens, tais como dar identidade à arborização da cidade, melhorar as taxas de sobrevivência no plantio, dar maior longevidade às árvores no meio urbano, diminuir custos de manutenção, constituir corredores ecológicos, além das possibilidades de proporcionar contato da população local com a vegetação nativa, utilizando seus frutos, flores e outros produtos (2003, p.68 *apud* MEDEIROS, 2008, p.8).

Os anos 80 foram caracterizados pelo início da preocupação com o uso de espécies nativas em Brasília. Esse novo ponto de vista, utilizar plantas nativas, foi impulsionado

pela mudança de comportamento da sociedade por meio de críticas ao ajardinamento de Brasília. Mesmo com o conhecimento sobre a vantagem da diversidade paisagística, o DPJ voltou a plantar uma só espécie por cinta verde nas superquadras, no entanto, de árvores nativas. Essa medida visou atender as recomendações de homogeneidade descritas no Relatório do Plano Piloto.

O período também foi marcado pela inserção de outras espécies de grama que não apenas a Batatais. Foram introduzidas em algumas áreas a grama Pensacola (*Paspalum Saura*) e a Bermudas (*Cynodon dactylon*). A primeira é bastante resistente ao pisoteio e as secas, enquanto a segunda é macia e apresenta rápido crescimento e regeneração. Em 1984, houve bons resultados com a inserção da vegetação nativa na cidade: adaptação local às técnicas de cultivo, boa resistência às pragas e doenças e, conseqüentemente, diminuição nos custos de manutenção. Com a substituição da vegetação, os estudos sobre a flora natural do planalto central foram forçados a se intensificar e os conhecimentos acerca das árvores da região se aprimoraram para garantir o ajardinamento da cidade.

Neste contexto, a utilização da flora nativa nos projetos paisagísticos urbanos foi um grande avanço tecnológico, de redução de custos de manutenção e de valorização do bioma nativo pela sociedade. Entretanto, todas as alterações de postura frente ao paisagismo não possuíam uma visão ecológica e muito menos de diálogo com a manutenção do ciclo hidrológico, eram pautadas pela própria sobrevivência do ajardinamento da cidade.

Mesmo com a grande quantidade de plantas nativas que passaram a ser inseridas em Brasília o uso das exóticas não foi totalmente abolido. As plantas exóticas bem adaptadas ao clima e ao solo de Brasília continuaram a ser plantadas no meio urbano. Desta forma, não ocorreu uma alteração expressiva na paisagem da cidade, isso porque as plantas de outras regiões continuaram a fazer parte do cotidiano dos brasilienses. Hoje, se contabiliza que 60% das espécies é exótica e 40% são nativas. Atualmente, a NOVACAP afirma que privilegia o uso de plantas do cerrado e desde 2005 a proporção de novas árvores plantadas na cidade é de 70% de nativas e 30% de exóticas (ALENCAR, 2008, p. 38).

O histórico descrito demonstra que o paisagismo brasiliense foi construído nos parâmetros modernistas onde o principal interesse está voltado as questões estéticas e de

conforto. Verificam-se avanços na valorização da vegetação nativa, ainda existem outros atributos paisagísticos que devem ser estimulados como visto no item anterior para que o paisagismo da cidade assegure os serviços ambientais e seja compatível com o metabolismo urbano circular. Assim, podem-se estimular as potencialidades do paisagismo modernista para cumprir com estas outras funções. Se novas diretrizes paisagísticas forem adotadas podemos tornar o solo urbano mais permeável e favorecer a drenagem sustentável.

3.3 Sistema de drenagem do Distrito Federal

Os sistemas de drenagem usualmente implantada no Brasil – bem como no DF- seguem a linha das técnicas tradicionais onde o objetivo principal é o rápido escoamento superficial das águas pluviais para seu lançamento a jusante como já foi descrito nessa pesquisa. O sistema de drenagem urbana implantado no DF é descrito como:

Os preceitos higienistas para a drenagem de águas pluviais e servidas recomendam sua rápida evacuação das áreas urbanas, por meio da utilização de condutos, preferencialmente subterrâneos, funcionando por gravidade. A adoção desses procedimentos facilitaria ainda a circulação viária e o desenvolvimento urbano sem a presença nociva da água à superfície das ruas, ao mesmo tempo em que efetuará a prevenção de doenças e de veiculação hídrica. (BAPTISTA *et al.* 2005, p.21).

Esse sistema de drenagem tradicional é característico do metabolismo urbano linear e é composto por elementos de micro e macrodrenagem. Os primeiros efetuam o transporte das águas pelas ruas (por meio das sarjetas), que são captadas por bocas de lobo, e conduzidas por condutos enterrados. Na sequência as águas são conduzidas até o deságue no sistema de macrodrenagem constituído por canais abertos ou galerias (condutos de porte significativo) e lançados, no caso do Plano Piloto no lago Paranoá.

O Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal (PDDU) de 2009 descreve o atual sistema de drenagem do DF na citação subsequente:

Como as ruas no DF, normalmente, possuem inclinação transversal para apenas um dos lados, a condução das águas ocorre junto ao meio-fio, no lado para o quanto ao meio-fio, através de abertura na guia e/ou grelha com rebaixo de 5 cm para melhor direcionar as águas para o interior da boca-de-lobo. Em alguns locais, tal como a Ceilândia, as bocas-de-lobo são instaladas lateralmente no meio-fio, denominadas de “engolimento lateral”, executadas em alvenaria de tijolo maciço e cobertas, ao nível do passeio, com tampas pré-moldadas de concreto armado.

As bocas-de-lobo, conectadas aos poços de visita por meio dos ramais de ligação, são responsáveis pela captação do escoamento superficial nas vias públicas. Os

ramais de ligação são em tubos de concreto simples, com diâmetro interno mínimo de 400 mm.

Os poços de visita são localizados no início das redes e na interligação das mesmas sem como nas mudanças de direção, tendo como distância máxima de 80 m entre si, para permitir a inspeção e limpeza. São geralmente construídos em blocos de concreto, com parede de espessura igual a 10 cm para diâmetro de 600 mm de espessura de 20 cm para diâmetro de 800 mm, e em concreto armado para os diâmetros de 1000, 1200 e 1500 mm, assentados sobre base de concreto armado, chaminé de acesso em anéis pré-moldados de concreto com diâmetro interno de 600 mm e tampão de ferro fundido quando em pavimento, podendo ser adotado tanto de concreto quando em áreas verdes (não pavimentadas).

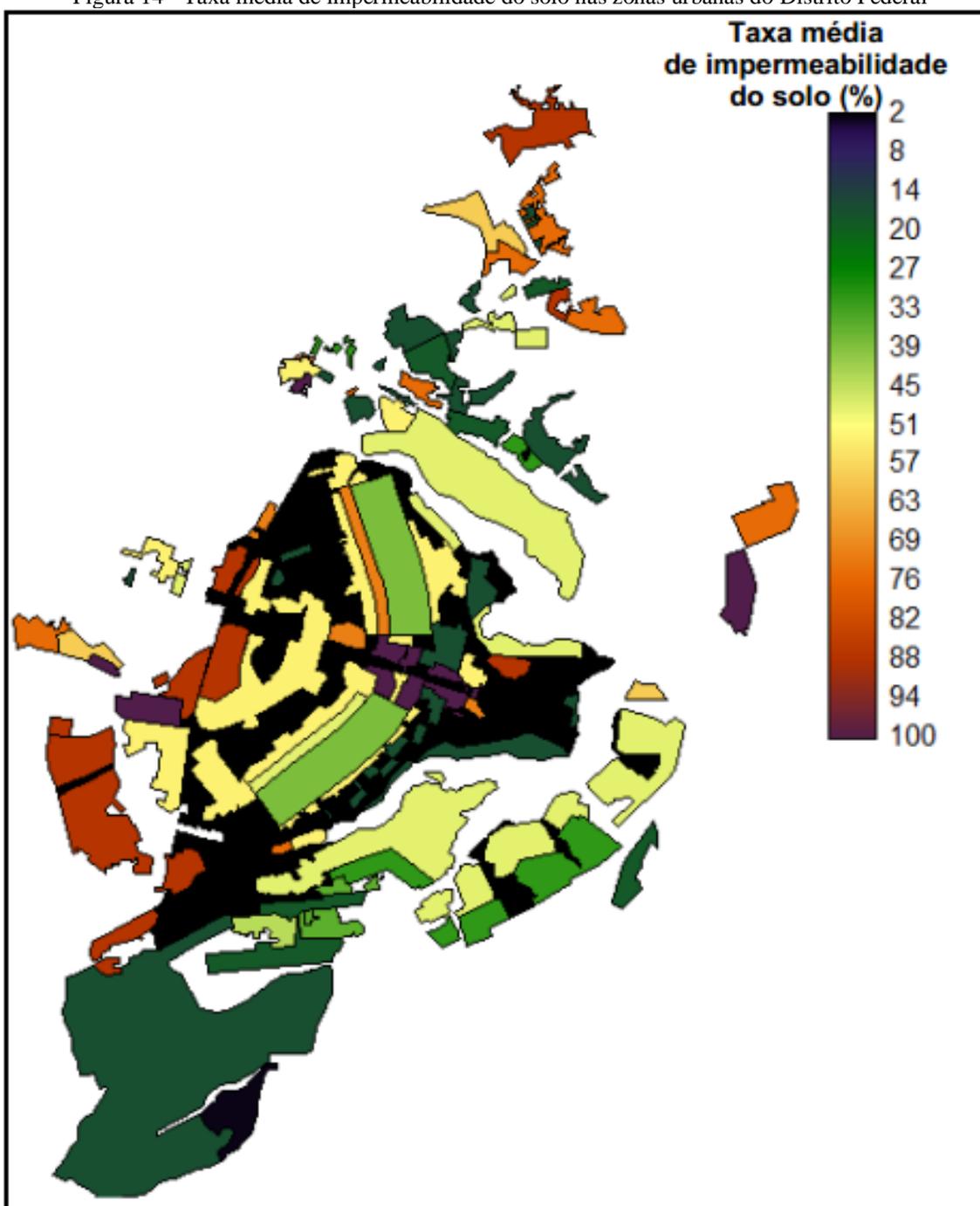
As redes tubulares são em tubos de concreto simples para diâmetro interno de 400, 500 e 600 mm e em tubos de concreto armado para diâmetros de 800, 1000, 1200 e 1500 mm.

As galerias são de concreto armado, moldadas in loco, com seções quadradas variando de 1,65 a 3,00 m, fechadas e/ou a céu aberto, em função da vazão escoada. Os emissários finais (em geral galerias e/ou canais a céu aberto de seção retangular em concreto armado) afastam as águas pluviais do sítio urbano, conduzindo-as para lançamentos nos córregos, corpos receptores da drenagem natural. As extremidades desses lançamentos são dotadas de estruturas dissipadoras de energia denominadas bacias de amortecimento ou dissipadores localizados. Nas extremidades das galerias e canais em geral (macro drenagem) são executados dissipadores de energia com anteparo para reduzir a velocidade do fluxo e controlar o escoamento das águas para o terreno natural (2008, p.23).

Os principais corpos receptores da macro drenagem são: Ribeirão Bananal, Ribeirão Riacho Fundo, Ribeirão do Torto e Ribeirão do Gama (afluentes do Lago Paranoá), Rio Descoberto, Rio Melchior, Rio São Bartolomeu, Ribeirão Taguatinga, Ribeirão Sobradinho. Em função da topografia e ocupação urbana, a maior parte das águas pluviais incidentes na área urbana do Distrito Federal é lançada nos afluentes dos Lagos Paranoá e Descoberto que recebem, por consequência, esgoto clandestino e resíduos sólidos, lançados irregularmente na rede de drenagem.

Ainda, de acordo com o PDDU-DF, o Distrito Federal sofre com patologias urbanas derivadas do mau funcionamento do sistema atual. Entre elas estão os alagamentos causados – prioritariamente - pela elevada taxa de impermeabilização do solo. A Figura 14 mostra um mapa das com a taxa de impermeabilização estimada no DF.

Figura 14 - Taxa média de impermeabilidade do solo nas zonas urbanas do Distrito Federal



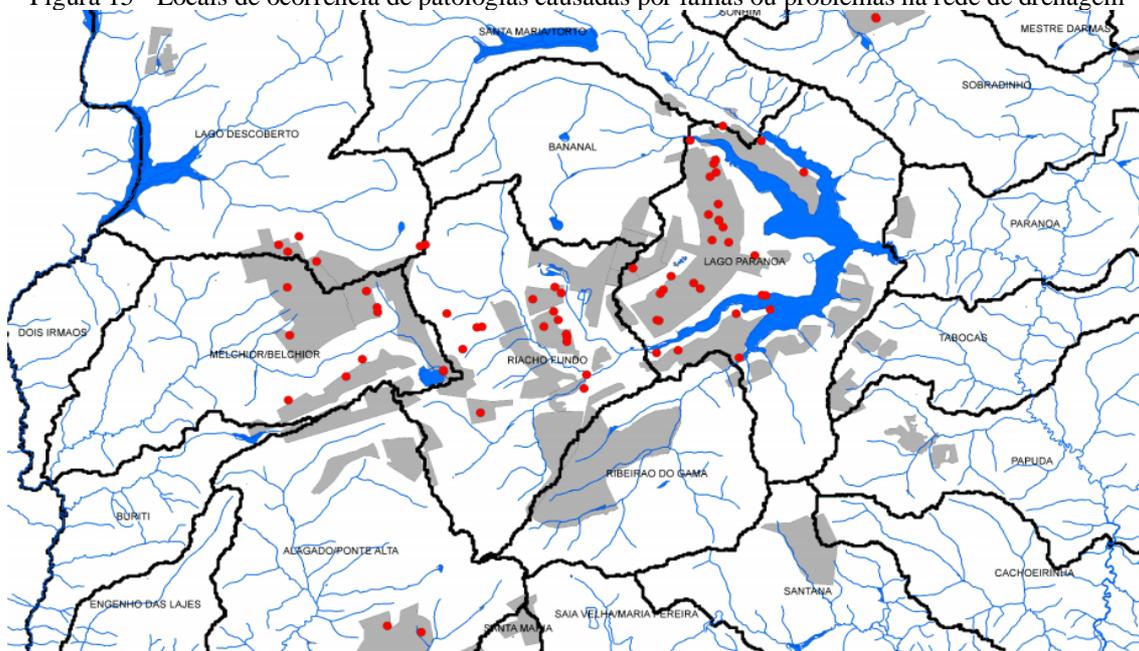
Fonte: PDDU, 2008, p.89

Nota-se que as áreas de maior impermeabilização são aquelas afastadas do Plano Piloto. Enquanto nas áreas das Asas Sul e Norte a média é de cerca de 40% de impermeabilização, o que pode ser considerada de alta permeabilidade, em Ceilândia e Taguatinga essa média chega a mais de 80%. No Plano Piloto, vale destacar que se está considerando que área verde é área permeável sem discutir que tipo de infiltração ela

propicia. As condições de solo compactado não se encontram nessa avaliação o que distorce os efeitos.

Esse fato é importante, pois ao analisar Figura 15 - que mostra os locais de ocorrência de patologias causadas por falhas ou problemas na rede de drenagem – constata-se que o Plano Piloto sofre com vários pontos de alagamentos²².Essas observações reforçam a hipótese de que as áreas verdes não têm se comportado como áreas de infiltração, ou seja, reduzindo o escoamento superficial. Isso ocorre devido ao alto grau de compactação das áreas verdes e do tratamento dado ao manejo do solo pelos serviços de ajardinamento. Esse fato corrobora com uma das premissas do trabalho.

Figura 15 - Locais de ocorrência de patologias causadas por falhas ou problemas na rede de drenagem



Fonte: PDDU, 2008, p.126

Ainda, no PDDU-DF estão destacadas estratégias de melhorias no manejo de água pluviais no DF onde constam a necessidade de abordagem não convencional das águas pluviais, como se ver a seguir:

- Enfoque holístico e integração das políticas com vistas ao manejo sustentável das águas pluviais;
- aproveitar as características positivas da cidade;

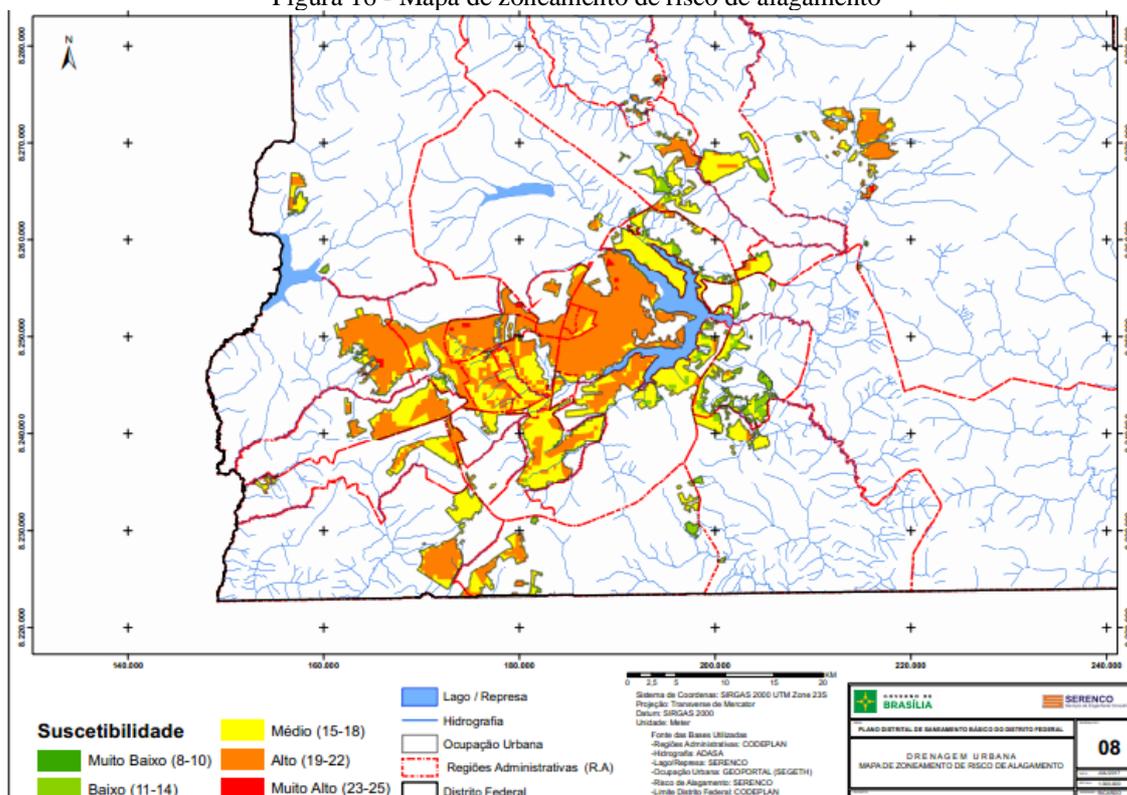
²²“evento caracterizado pelo acúmulo de água decorrente da ausência de ou precariedade da drenagem” (TUCCI, 2007, p.357).

- institucionalizar a prestação do serviço e a regulação;
- instituir incentivos;
- ampliar a participação e o controle social;

Os objetivos do PDDU são a caracterização das condições de funcionamento hidráulico do sistema de drenagem e proposição de medidas estruturais e não estruturais para o equacionamento dos problemas na macrodrenagem urbana. As metas desse plano preveem em eliminar os principais problemas oriundos do sistema de drenagem tradicional de Brasília. Assim, o PDDU quer eliminar os alagamentos na cidade, a poluição do escoamento pluvial, qualquer tipo de ravinamento, a erosão e o surgimento de novas áreas degradadas, bem como controlar os impactos gerados pelos novos empreendimentos. São metas ousadas se não se adotar um sistema de drenagem sustentável e sem estabelecer uma efetiva interdependência entre padrões de ocupação do solo urbano e manejo de águas urbanas.

Na elaboração do PDDU (2008), utilizou-se a modelagem matemática para definir pontos de alagamentos e volumes excedentes da rede de drenagem existente no DF. Além do mapeamento feito com base nos dados obtidos pelo PDDU outro estudo realizou uma compilação de diversos dados georreferenciados, considerando diversos atributos, entre eles: declividade, risco de alagamento, ocupação do solo, densidade, sistema de drenagem, tipo de solo, pluviometria e volumes excedentes para gerar um mapa de áreas com maior ou menor suscetibilidade a alagamentos (forma de inundação mais comum no Distrito Federal). O mapa a seguir, Figura 16, mostra o risco de alagamento no DF. As áreas de risco foram comparadas para obter a porcentagem da área urbana com cada tipo de risco de alagamento. Nota-se que a maior parte da área urbana do DF está classificada como área de médio risco de alagamento, porém a região do Plano Piloto atualmente apresenta um risco alto de suscetibilidade para alagamentos.

Figura 16 - Mapa de zoneamento de risco de alagamento



Fonte: PDSB, 2017, p.85

A partir desse diagnóstico o GDF aponta locais prioritários para investimento na melhoria dos sistemas de drenagem. A fim de incentivar a drenagem urbana sustentável no Distrito Federal, a ADASA-DF estabeleceu uma Resolução 09/2011 que determina condições de entrega das águas pluviais (água lançadas), com objetivo de compatibilizar a água lançada com as geradas em estágio de pré-desenvolvimento. Assim, regiões do Plano Piloto, com o uso e ocupação do solo consolidado e que apresenta diversos pontos de alagamento precisam se adaptar.

O Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal (PDOT 2012), que é o principal instrumento de planejamento e gestão urbana, também, dispõe sobre drenagem urbana na medida em que propõe medidas de combate a impermeabilização do solo urbano. Sobre o tema determina os limites máximos de taxa de ocupação dos lotes e/ou grau de impermeabilização do solo. Isso pode trazer profundos impactos na redução dos volumes de escoamento superficial gerados em uma bacia urbana dado que o grau de impermeabilidade do solo se reflete em maiores/menores vazões a serem absorvidas pelas redes de drenagem pluvial. Uma redução da vazão pode levar um sistema em obsolescência a trabalhar em condições satisfatórias, por exemplo.

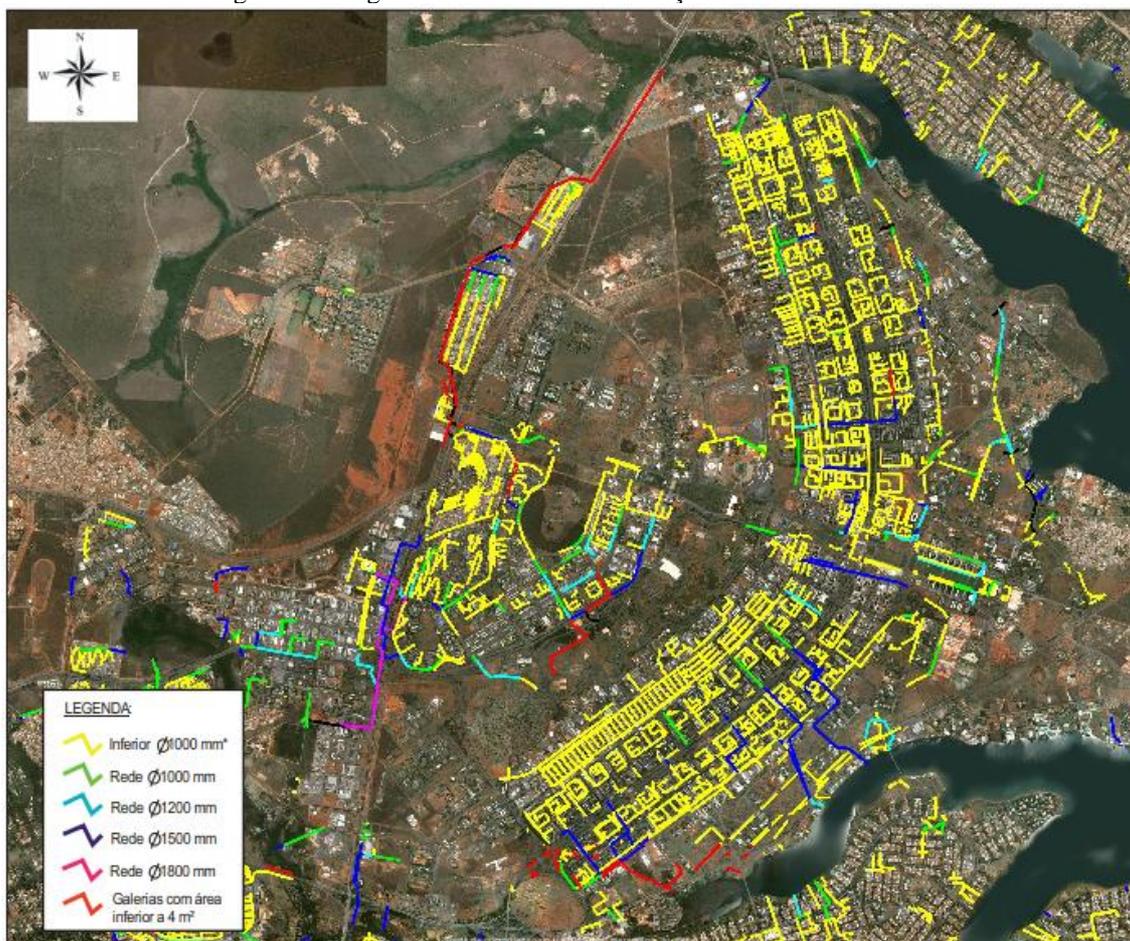
3.4 Sistema de drenagem de Brasília e seus problemas de alagamento

Como dito Brasília encontra-se na bacia hidrográfica do Lago Paranoá e o PDDU afirma que o seu sistema de drenagem é composto da seguinte forma:

Essa localidade foi hidrologicamente dividida em 28 macrobacias, de acordo com as condições das redes de macrodrenagem da região. Essas 28 macrobacias foram, então, subdivididas em 189 sub-bacias, obedecendo a topologia das redes de macrodrenagem (PDDU, 2009, v.8/ T.05/07, p.480).

Todas as macrobacias de drenagem têm as suas águas pluviais drenadas no sentido de oeste para leste com pontos de lançamento no Lago Paranoá. As macrobacias, ou bacias de drenagem, do Plano Piloto, não se encontram cadastradas como deveriam, mas é possível identificar a quantidade delas pelo número de exutório que chegam ao Lago Paranoá, num total de 28. Essas seriam, então, as bacias de macrodrenagem e essas por sua vez compõem 189 subdivisões de microdrenagem (definidas pelo número de galerias). Na sequência vê-se uma imagem de satélite, Figura 17, com a representação do traçado esquemático das redes de drenagem existentes no Plano Piloto.

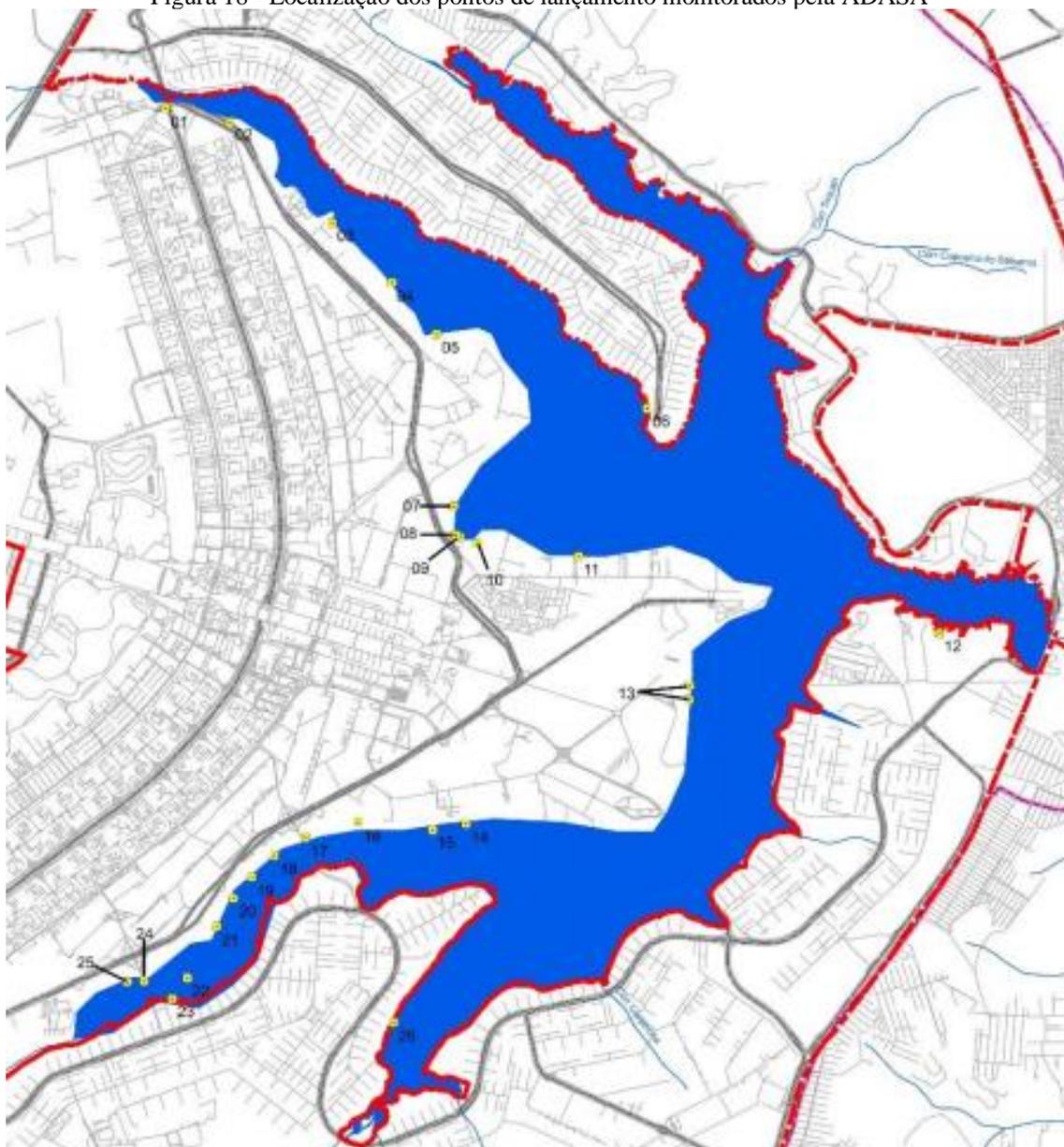
Figura 17 - Região do Plano Piloto com traçado das redes existente



Fonte: PDDU, 2008, p.185

De acordo com PDSB (2017), a NOVACAP possui cadastrada mais de 120 lançamentos de drenagem diretamente no Lago Paranoá dos quais apenas 28 se referem aos exutório de macrodrenagem do Plano Piloto. A ADASA realiza o monitoramento contínuo em 26 destes pontos (Figura 18 e Tabela 5), escolhidos por representarem os locais com maior descarga e pelo histórico de denúncias.

Figura 18 - Localização dos pontos de lançamento monitorados pela ADASA



Fonte: PDSB, 2017, p. 228

Tabela 5 - Principais lançamentos da rede de drenagem do Lago Paranoá

Ponto	Local de lançamento
1	GAP Ponte do Bragueto
2	GAP 416N
3	GAP ASFUB
4	APCEF/DF
5	GAP UNB
6	Clube do Congresso
7	GAP Iate clube
8	GAP Fuzileiros Navais III
9	GAP Fuzileiros Navais II
10	GAP Fuzileiros Navais I
11	GAP Clube da Aeronáutica
12	Instituto Israel Pinheiro
13	GAP Academia de Tênis/Lake View I
	GAP Academia de Tênis/Lake View II
14	GAP AABB
15	Clube do Exército
16	GAP ASBAC
17	GAP Prainha
18	GAP ASSEFE
19	GAP AABR
20	GAP BRASAL
21	GAP NIPO
22	Canrobert Oliveira
23	Dalmo José do Amaral
24	GAP Ponte do Gilberto
25	GAP ETESUL
26	SHIS QL 14 Conjunto 15

Fonte: PDSB, 2017, p. 228

Mesmo com o registro e localização dos pontos de lançamento de drenagem no lago, não há – até o momento - um mapeamento oficial de todas às áreas de contribuição de cada uma das 28 bacias de macrodrenagem do Plano Piloto. Esse trabalho vem sendo realizado pela ADASA e UnB. Hoje existem, mapeadas desde seu exutório com toda a área de contribuição determinada apenas 4 bacias de macrodrenagem que estão modeladas e passíveis de estudos e análises mais precisas.

De acordo com o PDDU de 2008, os principais problemas da drenagem do Plano Piloto de Brasília são ocasionados pelas alterações do uso solo e ocupação somada ao

planejamento tradicional do sistema de infraestrutura urbana. No Plano Piloto os pontos críticos de alagamentos durante o período chuvoso na asa norte são:

- Saída da Avenida L2 Norte para o Eixo Monumental;
- Setor Bancário Norte em frente ao prédio sede dos correios e em frente à parada da galeria;
- Via de ligação Eixinho Norte/Leste à L2 Norte ao lado do DNIT;
- Eixinho Norte/Oeste entre o Setor Comercial Norte e o HRAN;
- Avenida W3 Norte, em frente ao Setor de Rádio Televisão Norte;
- Tesourinha²³ da SQN 202;
- Rotatória ou Balão da SQN 202/402;
- SQN 402 Blocos F e G;
- Tesourinha da 203/204 Norte;
- Avenida W2 Norte, entre a SQN 311 e a SEPN 511;
- Tesourinha da 211/212 Norte;
- Via W1 Norte e SQN 115;
- Tesourinha 215/216 Norte;
- Setor terminal Norte em frente ao Hipermercado Extra;
- Setor terminal Norte, portaria da Embrapa;
- VIA EPAA, balão de acesso ao SAAN e RCG.

Já na Asa Sul os pontos críticos são:

- SQS 416 – Estacionamento do Bloco S;
- Avenida W3, Setor Médico Hospitalar Local Sul (716);

²³ As “tesourinhas” são trevos rodoviários que fazem a conexão dos eixos L e W, conhecidos como eixinhos às vias locais dos comércios das entrequadras. Essa solução permite a ligação de vias perpendiculares sem a necessidade de cruzamentos. São passagens exclusivas para automóveis.

- Passagem de níveis do Eixo Rodoviário Sul, altura da 110/210
- Passagem de níveis do Eixo Rodoviário Sul, altura da 111/211;
- Tesourinha da 202 Sul;
- Avenida L2 Sul, em frente ao Setor de Autarquias;
- Avenida W3 sul, entre a TV Nacional e o Pátio Brasil;

O diagnóstico do PDDU indica o grau de comprometimento da capacidade hidráulica das galerias de macrodrenagem. Na Figura 19 o que se vê em vermelho são trechos do sistema de drenagem nos quais as galerias se encontram subdimensionadas diante do atual escoamento superficial e, portanto onde existem alagamentos.

Figura 19 - Pontos de alagamento no Plano Piloto



Fonte: Produção da autora

Na Asa Sul o ponto mais crítico de alagamento é passagem de níveis do Eixo Rodoviário Sul, altura da 110/210. Já na Asa Norte os pontos mais críticos estão localizados na Bacia do Iate (Faixa 02-03). Parte desses alagamentos acontece pelo aumento da impermeabilização do solo ocasionada pelas alterações nas taxas de ocupação dos lotes em locais a oeste, faixa das quadras 900 ou acima. Isso ocasiona a

sobrecarga nos condutos de drenagem e, por consequência, gera os alagamentos se maior carreamento de detritos para o curso d'água receptor, o Lago Paranoá. A consequência é o assoreamento e perda de qualidade das águas que hoje são de abastecimento.

Em síntese, se encontra assim descrito no PDDU (2008) os problemas de drenagem urbana de Brasília bem como suas causas:

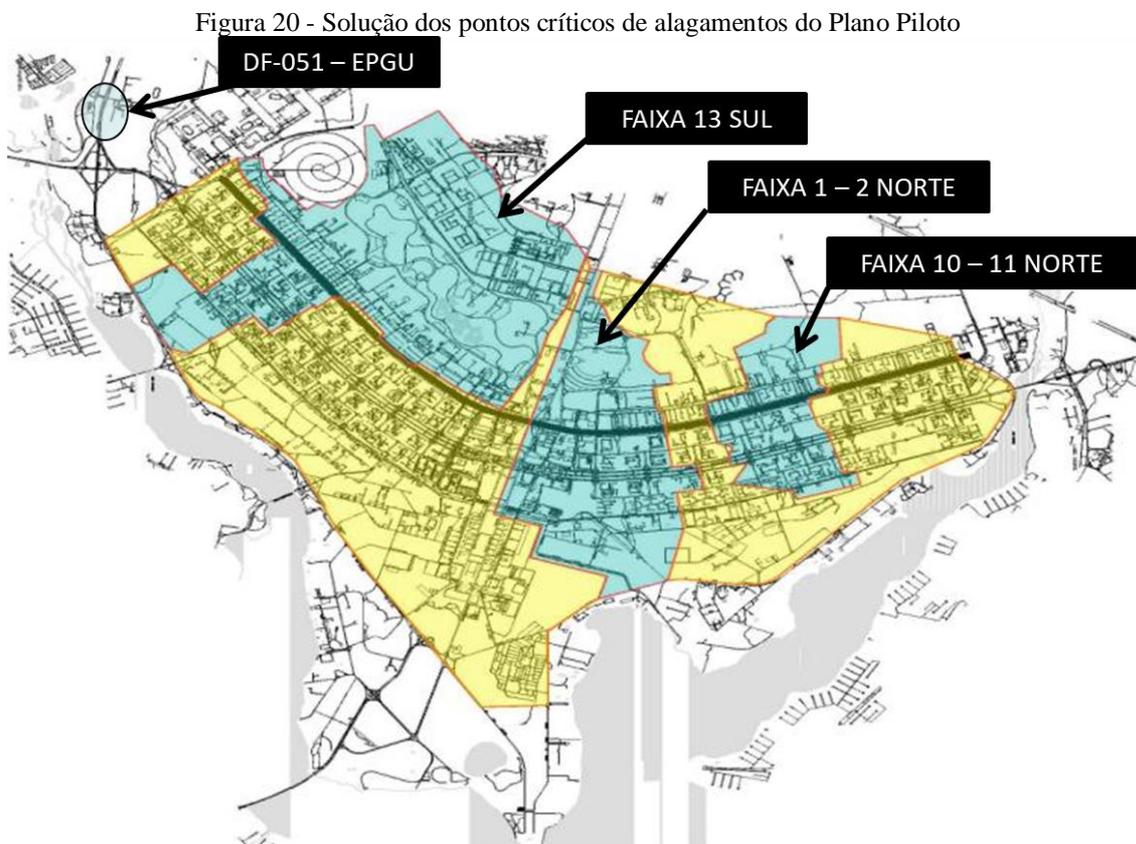
1. Parte da área do Plano Piloto e das outras áreas administrativas não possui sistema de microdrenagem. Esta condição tende a aumentar o risco de ocorrência de alagamento nas ruas pela concentração do escoamento nas áreas de maior declividade;
2. O tempo de retorno de projeto adotado na cidade tem sido de 5 anos, o que é baixo para avenidas mais importantes e sistemas de macrodrenagem. Isto torna frágil o sistema de transporte da cidade;
3. Com o aumento da impermeabilização, da vazão e da velocidade do escoamento, tem resultado em grande número de áreas degradadas em áreas de alta declividade por todo o Distrito Federal;
4. Os mananciais urbanos estão sendo contaminados pelas águas pluviais, principalmente o Lago Paranoá. Somente o problema não é maior de idade significância devido ao grande número de áreas verdes do Plano Piloto, mas com a densificação isto deverá se agravar. Este problema é maior no período de outubro a abril, que é o período chuvoso.
5. Os métodos de projeto na cidade estão totalmente ultrapassados, pois não consideram o controle do escoamento na fonte, transferindo para o poder público a responsabilidade dos impactos. (GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL, 2008, p. 47).

Para sanar os problemas de alagamentos urbanos (efeitos) e melhor gerenciar o ordenamento do solo e deficiência da rede (causas) o Plano Diretor de Drenagem prevê medidas de controle não estruturais como: legislação para o controle de impactos, gestão para implantar o plano de drenagem existente e programas para a capacitação e regulamentação e, também estruturais como intervenções na rede.

Em 2009 o Governo do Distrito Federal lançou um programa de gestão das águas de drenagem urbana do DF conhecido como Águas do DF. Os objetivos desse programa eram: melhoria dos sistemas de drenagem urbana, solução para os problemas recorrentes de inundações, proteção de nascentes e recuperação de erosões, e reforço do arcabouço legal e institucional do DF para a gestão dos recursos hídricos.

No Plano Piloto o Águas do DF pretendia reforçar toda a rede: faixa 1 e 2 da Asa Norte (macrobacia do Iate clube), faixa 10 e 11 Norte (essa faixa será estudada nesse trabalho), Faixa13 da Asa Sul e DF-051 – EPGU (em frente ao Zoológico). Para tanto, elaborou projetos para ampliação da rede por meio de métodos tradicionais com uma

bacia de detenção antes do lançamento, técnica recorrente nesse modelo de projeto. Esses pontos de intervenção na drenagem do Plano Piloto estão ilustrados na Figura 20.



Fonte: Arquivo pessoal

Esses são os principais projetos para a solução dos alagamentos do Plano Piloto, porém nenhum foi implementado. Essas propostas como já referido se referem a projetos tradicionais (favorece o rápido escoamento e pouco considera a infiltração e manutenção do ciclo hidrológico) e tem sido discutida tanto pelo seu custo como pelo impacto ambiental e, também, a patrimonial visto que Brasília é uma cidade tombada como Patrimônio Cultural da Humanidade (impacta a paisagem do conjunto tombado devido à grande bacia de detenção que não possui tratamento de integração a paisagem). Outra crítica importante das soluções apresentadas tem sido o impacto sobre o Lago dado sua condição de manancial de abastecimento, pois são soluções que possuem potencial de continuar a gerar carreamento de material particulado para o Lago Paranoá impactando sua qualidade.

São críticas que possuem respostas nas estratégias de infraestrutura verde, pois um de seus objetivos é exatamente a integração das soluções de drenagem sustentável à composição da paisagem.

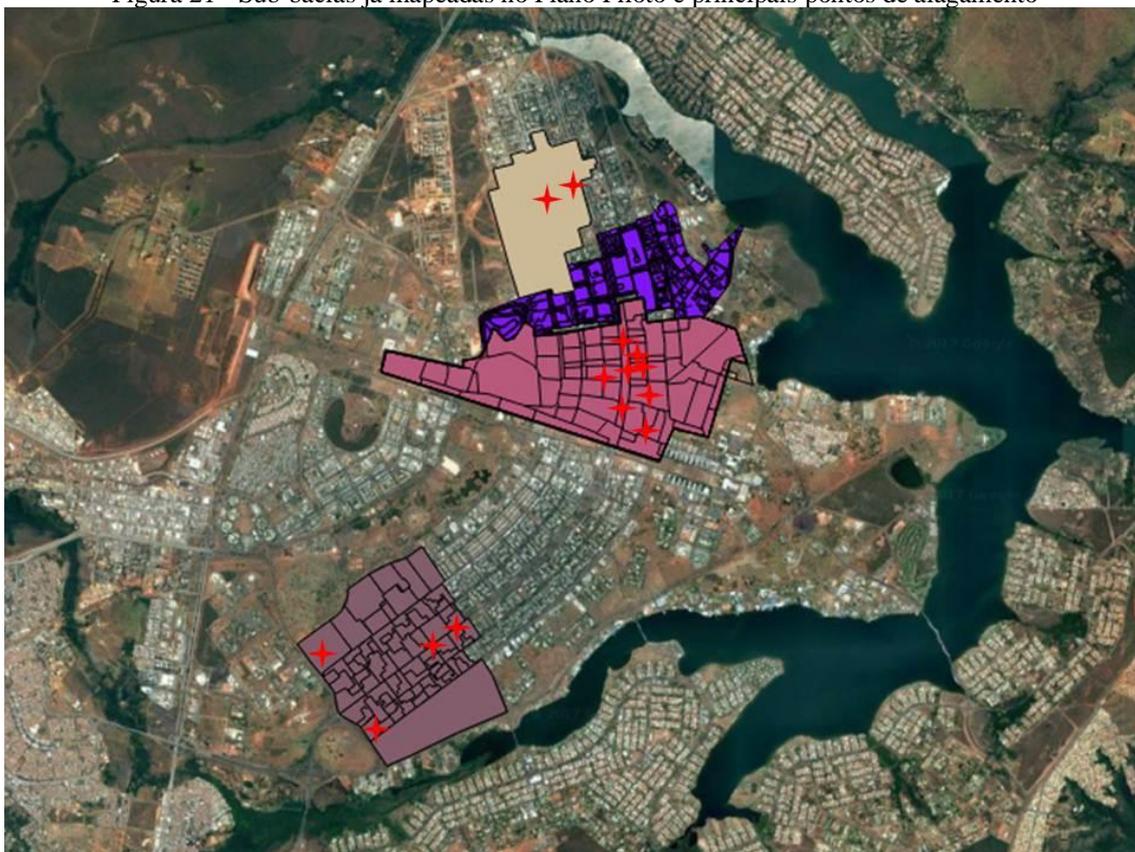
3.5 Definição da macrobacia de estudo

Diante das condições descritas do sistema de drenagem implantado no Plano Piloto e das características de morfologia urbana da região, com grande presença de áreas verdes, Brasília se mostra como o caso exemplar para testar a hipótese da tese quanto ao desempenho das áreas verdes e elementos de infraestrutura verde para solução de drenagem urbana.

A compreensão do sistema de drenagem do Plano Piloto e de suas bacias de drenagem foi essencial para definir a área de estudo onde se vai avaliar o potencial das áreas verdes para solução dos problemas de alagamento.

Dentre os pontos de alagamento identificados no item 3.4 foi considerado os locais onde possuem projeto elaborados pelo GDF com abordagem convencional. Essa análise foi feita junto a ADASA e, também, no Grupo de Estudo Hidrológico e Hidráulico da FT/UnB. Outro aspecto destacado foi a existência do mapeamento e modelagem das bacias com maiores problemas de alagamento. Assim, se identificou que às únicas bacias já modeladas passíveis de serem analisadas por meio de simulações e assim realizar uma comparação entre propostas de soluções para os problemas instalados forma as constantes da Figura 21.

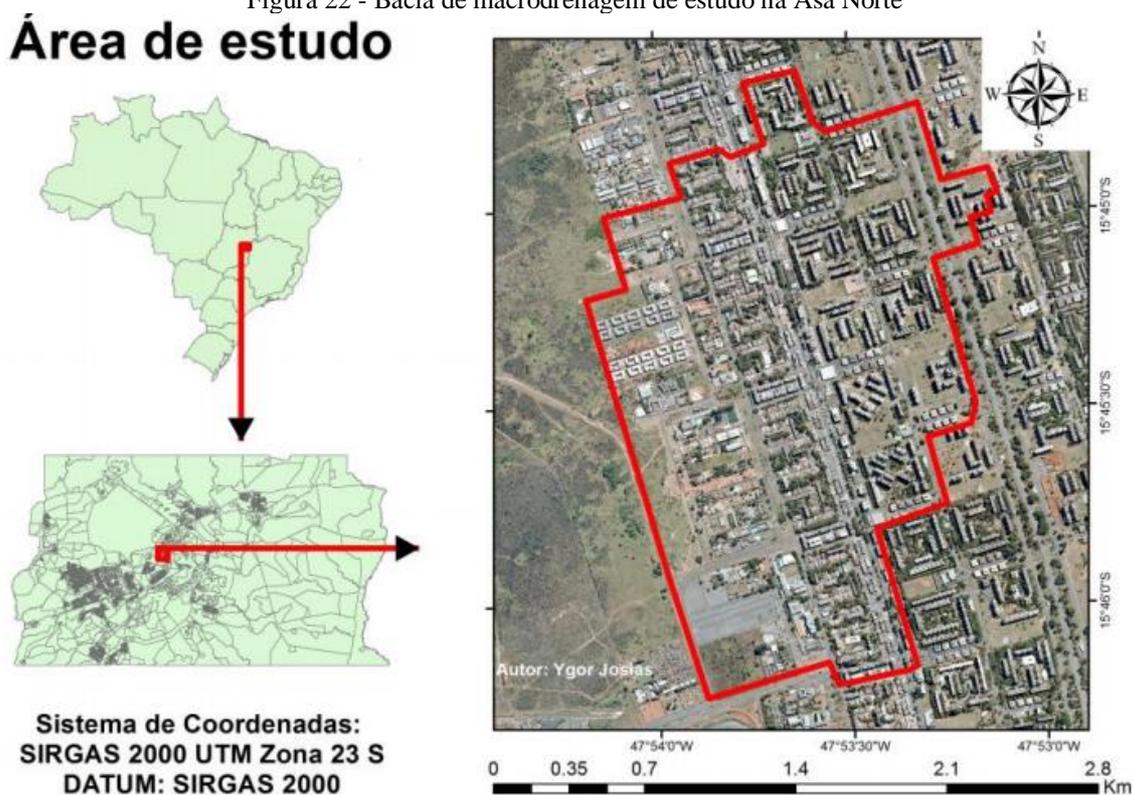
Figura 21 - Sub-bacias já mapeadas no Plano Piloto e principais pontos de alagamento



Fonte: Produção da autora

Devido a essa limitação de dados existentes e considerando, ainda, as áreas onde existem projetos elaborados pela GDF com condições de serem comparados, o recorte dessa pesquisa se deu na bacia de macrodrenagem da Brasília que é conhecida como Faixa 10-11 Norte. A delimitação e modelagem dessa área de contribuição foi realizada por PINTO (2017) que inferiu esse limite por meio de observação e estudos da rede de drenagem da região. Essa área possui 3,5 km² e compreende zonas urbanizadas e áreas verdes que englobam as seguintes Superquadras Norte: 907,908,909, 910, 911, 912, 913, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 509, 510, 511, 512, 513, 309, 310, 311, 312, 313, 314,110, 111, 112, 113 e 212. A macrobacia de estudo é ilustrada na Figura 22.

Figura 22 - Bacia de macrodrenagem de estudo na Asa Norte



Fonte: ALVES *et al.* 2017 p.4

Tal área de contribuição possui uma rede de drenagem no qual o exutório final está em uma de área de nascente com vegetação nativa e acesso restrito localizada entre às superquadras 212 e 213 norte, apresentado na Figura 23. No local há um curso d'água intermitente que nasce nessa entrequadra (212/213 norte) e corre para o Parque Olhos d'água e deságua no Lago Paranoá em região próxima à estação de tratamento de esgoto do CAESB.

Figura 23 - Região do exutório com nascente e mata nativa na EQN 212/213



Fonte: arquivo pessoal

A identificação do local do exutório final segundo PINTO (2017) - se deu por meio de análise de plantas de rede de drenagem constante na ADASA, sendo esse o ponto inicial do estudo de delimitação da bacia de macrodrenagem. Para realização da delimitação da bacia foram realizados estudo de vários mapas e diferentes plantas com o agravante de que muitas vezes as delimitações variavam em relação a área de contribuição. Assim, PINTO (2017) sobrepôs as informações dos vários mapas com o auxílio do software ARCGIS e definiu ponto a ponto a rede drenagem e sua área de contribuição, eliminou os condutos repetidos ou que drenavam para outro exutório. Posteriormente, definiu a rede de drenagem pluvial da região observando mapa de topografia e outros limites²⁴.

Quanto a análise dos espaços verdes da área de estudo (a chamada Faixa 10-11) se pode verificar nessa pesquisa que esses são vários, mas o objetivo foi localizar áreas que poderiam contribuir para minorar os alagamentos mais significativos que se identificou como sendo dois pontos, mais especificamente entre a Avenida W2 Norte (entre a SQN

²⁴ Informações foram dadas pelo autor Ygor Pinto em entrevista para elaboração dessa tese em 10/09/2018.

311 e a SEPN 511) e na tesourinha da 211 e 212 norte. Há um terceiro ponto de extravasamento da rede – adjacente a poligonal da Faixa 10-11 Norte – na via que liga às quadras 109 e 209 Norte. Os 3 pontos críticos podem ser vistos na Figura 24.

Figura 24 - Alagamentos na Faixa 10-11 norte



Fonte: Produção da autora

A Figura 25 mostra um alagamento na W2 Norte, entre a SQN 311 e SEPN 511. Já a Figura 26 mostra outro alagamento nos limites da macrobacia da faixa 10-11 Norte, na via que liga a 109 a 409 norte.

Figura 25 - Alagamento na W2 Norte



Fonte: <<http://g1.globo.com/distrito-federal/fotos/2012/11/chuva-causa-alaga-ruas-em-brasilia-veja.html>>

Figura 26 - Alagamento nos limites da faixa 10-11 Norte



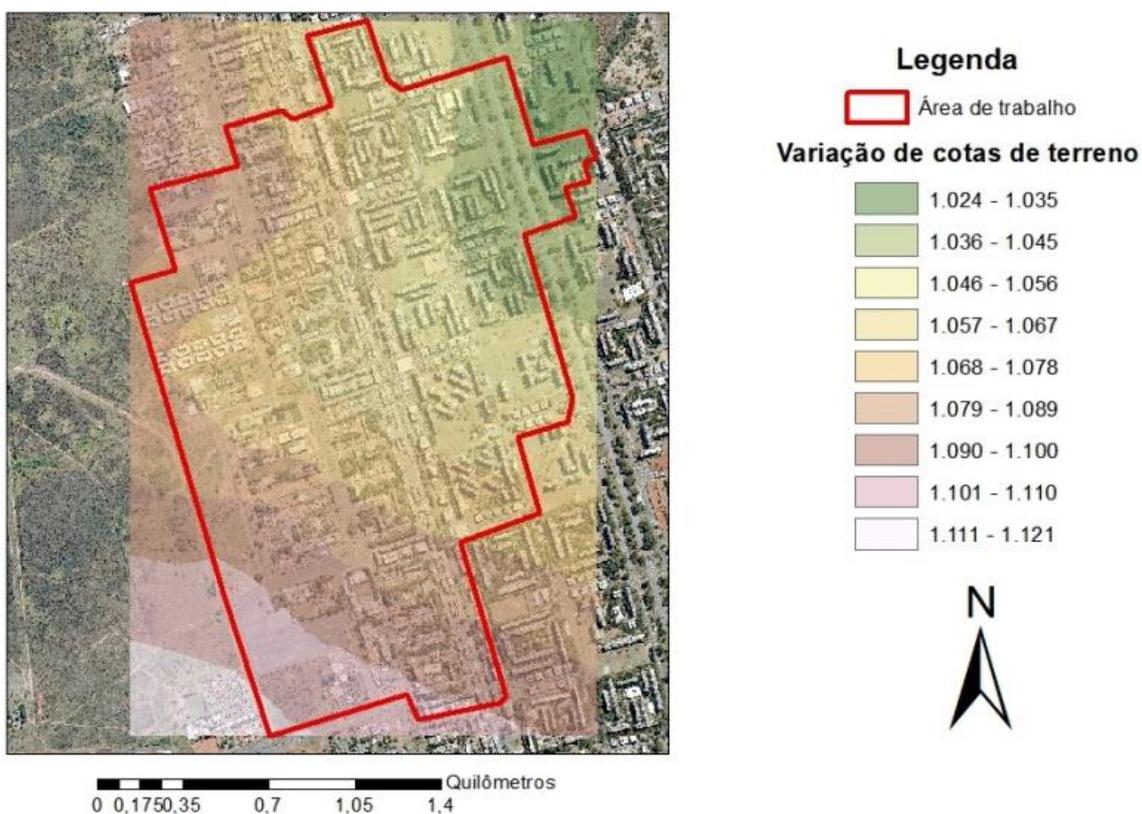
Fonte: PINTO, 2017, p.32

Para compreender o percurso natural das águas pluviais na superfície da bacia de macrodrenagem é necessário avaliar a topografia. Observou-se que a cota mais alta da

área de estudo fica na SGAN 907 com cota de 1113,76m. Em contrapartida, a menor altitude é de 1025m no exutório final. Na Figura 27 podemos ver a declividade natural do terreno.

Figura 27 - Mapa de declividade da área de estudo

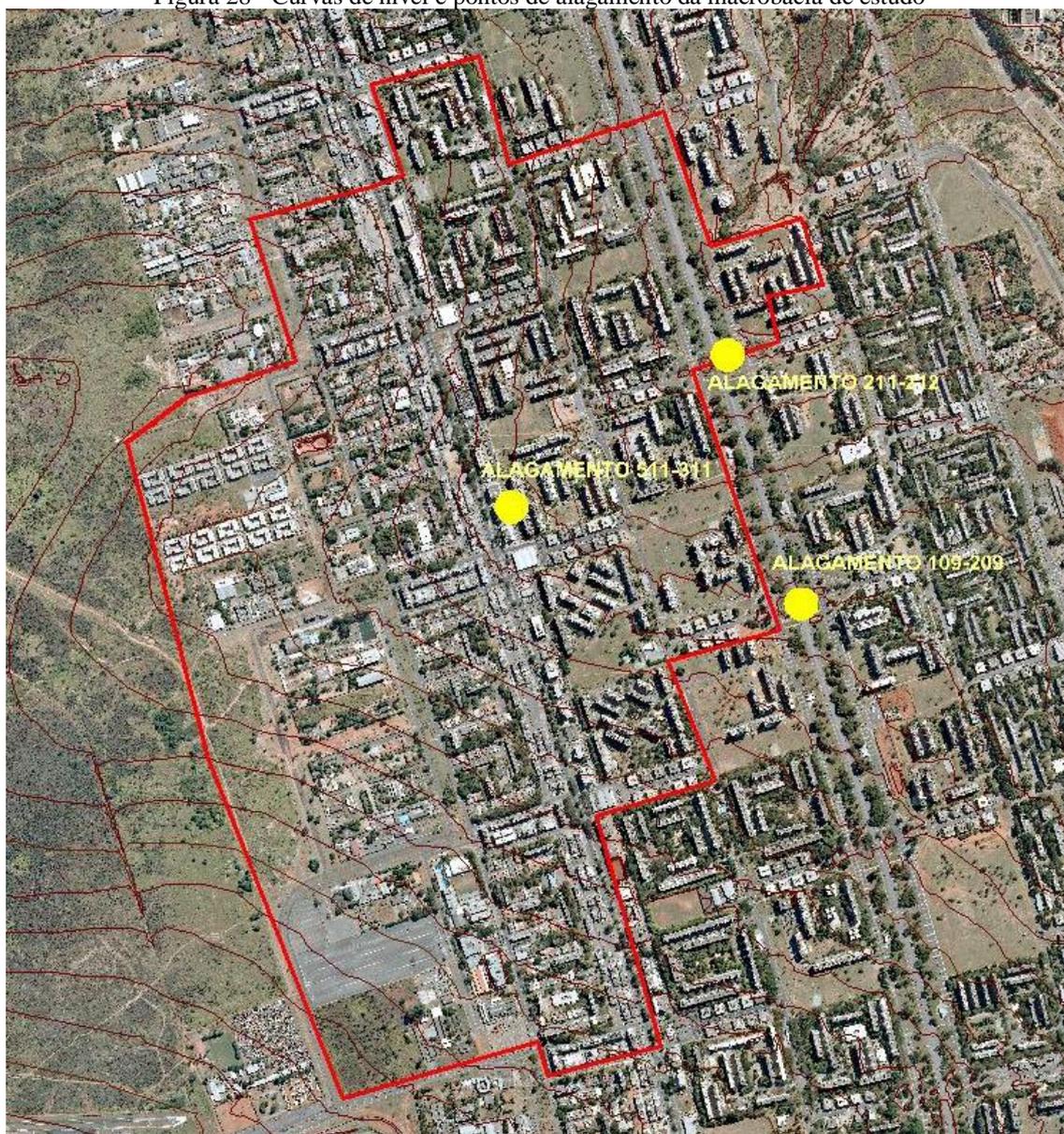
Declividade da área de trabalho



Fonte: Produção da autora

Ao avaliar as curvas de nível do sítio percebe-se que o ponto de extravasamento da rede, a cota do pior alagamento, acontece entre a SQN 311 e a SEPN 511 com cota de, aproximadamente, 1058 m. O segundo ponto crítico, tesourinha entre a SQN 211 e 212 a cota é 1032,17m. O terceiro ponto no qual acontece problema de drenagem da região fica na tesourinha entre a SQN 209 e 210 que possui cota de 1050,74 m. Estes estão destacados na Figura 28.

Figura 28 - Curvas de nível e pontos de alagamento da macrobacia de estudo



Fonte: SICAD com adaptações da autora

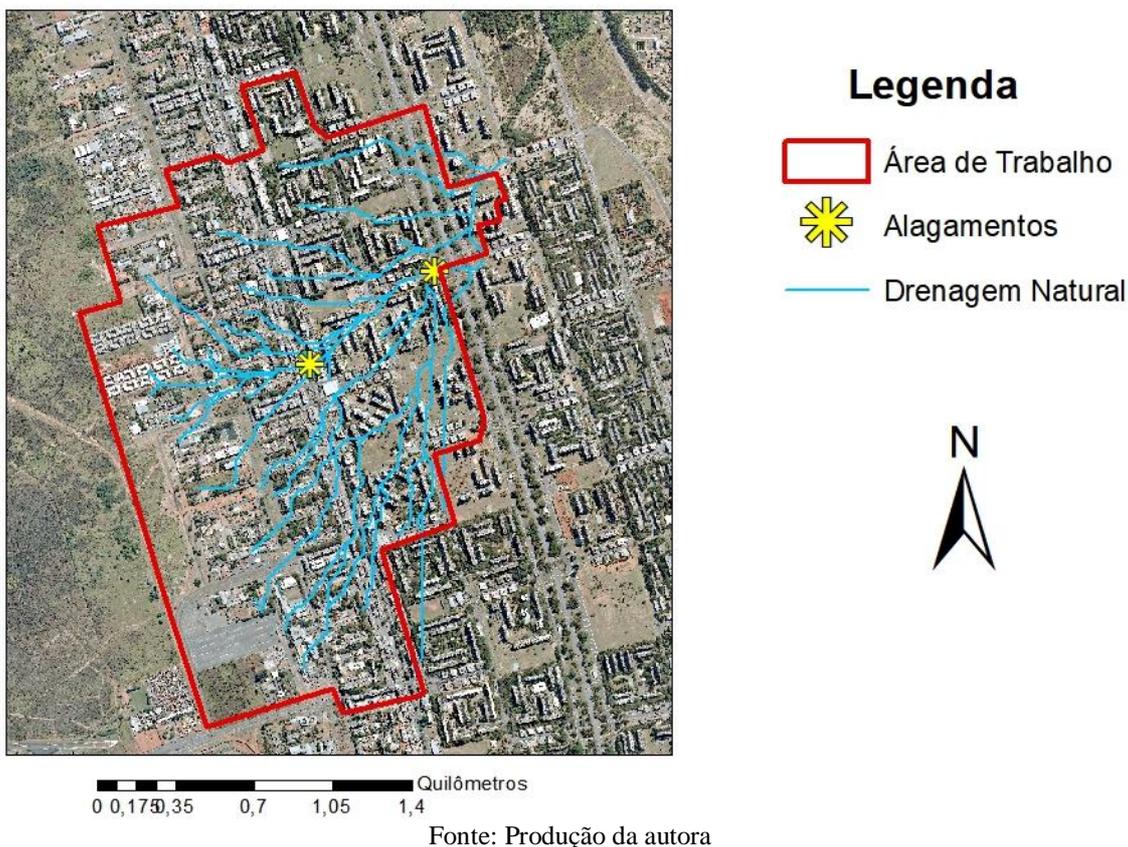
De acordo com a análise da topografia percebe-se que as curvas de nível da área de estudo tendem a formar uma depressão alongada - uma espécie de vale - que se evidencia na área de mata nativa do exutório. Esse caimento natural do terreno é um dos fatores que ocasionam o alagamento no Setor de Edifícios Públicos Norte (SEPN) 511, pois esse ponto fica na convergência das curvas de nível.

Ao se observar o fluxo natural das águas pluviais que foi gerado pelo programa ArcGIS, na Figura 29, verifica-se que essas tendem a escoar em direção à região do exutório, e convergir justamente para os pontos onde acontecem os principais problemas de alagamentos (511/311 Norte e na tesourinha da 211/212 Norte). Assim, percebe-se que

naturalmente - independente a existência da impermeabilização do solo gerada pela urbanização – que a topografia da região faz com que exista o acúmulo de águas pluviais nos pontos problemáticos.

Figura 29 - Drenagem natural das águas na macrobacia de estudo

Drenagem Natural das águas pluviais



Além da tendência espontânea do escoamento das águas, é notório que as alterações de ocupação do solo nas áreas mais altas da bacia - na região das 900 da Asa Norte – agravam os alagamentos de sistema viário (caso da W4 Norte e tesourinhas). As maiores taxas de ocupação nas áreas de entrequadras significam maior impermeabilização e/ou compactação do solo, fatores que também agravam os problemas nos pontos que já seriam críticos pela própria topografia. Corroboram com a situação de criticidade descrita acima, um relatório da Secretaria de Estado de Obras que sobre a área assim, se refere:

Os problemas de drenagem existentes, verificados nesta bacia “Faixa 10 -11 Norte” são os nas tesourinhas e principalmente o ocorrido na via W3, na altura da 511 Norte, bem alagamentos constantes como a deficiência da microdrenagem nas vias W4 e W5, tendo como principal causa o aumento da impermeabilização da área de contribuição a montante, advinda da implantação de conjuntos residenciais, abertura

de novas vias e pátios de estacionamento. (GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL, 2009, p.6).

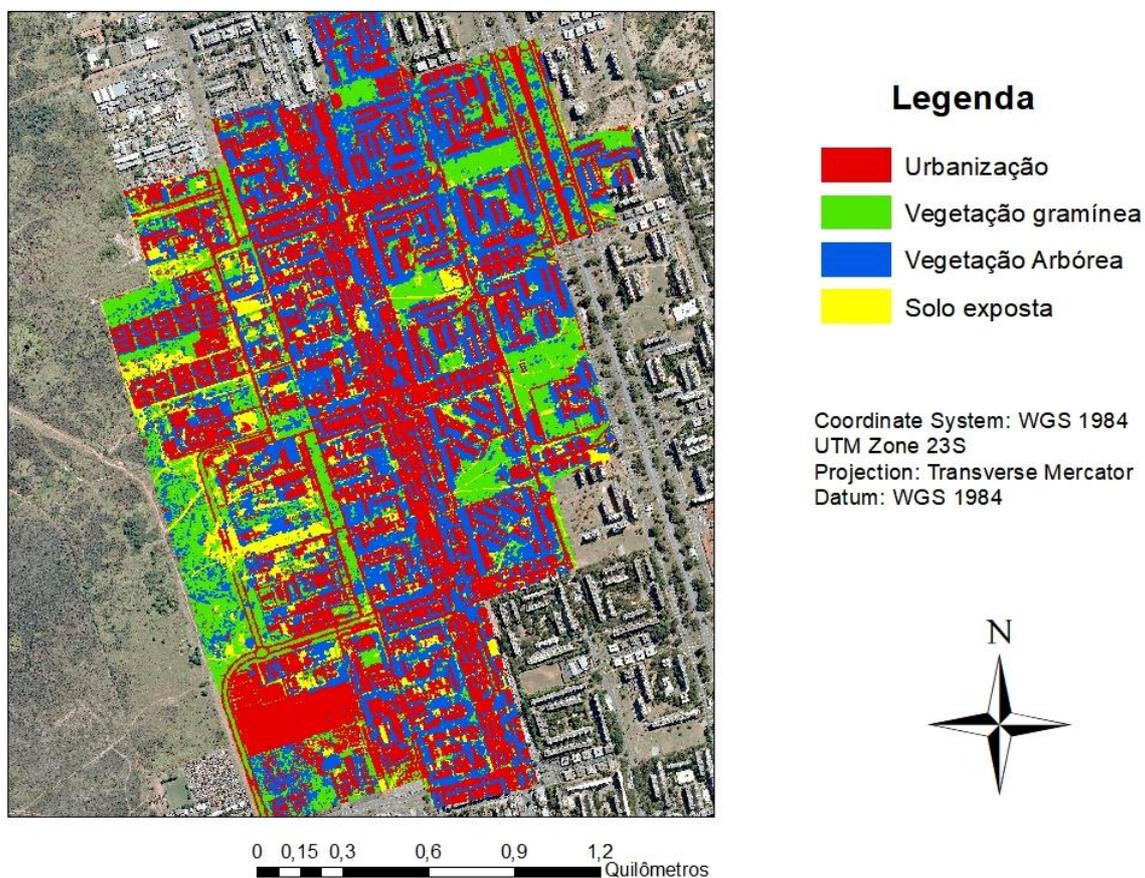
Sobre os problemas que a obsolescência da rede nessa área pode contribuir em termos de impactos ao Lago Paranoá, além de danos ao patrimônio e operacionais a cidade, estudo de COSTA *et al.* (2017, p. 2) assim se refere:

A Asa Sul, pertencente à região administrativa do Plano Piloto, que foi projetada na década de 60, possui uma rede de drenagem que ainda não se enquadra na legislação vigente, sem nenhuma medida de controle de vazão e qualidade. Os lançamentos finais de rede são, em sua totalidade, diretos, tendo como corpo receptor o Lago Paranoá, local a ser destinado para captação de água para abastecimento da cidade ainda no ano de 2017. A região recebeu ao longo do tempo uma ocupação intensa, predominantemente residencial e comercial, possuindo atualmente cerca de 175 mil habitantes, com uma renda per capita elevada (Codeplan, 2016), e em situação estável quanto ao uso e ocupação, possuindo serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos e resíduos sólidos (COSTA *et al.* 2017, p. 2).

Quanto ao grau de ocupação do solo na área esse se caracteriza como aquele já descrito quando do estudo das áreas verdes no Plano Piloto, possui apenas 37% da área ocupadas com edificações e sistema viário e 63% e composta por espaços livres com vegetação como: campos abertos, vegetação rasteira e bosque apesar de não poderem ser consideradas integralmente como áreas permeáveis devido ao grau de compactação em várias regiões. A Figura 30 mostra um mapa de uso e ocupação da macrobacia de drenagem estudada. Devem-se considerar as alterações ocorridas nas taxas de ocupação dos lotes na faixa das 900 que ficam a montante da área.

Figura 30 - Mapa de uso e ocupação da macrobacia de estudo

Mapa de Uso do Solo



Fonte: Produção da autora

Como exposto nas premissas dessa tese a disponibilidade de espaços verdes propicia condições para a instalação de dispositivos de infiltração que pode sanar ou atenuar os pontos de alagamento. Tais dispositivos que denominaremos apenas de LIDs, mas que se referem além das LIDs propriamente ditas de um tratamento de técnicas de infraestrutura verde e arquitetura da paisagem se constitui o que se pretende avaliar enquanto drenagem sustentável.

Ao avaliar o mapa de uso e ocupação do solo, presume-se que os espaços mais favoráveis para propor LID's são áreas públicas que possuem, hoje, vegetação gramínea e alguma vegetação arbórea (que são os espaços verdes livres na cidade) associada às condições topográficas nos pontos que contribuem para os alagamentos.

3.6 Drenar-DF: proposta do GDF para a área de estudo

O programa Águas do DF, já referido, foi instituído por meio do decreto nº 30.587 e visava basicamente reforçar e ampliar galerias existentes, construir novas redes de microdrenagem e reservatórios de detenção, popularmente chamados de piscinões. No que se refere ao projeto para a Faixa 10 e 11 Norte o projeto abrange uma área que corresponde as imediações da Casa do Ceará, envolvendo parte do estacionamento do UNICEUB e desce, no sentido oeste-leste, até a via L4, abrangendo as quadras de numeração terminal 11 e 12 como se vê na Figura 31.

Figura 31 - Bacia de Contribuição da Faixa 10 – 11 Norte delimitada no Drenar DF



Fonte: GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL, 2009, p. 5

Em síntese as características do projeto podem ser assim descritas:

- Rede de microdrenagem na via W5, projetada para interceptar as vazões de cabeceira, com deságue previsto na galeria 2, na altura da quadra 911N, desafogando as galerias 1, 3 e 4;
- Substituição de um trecho de tubulação de diâmetro 1,00 m, que deságua na macrogaleria 2, na SQN 711, por um de 1,20 m, para eliminar o alagamento que aí ocorre e;
- Prolongamento da galeria 2 para eliminar a ligação provisória 2 Ø 1,50 m, com a macrogaleria 1.

Adicionalmente as estas medidas estruturais foi também proposta a utilização de uma bacia de retenção, para acumulação das primeiras águas de chuva, visando à melhoria da qualidade da água pluvial lançada no Lago Paranoá. (GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL, 2009, p. 15).

Para a Faixa 10-11 Norte a proposta prevê a implantação de uma rede de microdrenagem, uma galeria de reforço e uma bacia de detenção, também, a céu aberto

de cerca de 40.000m³ de capacidade localizada ao longo de 800m e com 1,80m de profundidade localizada no canteiro central da via L4 norte. Essas alternativas podem ser observadas na Figura 32.

Figura 32 - Soluções de drenagem do Drenar DF



Fonte: GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL, 2009, p. 15

A crítica à essa alternativa proposta pelo GDF é que a solução apontada se baseia no sistema de drenagem tradicional (que integra o metabolismo linear urbano com impactos sobre a recarga de aquíferos e qualidade das águas do Lago Paranoá) e tem elevados custos financeiros envolvidos.

Adiciona-se, ainda, o fato de ser uma solução estática, pois, logo que novas alterações de uso do solo acontecerem, o sistema voltará a entrar em obsolescência e, mesmo considerando uma abordagem tradicional, o projeto visa apenas resolver o problema de sobrecarga das macrogalerias.

A única opção compensatória inserida no projeto trata-se de uma bacia de retenção no canteiro da via L4 Norte com alto impacto na paisagem urbana. O problema é que como tal bacia é prevista numa área muito próxima ao lago (ver Figura 33) pode-se dizer que

seu maior benéfico seria para a qualidade da água que drena para o Lago sem significar uma solução para os alagamentos.

Figura 33 - Bacia de retenção na via L4 Norte proposta pelo Drenar DF



Fonte: GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL, 2009, p. 136

Ao avaliar o projeto do Drenar DF e as normativas do IPHAN constata-se um conflito visto que a solução do “piscinão” proposto não se integra a paisagem por não dispor de nenhum elemento da arquitetura da paisagem. A bacia de retenção a céu aberto, nos moldes em que foi pensada, não harmoniza paisagisticamente com o entorno, como indicado pelo tombamento da capital. Por outro lado, o elemento de drenagem proposto tem potencial para funcionar como equipamento público de lazer se ajustado a solução de drenagem com as demais funções urbanas.

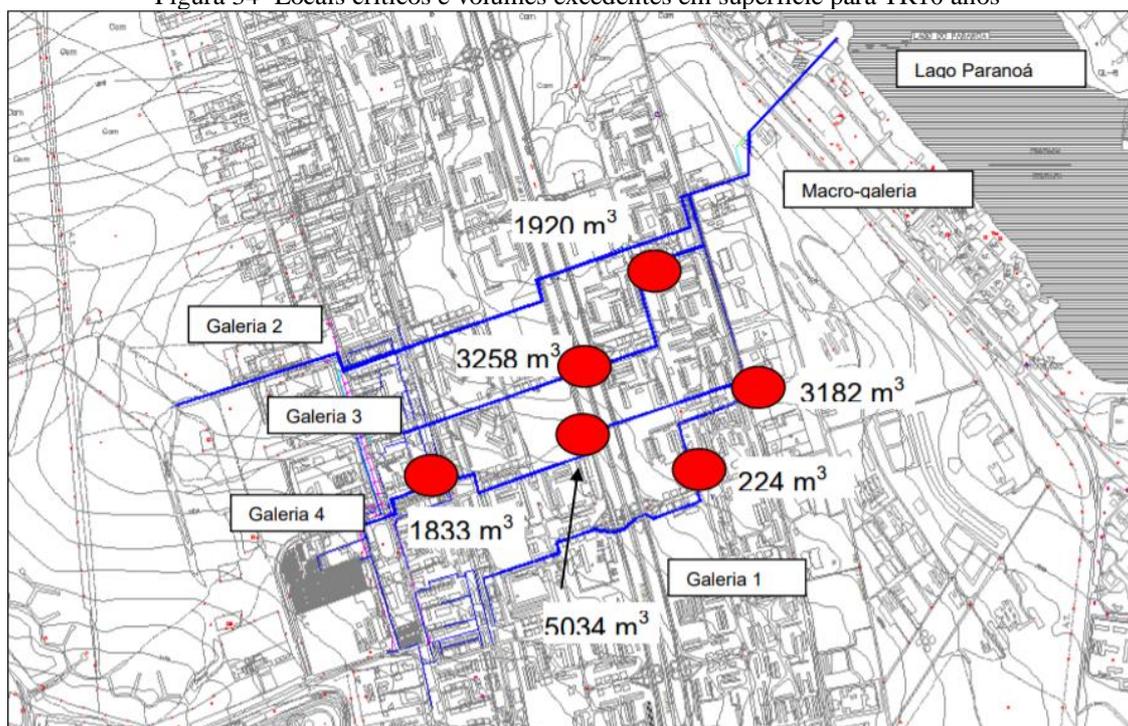
A bacia de retenção à céu aberto proposta se localiza em área caracterizada pela escala bucólica, conforme estabelecido pela Portaria IPHAN n° 314/92²⁵. O art. 8° da Portaria IPHAN n° 314/92 estabelece que “a escala bucólica, que confere à Brasília o caráter de cidade-parque, configurada em todas as áreas livres contigua a terrenos ou (...)

25 INSTITUTO BRASILEIRO DO PATRIMÔNIO CULTURAL – IBC (atual IPHAN). PORTARIA N° 314, DE 08 DE OUTUBRO DE 1992. Aprova as definições e critérios para efeito da proteção do Conjunto Urbanístico de Brasília, tombado nos termos do Conselho Consultivo da SPHAN, homologada pelo Ministério da Cultura.

previstos para edificação e destinadas à preservação paisagística e ao lazer, será preservada (...)”.

O Relatório Técnico Consolidado das Medidas Estruturais propostas para solucionar os problemas de alagamentos diagnosticados no Sistema de Drenagem Pluvial da Faixa 10 - 11 Norte mostra o problema existente na rede pluvial dessa macrobacia. Na Figura 34 a seguir há indicação dos pontos de sobrecarga da rede, numa chuva com tempo de retorno (TR) de 10 anos, e seus volumes excedentes que extravasam.

Figura 34 -Locais críticos e volumes excedentes em superfície para TR10 anos



Fonte: GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL, 2009, p. 11

Como solução do Projeto para o alagamento da W2 Norte (entre as quadras 711 e 511) foi proposta a alteração do diâmetro do conduto que atualmente é de 1,00m, para 1,20m. Nessa alternativa, a rede ainda continuaria com sobrecarga, porém sem o extravasamento. A solução implica em obras com todas suas inconveniências e custos para uma ação paliativa diante do problema atual e com grandes possibilidades de que qualquer alteração de uso do solo venha a retomar a um problema igual ou maior que o atual.

A descrição da solução hoje em curso no GDF é feita no sentido de verificar se a alternativa baseada nas técnicas de drenagem sustentável (LIDs) com tratamento de

infraestrutura verde podem responder no sentido de sanar os alagamentos e contribuir com soluções de integração a paisagem.

3.7 Síntese do capítulo

Esse capítulo teve características descritivas, pois houve a narração detalhada do sistema de drenagem do DF e, posteriormente, do Plano Piloto. Explicou-se por que o Plano Piloto apresenta tantos espaços favoráveis para implementação de medidas de controle na fonte com a intenção a amortecer as deficiências do sistema de drenagem existente. Mas o principal objetivo foi a definição do objeto de estudo - macrobacia da faixa 10-11 Norte - suas características e problemas e potenciais para aplicação de medidas compensatórias de drenagem. Com intuito de estabelecer um contraponto foi apresentado a proposta existente para sanar os problemas de drenagem da macrobacia em questão, o Drenar DF.

4 CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS, SIMULAÇÃO E RESULTADOS

Esse capítulo constitui a parte prática do trabalho e trata inicialmente de um estudo das LIDs e suas funcionalidades para que sejam definidas as mais adequadas frente a característica dos problemas de alagamento identificados, e as condições oferecidas pelas áreas verdes integrantes da macrobacia estudada. A partir da revisão de bibliografia do capítulo 2 e do quadro síntese das medidas compensatórias de drenagem adotadas pela infraestrutura verde se utilizou o Manual de Drenagem da ADASA (2018) para proceder a avaliação das vantagens e desvantagens das LIDs. Com esses aspectos estudados foi possível construir 5 cenários e proceder a simulação hidrológica com uso do programa PCSWMM e por fim realizar a avaliação dos resultados obtidos.

4.1 Estudo das técnicas compensatórias adequadas a problemática estudada

Para definição das técnicas a serem utilizadas no caso de estudo se fez necessário uma avaliação das mesmas em relação a localização dos problemas identificados e das áreas disponíveis. Assim, é relevante destacar que dentre elas há aquelas que são técnicas lineares ou pontuais. As primeiras apresentam a dimensão longitudinal mais significativa do que sua largura e profundidade e costumam ser implantadas junto aos sistemas viários, como pátios, estacionamentos e arruamentos. Já as segundas, também podem ser chamadas de técnicas de controle centralizadas, e são usualmente associadas a áreas de drenagem de maior porte e tem como representantes desse grupo as bacias de detenção, retenção e pavimentos permeáveis.

A Tabela 6 indica quais LIDs tem características lineares e quais tem características pontuais.

Tabela 6 - Dispositivos de abatimento de vazão do Manual de Drenagem do DF

Dispositivo	Processo de abatimento de vazão		Características geométricas	
	Por infiltração	Por armazenamento	Linear	Localizada ou pontual
Pavimento permeável	x	x	-	x
Trincheira de infiltração	x	x	x	-
Vala de infiltração	x	-	x	-

Poço de infiltração	x	x	-	x
Microrreservatório	-	x	-	x
Telhado reservatório	-	x	-	x
Reservatório de detenção aberto	x	x	-	x
Reservatório de retenção aberto	x	x	-	x
Reservatório subterrâneo pontual	-	x	-	x
Reservatório subterrâneo linear	-	x	x	-
Faixa gramada	x	x	x	-

Fonte: ADASA, 2018, p. 91

No que se refere ao controle na fonte está previsto pelo Manual da ADASA dispositivos instalados no sistema de drenagem com a função de reduzir a vazão e o escoamento superficial por meio do armazenamento temporário e infiltração. Esses elementos podem ser localizados os lotes privados e em áreas públicas.

Para que essa pesquisa seja realista buscou-se conhecer o desempenho das LIDs indicadas pelo Manual de Drenagem do DF (2018) para então escolher quais as mais adequadas para a macrobacia de estudo. Assim, utilizaram-se dois trabalhos que abordam o tema: TUCCI (2005) e BRITO (2006). Na sequência se apresentam os estudos sobre as LIDs, no que se refere as suas vantagens de desvantagens, reunindo condições para que se escolha as mais adequadas ao problema estudado. Quanto aos dispositivos de abatimento de vazão se destacam onze técnicas:

- i. pavimento permeável;
- ii. trincheira de infiltração;
- iii. vala de infiltração;
- iv. poço de Infiltração;
- v. microrreservatório;
- vi. telhado reservatório;
- vii. reservatório de detenção aberto;
- viii. reservatório de retenção aberto;
- ix. reservatório subterrâneo pontual;
- x. reservatório subterrâneo linear;
- xi. faixa gramada.

Caracterização e avaliação das LIDs, estudadas:

Pavimentos permeáveis

São definidos como pavimentos que permitem certa infiltração de água, podem ser constituídos de vários materiais. São adequados para passeios, estacionamentos, quadras esportivas e ruas de pouco tráfego. Funcionam com um dispositivo linear e suas vantagens e desvantagens podem ser verificadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Vantagens e desvantagens dos pavimentos permeáveis

Pavimentos permeáveis	
Vantagens	Desvantagens
redução das vazões de pico	tendência à obstrução de poros
ganho financeiro pela redução das dimensões das tubulações	manutenção constante
redução do ruído de pneus	risco de poluição do lençol
redução das poças d'água	falta de estudos da utilização em áreas de grande tráfego
melhoria a aderência à circulação de veículos	
redução de poluentes por decantação	
recarga do aquífero	

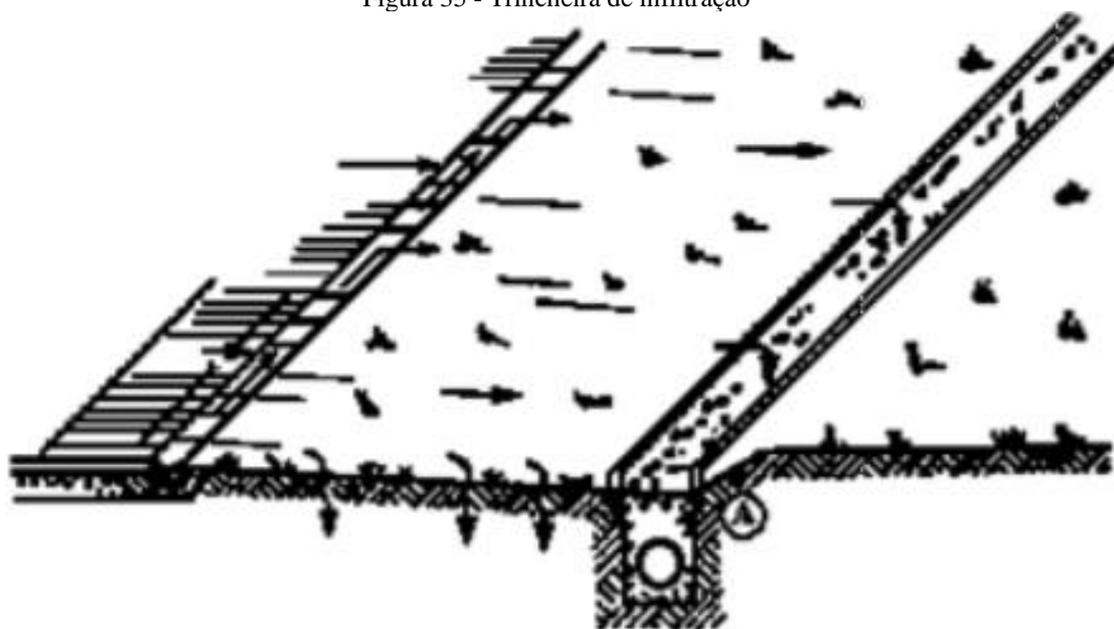
Fonte: BRITO, 2006, p.15

Trincheira de infiltração

TUCCI (2005) afirmar sobre trincheiras de infiltração: *` (...) existem vários tipos, de acordo com a sua disposição local. Em geral, a área de infiltração é um gramado lateral que recebe a precipitação de uma área impermeável, como em residência ou edifícios (...) durante precipitações intensas, essas áreas podem ficar submersas, se a sua capacidade for muito inferior à intensidade da precipitação. Caso a drenagem transporte muito material fino, a capacidade de infiltração pode ser reduzida, necessitando limpeza do plano para manter sua capacidade de funcionamento. (TUCCI, 2005, p. 110).*

A Figura 35 mostra um modelo de trincheira de infiltração.

Figura 35 - Trincheira de infiltração



Fonte: TUCCI, 2005, p. 111

As trincheiras de infiltração podem ainda ser revestidas por diferentes tipos de material como asfalto poroso, concreto, grama, entre outros. São indicados para estacionamentos, calçadas ao longo de uma via ou em jardins. Na Tabela 8 seguem as vantagens e as desvantagens desse dispositivo.

Tabela 8 - Vantagens e desvantagens das trincheiras de infiltração

Trincheiras de infiltração	
Vantagens	Desvantagens
redução das vazões de pico de escoamento a jusante	possibilidade de colmatção
ganho financeiro pela redução das dimensões das tubulações à jusante	manutenção regular específica
baixo custo	limitação de declividade forte
redução das inundações	risco de poluição do lençol subterrâneo
fácil construção	
boa integração no meio urbano	
recarga do aquífero e desnecessidade de exutório	

Fonte: BRITO, 2006, p. 22

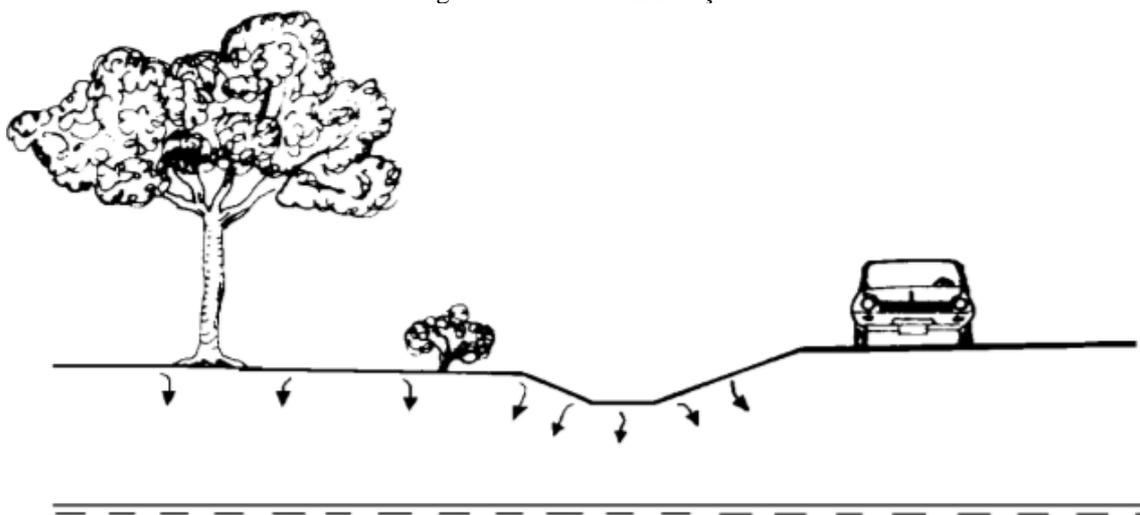
Vala de infiltração

As valas são depressões na superfície do solo que com função de recolher e armazenar temporariamente as águas da chuva. Sobre elas TUCCI afirma que:

Esses valos concentram o fluxo das áreas adjacentes e criam condições para uma infiltração ao longo do seu comprimento. Após uma precipitação intensa, o nível sobe e, como a infiltração é mais lenta, mantém-se com água durante algum tempo. Portanto, o seu volume deve ser o suficiente para não ocorrer alagamento. Esse dispositivo funciona, na realidade, como um reservatório de detenção, à medida que a drenagem que escoar para o valo é superior à capacidade de infiltração. Nos períodos com pouca precipitação ou de estiagem, ele é mantido seco. Esse dispositivo permite, também, a redução da quantidade de poluição transportado a jusante. (2005, p. 110 e 111).

A Figura36 mostra um corte esquemático de uma vala de infiltração.

Figura 36 - Vala de infiltração



Fonte: TUCCI, 2005, p. 111

Na sequência, BRITO (2006) resume o funcionamento das valas na a Tabela 9.

Tabela 9- Vantagens e desvantagens das valas de infiltração

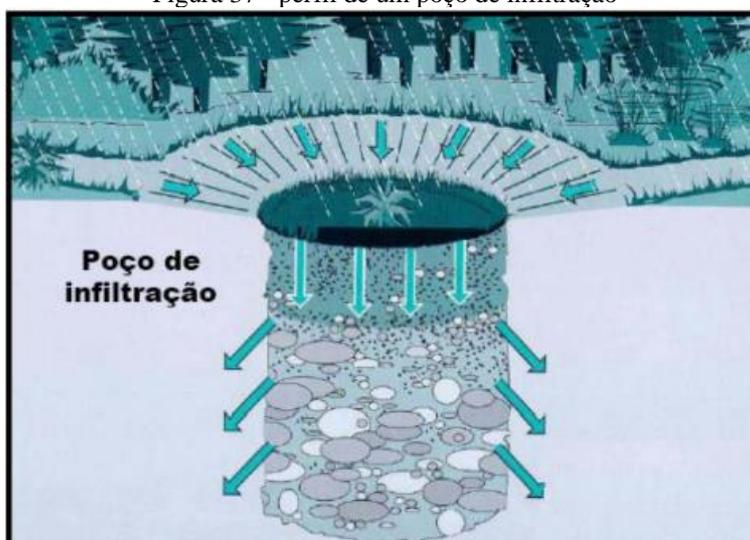
Valas de infiltração	
Vantagens	Desvantagens
ganho financeiro pela redução das dimensões das tubulações à jusante	possibilidade de colmatção
contribuir na criação da paisagem vegetal e áreas verdes	manutenção regular específica
redução dos riscos de inundações	risco de poluição do lençol subterrâneo
recarga do aquífero e desnecessidade de exutório	risco de estagnação da água nessas estruturas
pode eventualmente ser usada em espaços de lazer	
boa integração no meio urbano	
purificação da água por decantação	

Fonte: BRITO, 2006, p. 25

Poço de infiltração

Segundo BRITO (2006) os poços de infiltração armazenam os fluidos provenientes do escoamento superficial e são dispositivos pontuais que favorecem a infiltração das águas pluviais. Tem o funcionamento similar aos das trincheiras a infiltração, mas enquanto essas são lineares, os poços de infiltração são pontuais e verticais e podem ser preenchidos com materiais porosos. A Figura 37 mostra um modelo de poço de infiltração.

Figura 37 - perfil de um poço de infiltração



Fonte: BRITO, 2006, p.18

Na Tabela 10 há a descrição do desempenho esperado pelos poços de infiltração

Tabela 10 - Tabela de vantagens e desvantagens dos poços de infiltração

Poços de infiltração	
Vantagens	Desvantagens
redução dos volumes drenados pela rede de drenagem clássica	possibilidade de colmatção das superfícies de infiltração
ganho financeiro pela redução das dimensões das tubulações à jusante	manutenção regular
boa integração com meio urbano	risco de poluição do lençol subterrâneo
redução dos riscos de inundação	baixa capacidade de armazenamento
não necessita de exutório	
possível recarga do aquífero	
não há restrições em relação a topografia	
boa utilização no caso de solos superficiais pouco permeáveis	

Fonte: BRITO, 2006, p.19

Telhado reservatório

Os telhados armazenadores se encarregam do armazenamento provisório das vazões escoadas. Podem ser utilizados em telhados planos ou dotados de ligeira declividade com a implantação de compartimentos. A Tabela 11 mostra as vantagens e desvantagens dessa LID.

Tabela 11 - Vantagens e desvantagens dos telhados armazenadores

Telhados armazenadores	
Vantagens	Desvantagens
redução das vazões escoadas à jusante	manutenção regular
ganho financeiro pela redução das dimensões das tubulações à jusante	dificuldade de utilização em telhados em elevadas declividades
não necessitam grandes investimentos	risco de poluição do lençol subterrâneo
redução dos riscos de inundação	Necessidade de cuidados com cálculos de estabilidade, quando da implantação dessa técnica em telhados já existentes
boa integração em ambientes urbanos	
possível recarga do aquífero	
não há diferenças técnicas na construção em relação aos telhados convencionais	

Fonte: BRITO, 2006, p. 20

Reservatório de detenção e de retenção

A diferença entre os dois tipos de reservatórios está explicada na citação a seguir: “*Os reservatórios podem ser dimensionados para manterem uma lâmina permanente de água, denominados de retenção, ou para secarem após o seu uso, durante uma chuva intensa e depois utilizada para outras finalidades. Este tipo de reservatório é chamado detenção*” (TUCCI, 2005, p. 123).

Os reservatórios (ou bacias) de detenção abertos permitem o acúmulo temporário das águas. Suas principais funções são amortecer as cheias, reduzir o volume do escoamento superficial e diminuir a poluição de origem pluvial. Essas características permitem que os locais onde sejam inseridos funcionem como espaços multifuncionais que permitam a valorização da área urbana. Para isso, é necessário que haja um tratamento paisagístico. As vantagens e desvantagens das bacias de retenção estão na Tabela 12 apresenta:

Tabela 12- Vantagens e desvantagens das bacias de retenção

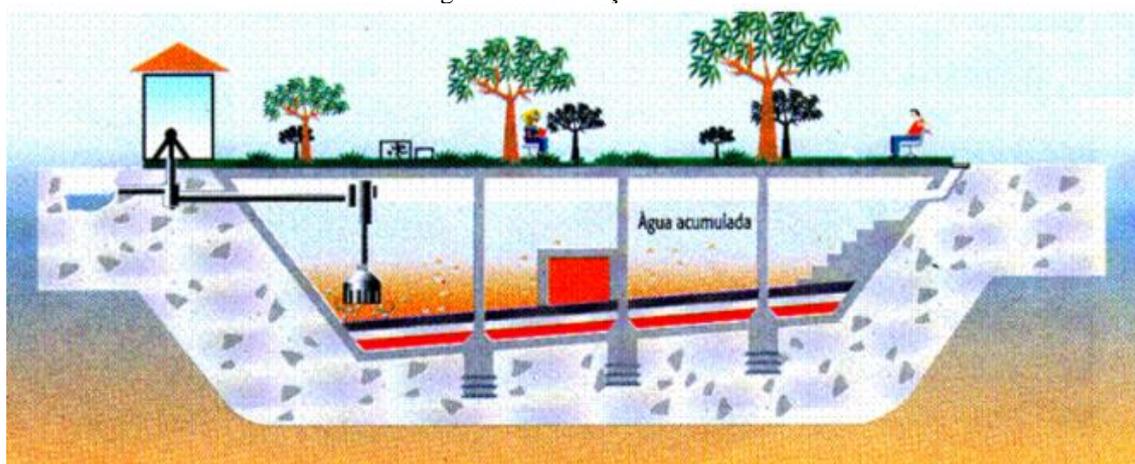
Bacias de retenção	
Vantagens	Desvantagens
efeitos paisagísticos com criação de áreas verdes em meio urbano	risco à segurança dos moradores às suas margens
armazenamento de volumes de água que podem ser utilizados para outros fins, como reserva para incêndio ou irrigação	ocupação de grandes áreas
bacias de infiltração podem possibilitar a recarga do aquífero e dispensam exutório e tubulações de descarga à jusante	risco de poluição de aquíferos no caso de bacias de infiltração
bacias secas permitem à utilização para prática de esportes	risco de proliferação de insetos e doenças vinculadas por eles nas áreas próximas a bacia de detenção
em área não completamente urbanizadas, as bacias podem servir como reserva ecológica, colaborando com a preservação da fauna e da flora	
as águas que passam pela bacia são decantadas e as partículas sólidas ficam retidas no fundo da mesma	

Fonte: Brito, 2006, p.13

Reservatórios subterrâneos pontuais e lineares

De acordo com TUCCI (2005), os reservatórios enterrados – pontuais ou lineares – são indicados para locais onde a topografia não favorece (ex: quando a drenagem está numa cota inferior à área de amortecimento) ou quando a superfície é destinada à outros usos. Essas LIDs podem ter bombeamento. Na Figura 38 há um exemplo de reservatório de detenção enterrado que permite usos públicos na superfície.

Figura 38 - Detenção fechada



Fonte: TUCCI, 2005, p. 126

Como visto na base teórica as técnicas compensatórias de drenagem urbana são inúmeras e se optou por tomar como parâmetro para escolha aquelas que são referidas

no Manual de Drenagem do DF (ADASA, 2018). As LIDs indicadas no manual de drenagem do DF possuem caráter normativo e logo os projetos de drenagem executados no Distrito Federal deverão observar os conceitos e parâmetros apresentados, o que não torna obrigatório o uso nessa pesquisa, mas desejável.

Ao avaliar as recomendações para medidas de controle na fonte e considerar os problemas e características da macrobacia, e seus espaços públicos livre para inserção das mesmas, conclui-se que as melhores LIDs são as apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 - Espaços livres e LIDs do Manual de Drenagem

LIDs/Locais	W4 Norte	W3 Norte	EQN	Eixão
pavimento permeável	-	-	-	-
trincheira de infiltração	x	x	-	x
vala de infiltração	x	x	-	x
poço de infiltração	-	-	x	-
microreservatórios	-	-	x	-
telhado reservatório	-	-	-	-
reservatório de detenção	-	-	x	-
reservatório de retenção	-	-	x	-
reservatório subterrâneo pontual	-	-	x	-
reservatório subterrâneo linear	x	x	-	x
faixa gramada	x	x	-	x

Fonte: Produção da autora

Percebe-se, na Tabela 13, que nas áreas que envolvem o sistema viário (canteiros das vias: W4/W5, W3 e eixo rodoviário) são recomendadas LIDs lineares por causa de suas características geométricas. Já nos espaços entre as superquadras, são mais adequadas as medidas de controle localizadas ou pontuais. Os pavimentos permeáveis e os telhados reservatório, não são indicados para esses espaços, pois neles não há estacionamentos e nem coberturas.

4.2 Construção de Cenários

Com a avaliação feita no item anterior é possível optar por aquelas LIDs que mais se adequem à área de estudo, considerando critérios urbanísticos (espaços livres disponíveis), ambientais (topografia) e sua disposição deve ocorrer próxima aos pontos de extravasamento e alagamento da bacia. As opções reforçam o que já foi estudado por

PINTO (2017) quando localizou algumas técnicas compensatórias ao longo da via W3 Norte na altura da 10/11 em suas áreas verdes e nas entrequadras norte 309/310, e 311/312.

Com a intenção de testar a eficiência das LIDs e, também, sua localização foram construídos 5 cenários, um com cada LID individualmente, para simulação, ajuste e retroalimentação e depois um estudo do conjunto de todas as LIDs. Para avaliação dos cenários foi feita uma avaliação dos seguintes critérios:

- i. vazão de pico no exutório (m^3/s);
- ii. amortecimento total causado pelo cenário (%);
- iii. excedente na superfície/extravasamento (m^3);
- iv. capacidade total de um conduto de análise (%);
- v. vazão máxima num conduto de análise (l/s);
- vi. extravasamento nos poços de visita num trecho da rede (m^3).

Do ponto de vista operacional os procedimentos consideraram inicialmente a topografia, as redes existentes e seus gargalos e o uso do solo na bacia de drenagem para alocação dos elementos de drenagem compensatórios mais adequados. Posteriormente, se avaliou as vantagens e desvantagens sobre a capacidade de infiltração e dimensionamento dos elementos para possibilitar as simulações sobre a capacidade de infiltração do escoamento superficial de modo que se possa verificar o grau de solução que representa para os problemas de drenagem instalados. Todas as etapas foram retroalimentadas até que se encontrasse o equilíbrio ideal entre as interferências na paisagem e a eficiência em termos de drenagem dos elementos adotados.

O objetivo foi encontrar uma solução de drenagem e de infraestrutura verde que seja capaz de: diminuir o escoamento no exutório e o escoamento superficial (principal fator que gera os alagamentos) e reduzir a sobrecarga da rede existente ao mesmo tempo em que se integre a paisagem.

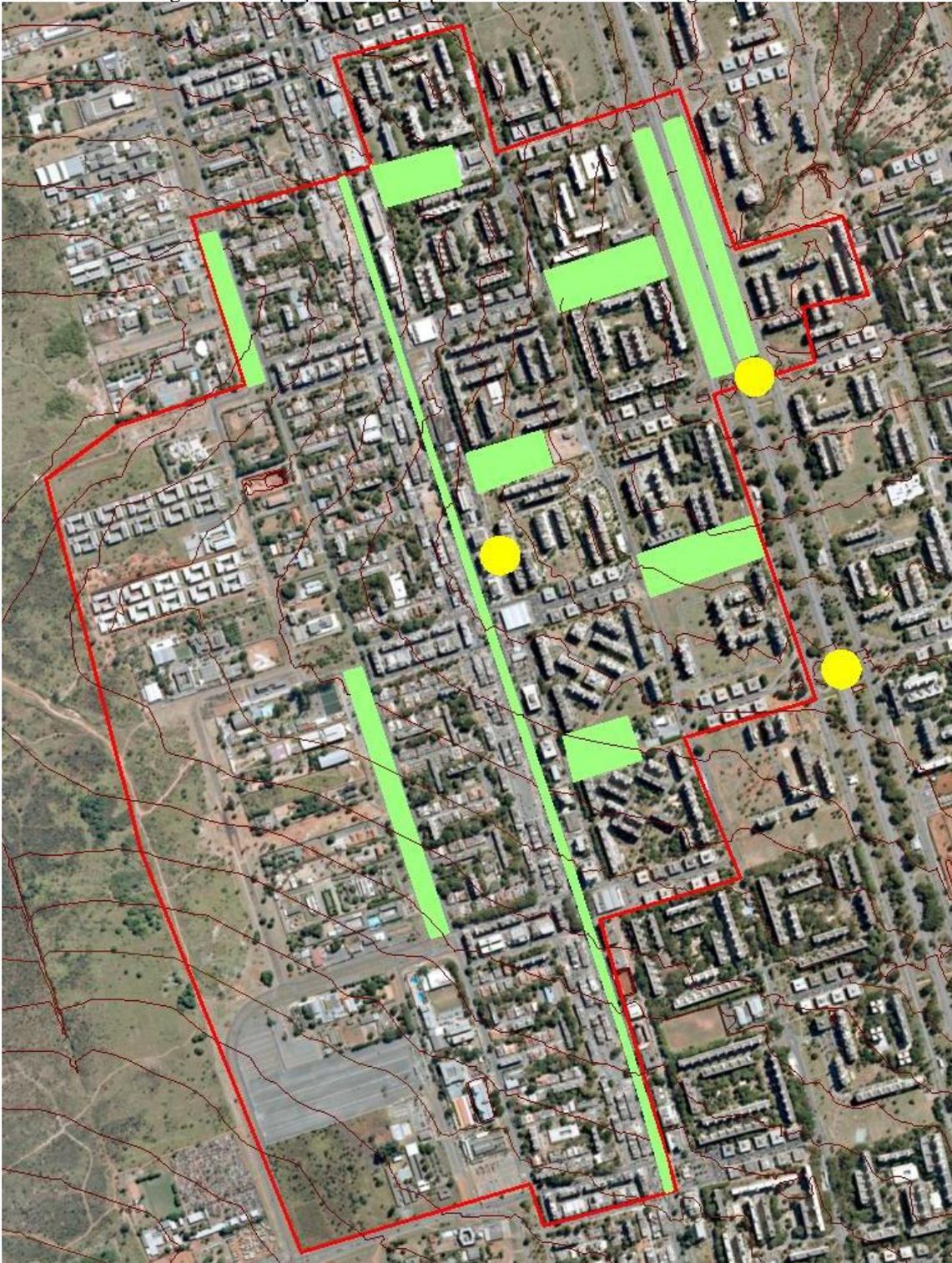
Para avaliar quais os espaços disponíveis foram procedida uma apreciação física do terreno (de carro e a pé) e uma análise de ortofotos- mapeamento aerofotográfico do DF feito em 2009 - disponibilizadas pela Secretária de Estado e Gestão do Território e

Habitação (SEGHT). Essa análise constatou os seguintes espaços públicos livres (ver Figura 39):

- canteiros entre as vias W4 e W5 norte;
- canteiros da via W3 norte;
- entrequadras norte;
- canteiros do eixo rodoviário norte (DF-002).

No mapa a seguir, Figura 39, verifica-se as áreas mais favoráveis para inserção de LIDs. Os locais em destaque são adequados, pois são livres e a topografia é favorável a fim de atenuar os problemas de alagamento e sobrecarga na rede da região.

Figura 39 - Espaços livres que podem amortecer e reter as águas pluviais



Fonte: Produção da autora

Cenário 1: valas de infiltração nos canteiros da W4 Norte

Na via W4 Norte (entre as quadras 700 e 900) existe um canteiro livre que pode receber uma LID's na altura da 709 e 909 Norte, 710 e 910 Norte, e entre a 713 e 913 Norte. Esses locais podem ser visualizados na Figura 40.

Figura 40 - Áreas disponíveis para LID na W4 Norte



Fonte: Produção da autora

Esses espaços públicos demarcados são, atualmente, ocupados por grama e pouca vegetação arbórea, como se observa na Figura 41.

Figura 41 - Espaço livre para LID entre as vias W4 e W5 Norte

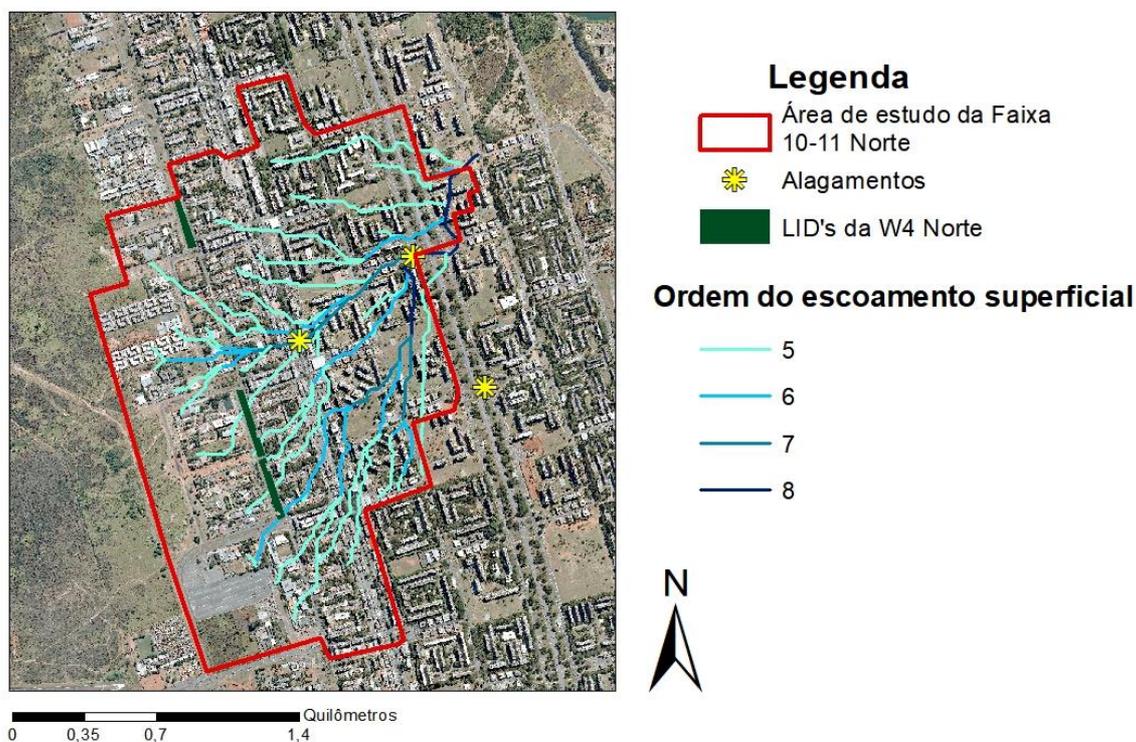


Fonte: Arquivo pessoal

A Figura 42 mostra o escoamento natural das águas pluviais na superfície de acordo com a topografia do terreno.

Figura 42 - Escoamento natural e local de LID na W4 Norte

Escoamento superficial e LID's propostas na W4 Norte



Fonte: Produção da autora

Constata-se que a posição dos canteiros da W4 Norte favorece a recepção do escoamento superficial oriundo das quadras 900 da Asa Norte. Essas são regiões que tiveram o aumento de área impermeabilizada nos últimos anos. Devido a suas características morfológicas de natureza linear foi proposto para essas áreas as valas de infiltração.

A expectativa é que essa LID (valas) amortecia as águas pluviais escoadas devido à impermeabilização das quadras 900 Norte. Para prever as valas de infiltração, foi utilizado plantas do SICAD (no formato DWG) com ortofotos da região que são disponibilizados no site²⁶ da Secretaria de Estado e Gestão e Habitação (SEGETH). Esse documento - que é oriundo do mapeamento aerofotométrico do Distrito Federal - foi utilizado como base para a construção dos cenários.

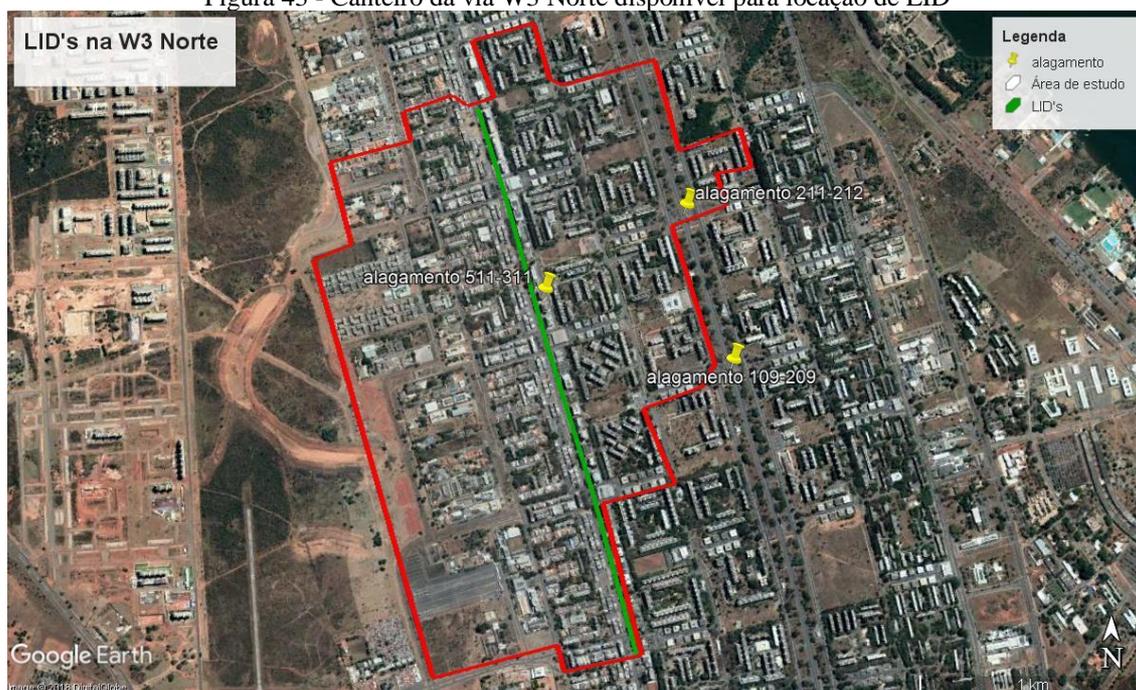
26 <www.segeth.df.gov.br> disponível em 04/02/2019.

O resultado é que foram previstas valas de infiltração nos canteiros viários: entre a 709 e 909 Norte, entre a 710 e 910 Norte e em frente à 713 Norte.

Cenário 2: valas de infiltração nos canteiros da W3 Norte

Outro local que atende aos critérios de para inserção de LIDs foi o canteiro da via W3 norte. Como o local possui poucos espaços livres, a LID escolhida para ser implementada foi a vala de infiltração. Essa medida de controle tem característica linear, logo sua largura é muito menor que seu comprimento o que favorecer o posicionamento ao longo da via. A perspectiva é de que essas valas sejam capazes de abater a vazão por meio de infiltração e armazenamento. O canteiro central da W3 Norte, local de inserção das valas está apresentado na Figura 43.

Figura 43 - Canteiro da via W3 Norte disponível para locação de LID



Fonte: Produção da autora

O canteiro central da via W3 Norte possui áreas livres e permeáveis em uma das regiões mais impermeabilizadas da bacia da Faixa 10-11 Norte, logo tem potencial para existência de dispositivos de controle na fonte, vide Figura 44.

Figura 44 - Espaço livre para LID na via W3 Norte

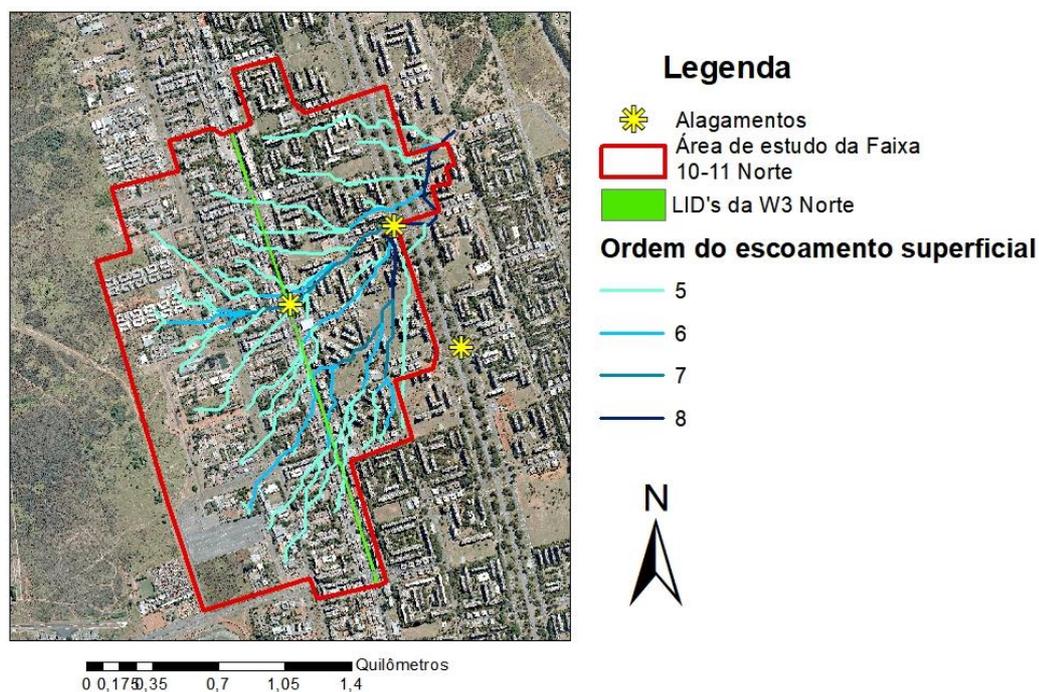


Fonte: Arquivo pessoal

A Figura 45 mostra a posição da via W3 Norte onde se locou valas de infiltração em seus canteiros centrais para o escoamento natural das águas.

Figura 45 - Escoamento natural e local da LID na W3 Norte

Escoamento superficial e LID's propostas na W3 Norte



Fonte: Produção da autora

Observa-se que a região dessa avenida é a mais impermeabilizada da macrobacia de estudo, e que, também, é um local com potencial para reter o escoamento superficial gerado pelas quadras 700 da Asa Norte e pela própria região da via. Diante desse

contexto, são propostas as valas ao longo da avenida nos canteiros centrais desde a as quadras 707 até a 713 Norte.

Nesses locais, prevê-se ciclofaixas e passeios para articular a necessidade de mobilidade da área com os elementos de drenagem com as valas de infiltração ao lado. Considerou-se aqui, o emprego de valas com menor profundidade (1 m de profundidade com a lâmina de água de 0,70m) visando evitar riscos aos transeuntes ou acidentes com veículos, mesmo em se adotando um tratamento da paisagem que vise preveni-los.

Cenário 3: valas de infiltração nos canteiros do Eixão

Os dois canteiros do eixo rodoviários norte possuem campos abertos e maiores dimensões que as demais vias da área de estudo o que possibilita a inserção de outro tipo de LID. Considerando, ainda, que está mais próximo ao exutório final a proposta nesse cenário será avaliar o desempenho de valas de infiltração. A localização da melhor área para a inserção da LID, devido a topografia, está definida na bacia de macrodrenagem apresentada na Figuras 46 e 47.

Figura 46 - Espaços livres nos canteiros do Eixão



Fonte: Produção da autora

Assim, devido as características morfológicas desses canteiros propõem-se as valas de infiltração com uma configuração um pouco diferente das que forma inseridas nos canteiros da W4 Norte e na W3 Norte.

Figura 47 - Visual dos canteiros do eixo rodoviário norte

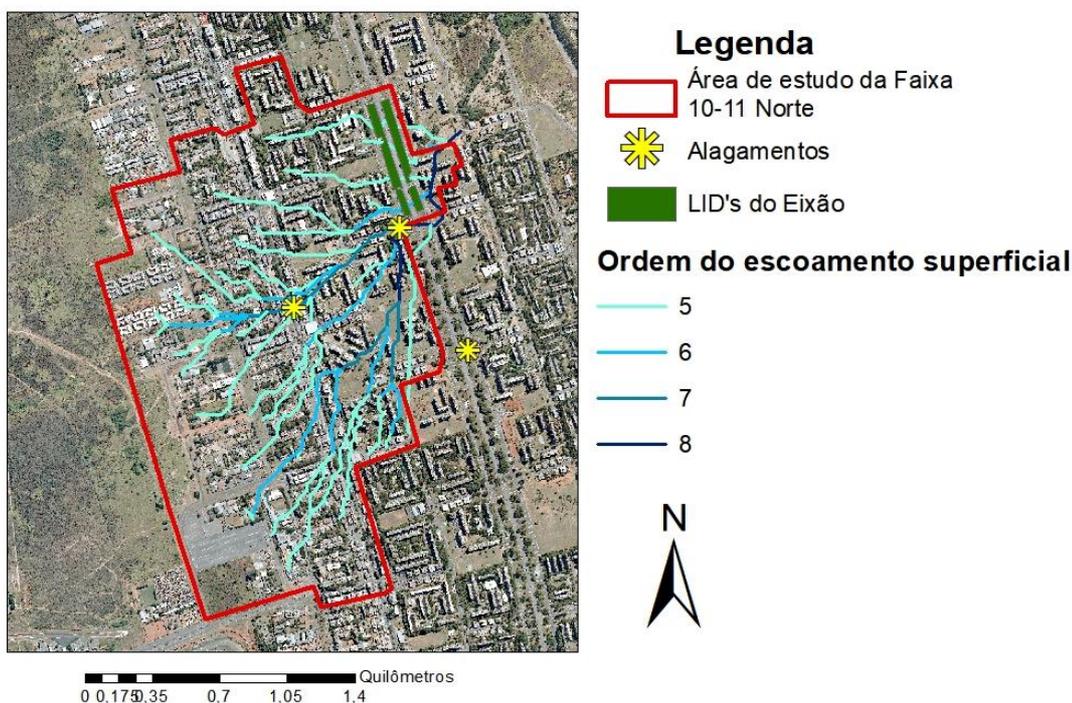


Fonte: Arquivo Pessoal

A proposta se fundamenta no fato de que essas valas de infiltração nos canteiros do eixo rodoviário favoreçam a redução de vazão de pico no exutório final devido sua proximidade com ele. Em contrapartida, a expectativa é que essas valas de infiltração na faixa gramada tenham um baixo efeito nos alagamentos. A Figura 48 mostra o escoamento natural das águas na superfície e a disponibilidade de canteiros para locação da LID referida.

Figura 48 - Escoamento natural e LID's na W4 Norte

Escoamento superficial e LID's propostas no Eixão



Fonte: Produção da autora

Percebe-se que as valas de infiltração propostas para o Eixão estão abaixo do ponto de alagamento da tesourinha das SQNs 211/212 e numa das cotas mais baixa da macrobacia. Logo, tais valas poderão reter principalmente o escoamento superficial gerado pelas SQNs 113 e 114. É esperado, também, que esses elementos de drenagem com tratamento de infraestruturas verdes exijam maior manutenção, já que todo o escoamento pode favorecer o acúmulo de sedimentos dado que as valas estão nas cotas mais baixas da área de estudo. Para que melhor desempenho prevê-se que as valas localizadas no canteiro da via em frente às SQNs 112 e 113, dispostas ao longo de toda as quadras, sejam valas côncavas separadas em si por bermas e baixa profundidade, apenas 0,30m.

Cenário 4: bacias de detenção e de retenção nas entrequadras norte

Para as entrequadras onde existem grandes espaços verdes, alguns públicos e outros lotes com previsão de instalação de equipamentos públicos, são áreas adequadas para elementos de drenagem típicos da infraestrutura verde e não só das LID's mais tradicionais. São áreas onde se pode associar soluções de drenagem sustentável a outras

funções urbanas. Técnicas de controle centralizado são usualmente associadas a áreas de drenagem de grande porte e foram alocadas soluções que exigem maior área para sua implantação. Na área de estudo foram mapeadas as seguintes entrequadras (EQN) com potencial para locação de LIDs pontuais, são as EQNs: 309/310, 311/312, 313/314, 112/113, e a 109/110. Essas estão destacadas na Figura 49.

Figura 49 - Espaços livres nas entrequadras da Faixa 10-11 Norte

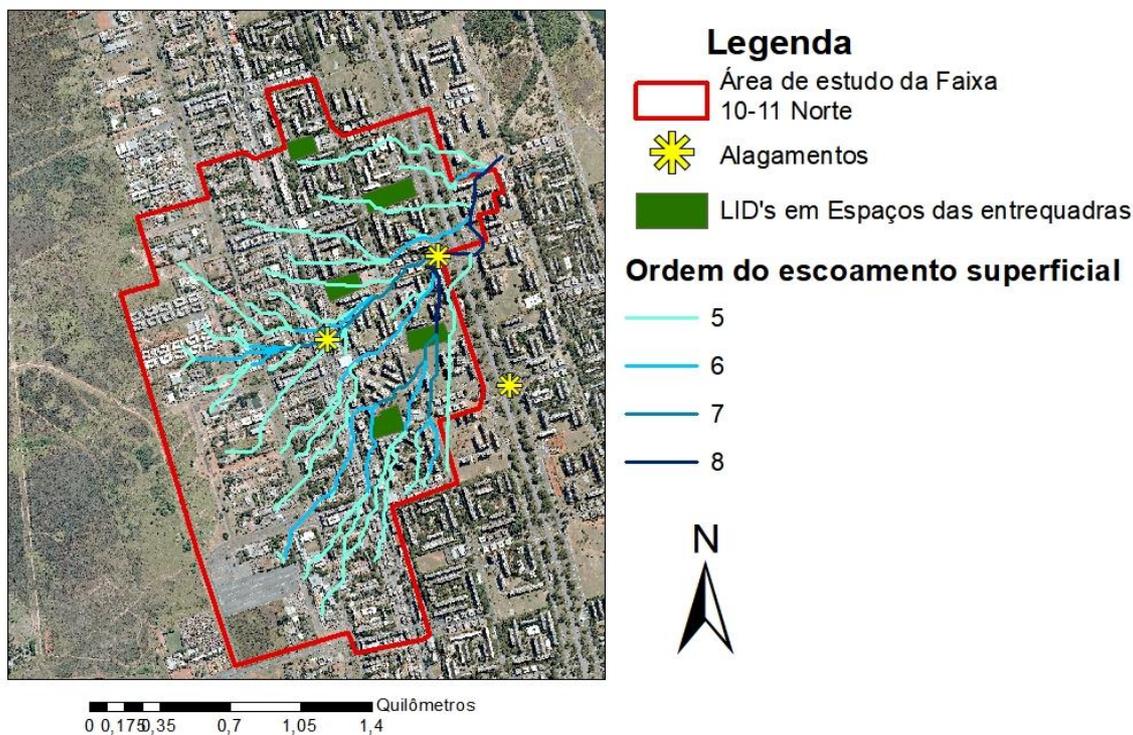


Fonte: Produção da autora

A Figura 50 mostra a posição das entrequadras com potencial para locação dos elementos de drenagem (LIDs/infraestrutura verde) em função do escoamento natural da região ocasionado pelo relevo. Essas áreas se mostram locais ideais para locação de bacias de retenção abertas que poderiam ser integradas à cidade por técnicas de arquitetura da paisagem, entretanto a condição de unidade imobiliária (lotes) impede esse uso e exige adequação que articule os dois interesses de uso da área.

Figura 50 - Escoamento natural nas entrequadras da macrobacia

Escoamento superficial e LID's propostas na entrequadras da Faixa 10-11 Norte



Fonte: Produção da autora

Atualmente essas entrequadras apresentam sua área livre, entretanto, elas são unidades imobiliárias que ainda não estão construídas. De acordo com o Geoportal²⁷ os espaços de entrequadras estão divididos em dois lotes: A e B. Os lotes A estão construídos e os lotes B estão desocupados (opção dessa tese para locação de LIDs). A exceção é a EQN 112/113 que possui apenas lote A que está desocupado.

O uso a elas destinado se refere a atividades de educação (EQNs 309/310, 311/312, 313/314) e de lazer (EQNs 112/113, e 110/111). Foram encontradas as seguintes informações sobre esses espaços livres, como são apresentadas nos próximos itens.

²⁷ Infraestrutura de Dados Espaciais - IDE/DF. É um mapa dinâmico de Brasília onde há todos os dados georreferenciados do território e da população do Distrito Federal.

EQN 309/310

Possui um lote B uso institucional (uso: institucional, atividade: educação, grupo de atividades: escola parque), como se apresenta na Figura 51.

Figura 51 - Lote livre na EQN 309/310



Fonte: <<http://www.geoportal.segeth.df.gov.br>>

A Figura 52 mostra o espaço livre dessa área.

Figura 52 - Visual da EQN 309/310



Fonte: arquivo pessoal

De acordo com a Norma de Edificação, Uso e Gabarito que trata desse lote²⁸, sua taxa máxima de ocupação é de 80% (projeção horizontal da área edificada / pela área do lote). Apesar, de o espaço livre ser uma unidade imobiliária não edificada, pode-se aproveitar seu espaço livre (20%) para inserção de uma bacia de retenção aberta dentro do lote que funcione mesmo após a construção da escola planejada para o local.

28 NGB 29/89

Essa bacia de retenção pode ser um elemento multifuncional que, além de favorecer a drenagem, também, atenda alguma necessidade da escola como, por exemplo, um campo de futebol ou quadra gramada. Esse elemento permite que na época de seca a área seja usada pelos estudantes para práticas esportivas, e na época chuva tal espaço retenha e amortee as águas pluviais.

EQN 311/312

Nessa entrequadra existe um lote com previsão de uso institucional para atividade de educação (escola parque). A delimitação desse lote B está apresentada na Figura 53.

Figura 53 - Lote livre na EQN 311/312



Fonte: <<http://www.geoportal.segeth.df.gov.br>>

Esse local, assim como o lote descrito anteriormente, é regido pela mesma NGB (29/89), logo sua taxa de máxima de ocupação é de 80%. Assim, há disponibilidade de 20% do espaço para inserção da LID proposta. A Figura 54 mostra esse espaço onde se propõe a referida LID.

Figura 54 - Visual da EQN 311/312



Fonte: Arquivo pessoal

A posição da entrequadra na Faixa 10-11 Norte é fundamental para atenuar o alagamento que acontece entre as superquadras 511 e 311 Norte. Essa localização estratégica para a drenagem levou a definição de um cenário que prevê a alteração no uso do solo desse lote que é destinado à uma escola parque. A proposta é que esse espaço seja destinado a um parque urbano, pois assim o escoamento superficial da região poderá ser amortecido com eficácia. A intenção é que exista uma lagoa com lâmina de água permanente que funcionará como bacia de retenção. Esse elemento pode enobrecer a paisagem urbana e, ao mesmo tempo desempenhar seu papel de elemento de drenagem. Afinal, a multifuncionalidade é característica da infraestrutura verde.

EQN 313/314

Mais uma vez nessa entrequadra existe um lote com previsão de uso institucional, atividade educação (escola parque). O lote B é apresentado na Figura 55.

Figura 55 - Lote livre na EQN 311/312



Fonte: <<http://www.geoportal.segeth.df.gov.br>>

Esse lote, por ser destinado à educação como os outros, conta com os mesmos 20% do lote de espaços livres para infiltração das águas pluviais. Seu espaço livre pode ser visto na Figura 56.

Figura 56 - Visual da EQN 313/314



Fonte: Arquivo pessoal

A proposta é que os espaços livres da escola sejam aproveitados com elementos de infraestrutura verde que beneficiem a drenagem da cidade. Assim, como no caso da EQN 309/310, a proposta do cenário é de locação de quadras esportivas gramadas que possam funcionar como bacias de retenção nos períodos de chuva.

EQN 110/111

Essa entrequadra a exemplo das duas anteriores, também, constitui um lote de uso institucional só que esse já é voltado ao lazer e, portanto, mais facilmente se pode

propor que seu uso se valha de técnicas de infraestrutura verde associadas a drenagem mantendo o uso inicial do lote, atividade de lazer como quadras esportivas. Ele é apresentado na Figura 57.

Figura 57 - Lote livre na EQN 110/111



Fonte: <<http://www.geoportal.segeth.df.gov.br>>

A NGB – 32/89, que rege esse espaço, prevê que o uso permitido é voltado ao lazer e a recreação e que o cercamento deve ser por grade ou alambrado. Não há nessa norma determinações relacionada à taxa de ocupação e nem de construção. Assim, todo o espaço pode ser aproveitado para drenagem com técnicas de infraestrutura verde. As quadras esportivas, que são previstas para esse lote, podem ser gramadas com degraus em arribancada que favorecem a infiltração. A intenção é que funcionem como bacias de detenção abertas.

EQN 112/113

Nessa entrequadra encontra-se o lote A com uso, também, previsto para atividade de lazer como clube de vizinhança. O limite desse lote é apresentado na Figura 58.

Figura 58 - Lote livre na EQN 112/113



Fonte: <<http://www.geoportal.segeth.df.gov.br>>

De acordo com a NGB 31/89 que trata desse espaço a taxa máxima de ocupação do lote é de 30%. Assim, constata-se que esse local possui a previsão de uma área verde maior que os demais como se observa na Figura 59.

Figura 59 - Visual da EQN 112/113



Fonte: Arquivo pessoal

Diante desses condicionantes propõe-se a mudança de uso do solo para que no local ao invés de ser construído um clube de vizinhança seja implantado um parque urbano (nos moldes propostos para EQN 311/312). Nesse espaço verde pode haver uma lagoa com lâmina d'água permanente (bacia de retenção). Elementos de composição da paisagem podem favorecer a drenagem e ao mesmo tempo compor a paisagem urbana.

Cenário 5: alocação de todas as LIDs simultaneamente

O último cenário a ser simulado se refere a composição dos 4 anteriores no qual se poderá verificar o efeito de todas as LIDs atuando simultaneamente. Na imagem de satélite mostrada na Figura 60 observa-se a locação de todas as LIDs juntamente com os principais pontos de alagamento da bacia de macrodrenagem.

Figura 60 - Posição de todas as LID propostas na área de estudo



Fonte: Produção da autora

A ideia é conhecer individualmente o desempenho de cada cenário e depois verificar seu conjunto. O ponto chave do trabalho é que os cenários propostos contemplem não só as demandas de drenagem de forma sustentável, mas também considerar outros critérios de qualidade urbana como: a valorização a paisagem e harmonia paisagística; valorização da água como elemento da paisagem urbana; e promoção de usos múltiplos da área em função das demandas da população.

4.3 Simulação hidrológica dos cenários

De modo geral, as simulações se mostram uma boa ferramenta para se avaliar uma rede de drenagem e o seu comportamento durante um evento de precipitação. Durante a

simulação desses dispositivos, o programa realiza o balanço hídrico, determinando o que escoar de uma camada para a outra e o que é armazenado em uma camada.

A simulação hidrológica dos cenários foi realizada utilizando o programa *Personal Computer Stormwater Management Model* (PCSWMM) na versão 7.1.2480, disponibilizado pela *Computational Hydraulics International Water* (CHIWater) em uma versão universitária gratuita. O Programa é capaz de representar o comportamento de um sistema de drenagem através de uma série de fluxos de água entre os principais compartimentos do ambiente, que são:

- o atmosférico, onde ocorre precipitação e depósito dos poluentes sobre a superfície do solo;
- a precipitação sob a forma de chuva ou neve;
- o compartimento de transporte que exporta o fluxo de água por meio da infiltração por meio de escoamento superficial e carreamento de poluentes;
- as águas subterrâneas que recebe infiltração da superfície do solo, podendo transferir parte da mesma para o compartimento de transporte. (SOUZA, 2014, p.39).

Para alcançar o objetivo principal da tese (avaliar o desempenho dos elementos de drenagem sustentável para posterior articulação a paisagem) a simulação/modelagem no PCSWMM será dividida em duas fases, são elas: (i) parametrização; e (ii) análise da modelagem hidráulico-hidrológica. Após isso, podem ser feitas recomendações que considerem a melhoria no sistema de drenagem, baseada no metabolismo urbano circular, e a integração com a paisagem urbana do Plano Piloto.

Para início da simulação se faz necessário o lançamento da rede de drenagem existente e no caso da bacia estudada se verificou que os dados identificados na fase de definição da área de estudo não estavam em condições para permitir a simulação. Esse fato se tornou um grande obstáculo a ser vencido no trabalho porque significou a modelagem da rede utilizando os projetos individualizados elaborados para a bacia em diferentes épocas e disponibilizados pelos órgãos de governo.

Essa etapa do trabalho foi realizada com apoio do Laboratório de Hidrologia da Engenharia Civil da Universidade de Brasília (UnB) com supervisão do Professor Sérgio Koide e apoio dos pesquisadores Vitor Camuzi e Maria Elisa Leite Costa.

Deve-se destacar as dificuldades desse trabalho uma vez que cada projeto conta com uma parte da rede de drenagem urbana cobrindo diferentes áreas da região estudada,

num total de 44 projetos que muitas vezes se sobrepõem. Para obter a rede completa foi preciso vários ajustes para corrigir erros que se identificavam no exutório, pois, todos os condutos drenam para esse ponto. Em seguida, organizou-se cada conduto e poços de visita associados à rede observando, nos projetos, as características de cada acessório de drenagem.

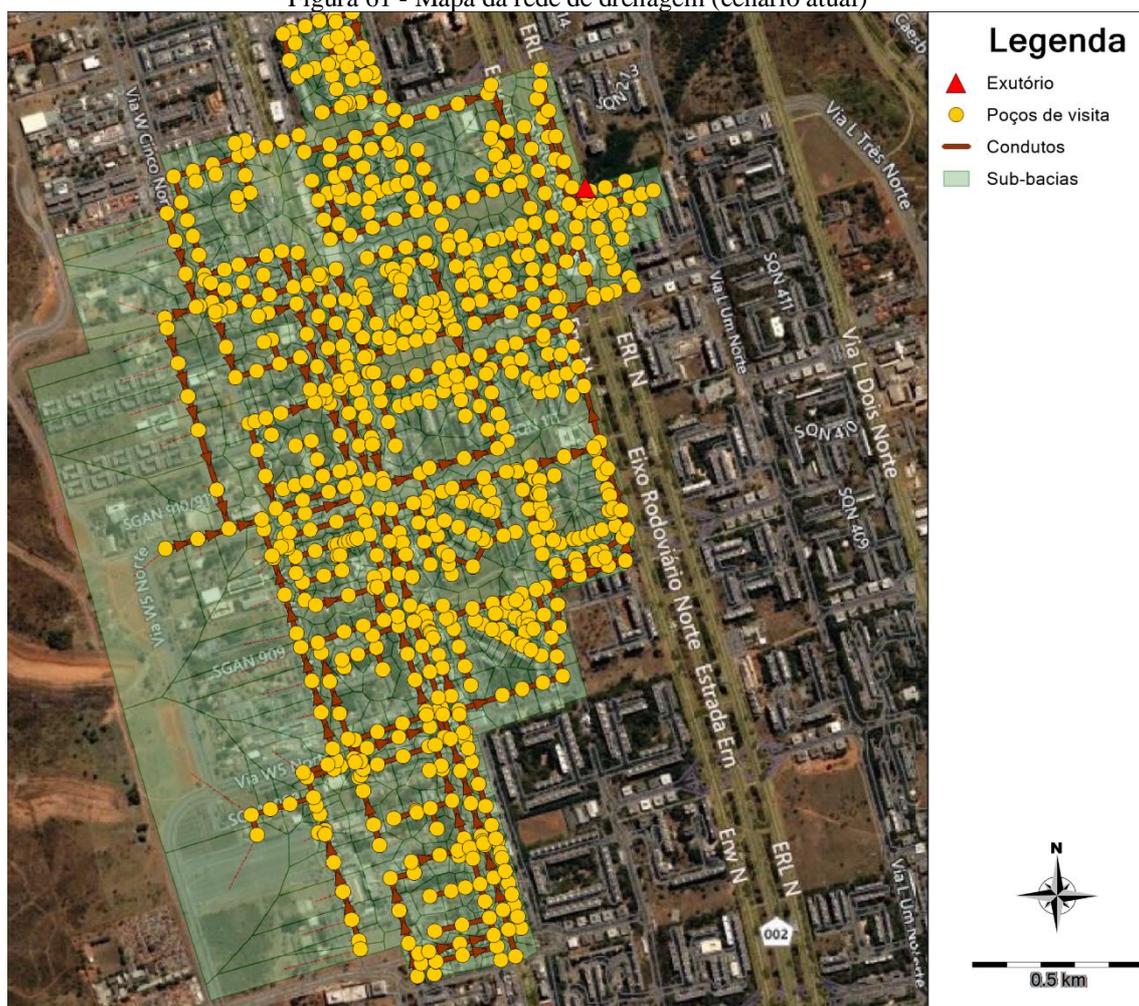
Em alguns acessórios não foram encontrados dados, portanto foi preciso analisar a rede a jusante e a montante com o objetivo de identificar padrões e similaridades nos dados para poder completar a rede. Em outros casos, houve o oposto, com mais de um dado sobre o mesmo objeto. De maneira similar, foram analisados pontos a jusante e a montante do acessório, procurando características que indiquem o valor correto a ser utilizado. Para algumas dessas situações, também foi possível contar com a base dedados de projetos antigos da NOVACAP. Essa base de dados contém dados de acessórios pertencentes, principalmente, as galerias para alguns projetos elaborados até a década de 1980.

Com esse procedimento concluído, teve-se como produto o mapa da rede de drenagem da área de estudo (cenário atual, linha base de estudo) com a posição dos condutos, poços de visita, exutório, etc. Essa infraestrutura é composta por 758 condutos²⁹ e 726 poços de visita³⁰ (PVs). A área total da macrobacia é 353,98 ha. O resultado essa parte do estudo pode ser visto na Figura 61.

29 São as tubulações que interligam as captações (bocas de lobo) aos poços de visita.

30 “São caixas subterrâneas, visitáveis, de concreto ou alvenaria, que interligam dois ou mais trechos de rede e condutos de ligação. São dotados de um fuste com o topo no nível da superfície que é fechado com um tampão metálico, ou de concreto, removível.” (ADASA, 2018, p.95). Os PVs têm também a função de possibilitar o acesso de equipamentos para limpeza e manutenção da rede.

Figura 61 - Mapa da rede de drenagem (cenário atual)

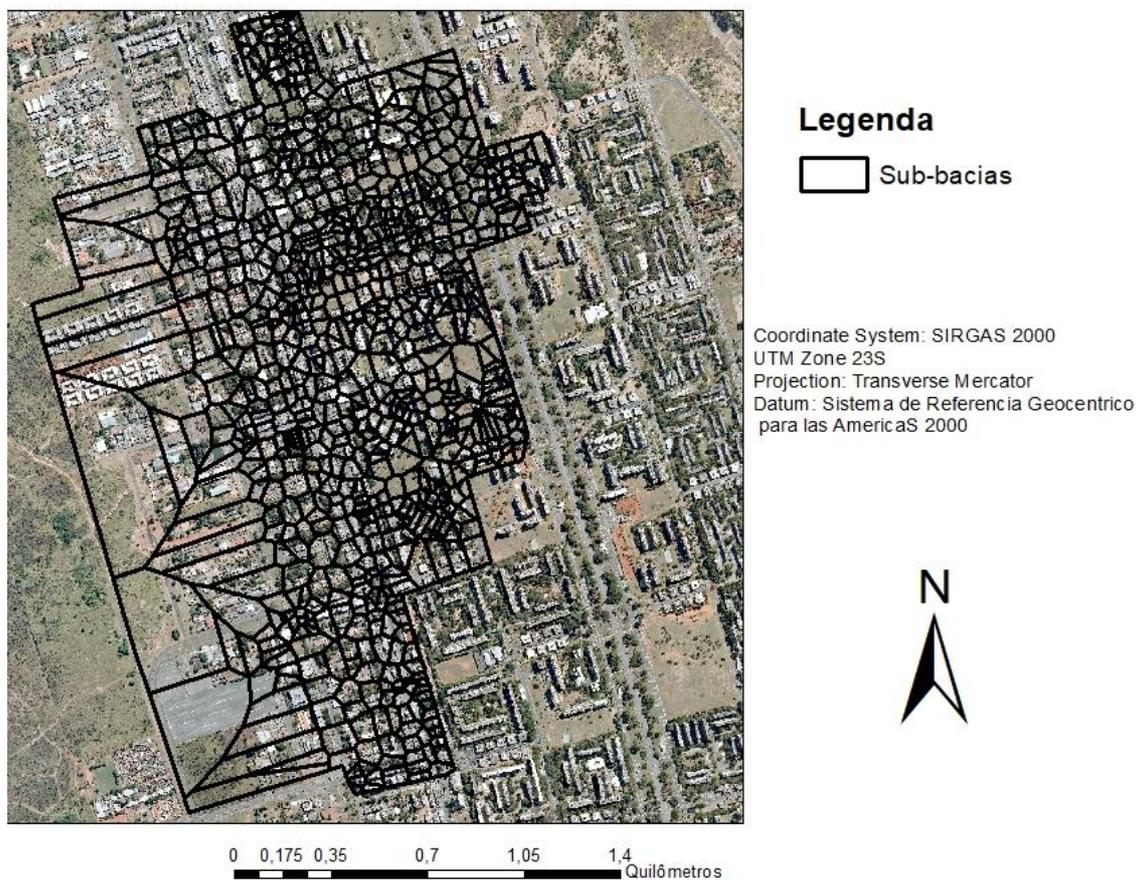


Fonte: Produção da autora e de Vitor Camuzi

Finalizada essa etapa, foi possível iniciar a aplicação do Programa de simulação que dividiu a área da macrobacia de estudo em sub-bacias pelo método Voronoi³¹. O PCSWMM calcula a área de contribuição de cada poço de visita de acordo com a posição dele na região. Assim, constatou-se que a macrobacia das SQNs Faixa 10-11 tem 756 sub-bacias. A Figura 62 apresenta a área da macrobacia dividida nessas sub-bacias.

³¹ O princípio do Diagrama de Voronoi é de que, considerando que em um plano, existem pontos que estão mais próximos de uma fonte geradora do que de outra fonte, o resultado é um polígono de cujas distâncias entre a fonte e ponto são as menores possíveis. Disponível em: <<http://www.andersonmedeiros.com>> acesso em 28/03/2019.

Figura 62 - Sub-bacias da macrobacia de estudo
Sub-bacias da Faixa 10-11 norte



Fonte: Produção da autora e de Vitor Camuzi

Para realizar as simulações é necessário determinar o nível de infiltração do solo na região. Para isso, usou-se o método SCS (*Soil Conservation Service*), também conhecido como CN (curva número). Esse é um índice que representa a combinação empírica de três fatores: grupo do solo, cobertura do solo e condições de umidade antecedente do solo (Mc CUEN, 1998 *apud* TOMAZ, 2011). O CN varia de 0 a 100, e quanto maior o valor, menor é a capacidade de infiltração de determinado tipo de solo.

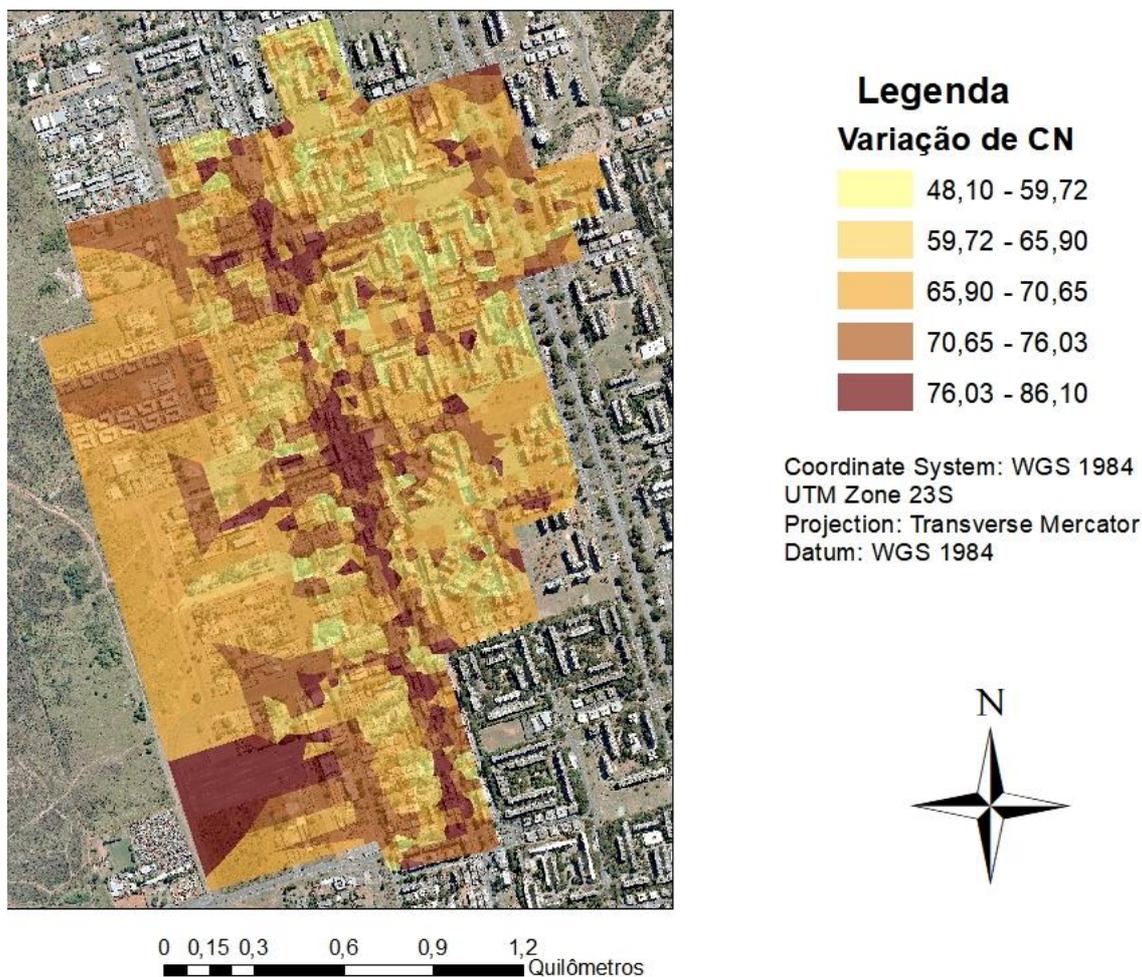
Com base em estudos realizados por TUCCI (1993) para realidade brasileira (já que não existe um estudo específico para o Distrito Federal), determinou-se o CN de cada uso do solo da macrobacia estudada, são eles:

- i. Urbanização: CN = 88;
- ii. Vegetação gramínea: CN = 68;
- iii. Vegetação arbórea: CN=45;

iv. Solo exposto: CN = 72.

Essa distribuição está representada na Figura 63.

Figura 63 - Mapa do CN da macrobacia
Mapa de CN



Fonte: Produção da autora e de Vitor Camuzi

De acordo com recomendação do PDDU (2008), este trabalho adota a chuva de projeto³² baseada na Equação IDF do Distrito Federal com período de retorno de 10 anos, duração de 24 horas e discretizado de 5 em 5 minutos. Essa chuva de projeto é demonstrada pela equação:

³²Chuva de projeto é definida como: “evento meteorológico capaz de gerar o maior valor de vazão a ser considerado (maximização de pico de cheia) no dimensionamento das estruturas de drenagem e das obras de retenção”, de acordo com a Resolução nº 09, de 08 de abril de 2011, da ADASA.

$$i = \frac{1574,5xTr^{0,207}}{(tc + 11)^{0,884}}$$

Onde:

i = Intensidade em mm/h;

Tr = Tempo de retorno em anos;

tc = duração da chuva em minutos.

A chuva simulada é considerada uma chuva de elevada intensidade, que testa o sistema em uma situação pouco convencional, porém determina para um adequado período de retorno a eficiência da rede de drenagem. Com esses procedimentos concluídos, foi possível iniciar as simulações dos cenários.

4.4 Parametrização das técnicas compensatórias utilizadas nos cenários

A fase da parametrização se faz necessária para se obter os dados para informar ao Programa as variações espaciais das características da área de estudo. A necessidade dessa etapa é justificada pelo fato:

Modelos hidrológicos são geralmente parametrizados por estimativas de parâmetros da topografia e as propriedades físicas dos solos, aquíferos e uso do solo da bacia. A confiabilidade das predições do modelo depende da qualidade em que a estrutura do modelo é definida e como ele é parametrizado (SOUZA, 2014, p.36).

É necessário, antes, inserir parâmetros de cada tipo de LID utilizada na construção dos diferentes cenários para que o PCSWMM possa simular a redução do escoamento superficial gerado. Para a definição desses parâmetros além dos dados do projeto proposto, foi utilizado o suporte on-line do programa³³, além de artigos científicos que tratam dos temas, como o estudo intitulado *Vegetated Swale*³⁴.

Parametrização de valas de infiltração

Os parâmetros que o PCSWMM solicita para a simulação de valas de infiltração são:

33 <<https://support.chiwater.com/>>

34 <<http://www.bfenvironmental.com/pdfs/veggieSwale.pdf>>

- *Bermheight*: é a altura máxima que a água pode se elevar acima da superfície na vala de infiltração. Esse dado deve ser inserido em mm;
- *Surface roughness*: é a rugosidade da superfície da vala. Usou-se o valor indicado para grama dado pelo manual do programa, 0,033;
- *Vegetation volume*: volume de vegetação ocupado por caules e folhas (e não pela cobertura da área de superfície). Considerou-se 0 porque o crescimento vegetativo não é muito denso no local.
- *Surface slope*: é a declividade da superfície. Definiu-se com base na declividade média característica de cada região de acordo com a topografia local.
- *Swale slide slope*: é a inclinação das paredes laterais das valas. É obtido pela razão entre a largura da vala e sua profundidade.

Na composição dos cenários foram utilizados 3 tipos de valas diferentes de acordo com sua posição na macrobacia. O dimensionamento de cada vala foi realizado em função das características do espaço urbano onde estão localizadas considerando tanto a maximização da infiltração quanto a manutenção das funções urbanas e estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Parâmetros das valas de infiltração

Local das valas (cenário)	Parâmetros das valas de infiltração				
	<i>Bermheight</i> (mm)	<i>Surface roughness</i>	<i>Vegetation volume</i>	<i>Surface slope</i>	<i>Swale slide slope</i>
valas na W4 Norte (cenário 1)	1200	0,033	0,00	1%	5,66
valas na W3 Norte (cenário 2)	700	0,033	0,00	2%	2,5
valas no Eixão (cenário 3)	300	0,033	0,00	1%	75

Fonte: Produção da autora

As áreas das valas são variadas, já que elas devem ser definidas pela topografia. As valas W4 Norte variam de 572m² a 1706m². As valas da W3 Norte variam de 76m² até 336m². No Eixão, as valas variam de 227 m² à 3753 m².

A entrada da água pluvial nas valas acontece por meio de aberturas nas guias, ou seja, o escoamento superficial. A saída de águas acontece por infiltração e comunicação por meio de drenos com as valas a jusante. A vala localizada no ponto mais baixo do terreno é conectada ao poço de visita mais próximo por meio de tubulações de fundo.

Para otimizar o uso das LIDs direcionou-se o escoamento superficial das vias para as valas de infiltração (3 cenários) por meio de espaços/aberturas nas guias. Foi necessário, também, alimentar o PCSWMM com a informação de que as valas da W4 e da W3 funcionariam em série, ou seja, ocorre o enchimento de uma vala para ela extravasar o volume de água excedente que é direcionado para a vala seguinte. Isso acontece porque na modelagem desse tipo de LID não é possível inserir um dreno de fundo.

Parametrização das quadras gramadas (bacias de detenção)

Para simular o comportamento hidrológico das quadras gramadas – que funcionarão como bacias de detenção - proposta nas EQN 309/310, 110/111 e 313/314 foi necessário informar ao PCSWMM a cota que cada degrau-arquibancada está em relação ao terreno e a área que a água ocupará em cada um deles. A Tabela 15 mostra a cota e a área considerada para cada degrau-arquibancada.

Tabela 15 - Parâmetros das quadras gramadas (bacias de detenção)

Parâmetros quadra gramada/bacia de detenção				
arquibancada/local	EQN 309/310	EQN 110/111	EQN 313/314	área (m²)
fundo	1063,4	1048,4	1063,4	1800
1° degrau	1063,8	1048,8	1063,8	1946,56
2° degrau	1064,2	1049,2	1064,2	2098,24
3° degrau	1064,6	1049,6	1064,6	22550,4
4° degrau (topo)	1065	1050	1065	-

Fonte: Produção da autora

As bacias de detenção devem ser alimentadas pela rede de drenagem. A descarga delas também é na rede existente em um ponto a jusante das bacias, por meio de orifícios de fundo e vertedores.

Além disso, foi proposto que essa bacia de detenção seja conectada à rede de drenagem com uma entrada e duas saídas. A entrada de água acontecerá por meio de condutos ligados à rede de drenagem. Para a saída prevê-se um orifício de fundo (com 30 cm de diâmetro) que permite uma vazão menor e controlada. Para que no caso de em uma grande chuva o volume de água não extrapole a bacia se coloca um vertedor no último degrau-arquibancada (com 3,00 x 0,40m). Isso impedirá à água de ultrapassar a altura de coroamento da bacia (1,20m).

Parâmetros das lagoas pluviais (bacias de retenção)

Os parâmetros demandados para as lagoas pluviais, necessários para alimentar o PCSWMM se referem à:

- i. cota de fundo,
- ii. cota da lâmina de água permanente,
- iii. cota de topo (quando a lagoa estiver retendo às águas pluviais),
- iv. área da lagoa.

Essas informações estão apresentadas na Tabela 16 e foram inseridas no programa computacional.

Tabela 16 - Parâmetros da lagoa pluvial (bacia de retenção)

Parâmetros da lagoa pluvial		
Parâmetro/Local	EQN 311/312	EQN 112/113
cota de fundo	1052	1042
cota da lâmina de água permanente	1053	1043
cota de topo	1055	1045
área (m ²)	6338	7437

Fonte: Produção da autora

As bacias de retenção são alimentadas pela rede de drenagem por uma tubulação de entrada. A descarga acontece por tubulação de saída também conectada à rede (mesma cota da lâmina de água permanente).

A Figura 64 mostra a posição das bacias de detenção e retenção na área de estudo e evidencia os condutos que as ligam à rede de drenagem. Os dispositivos de descarga (orifício de fundo e vertedor) estão conectados nos PVs a jusante das bacias.

Figura 64 - Bacias de retenção e detenção (cenário 4)



Fonte: Produção da autora e de Vitor Camuzi

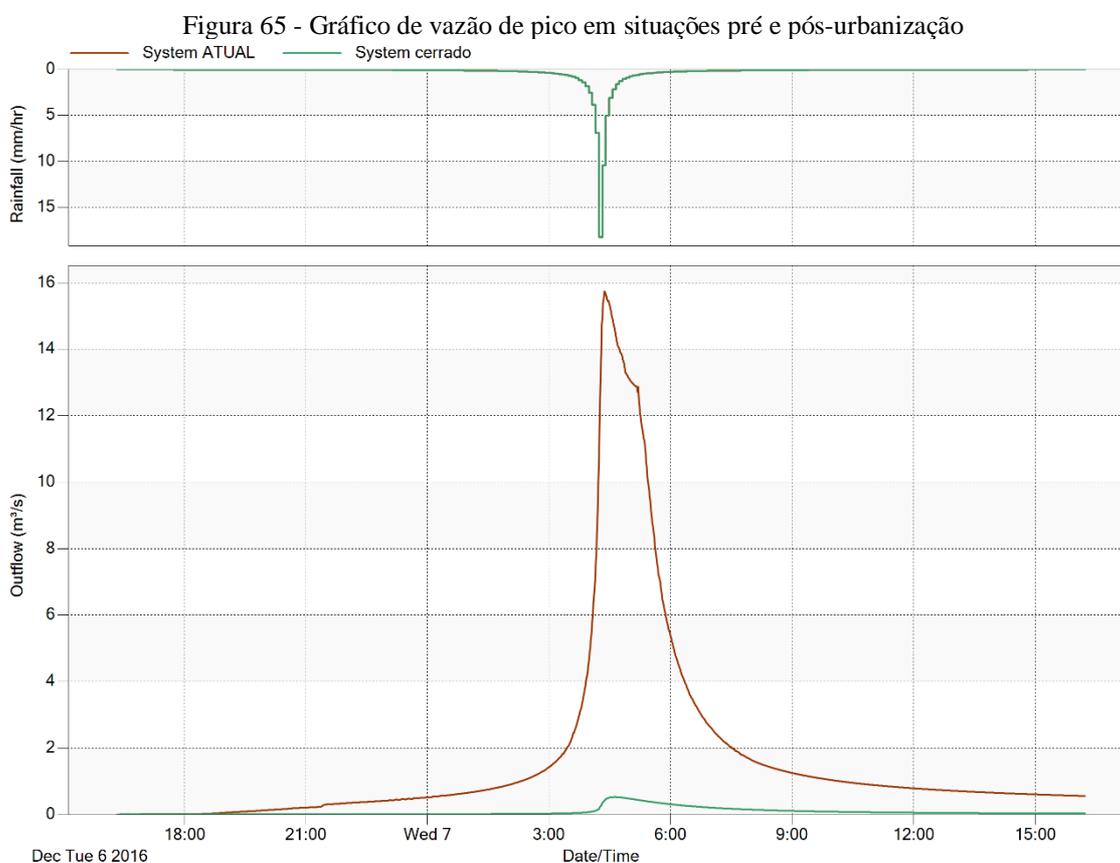
4.5 Análise dos resultados da simulação hidráulico-hidrológica

Procedido o trabalho de laboratório o presente tópico trata de interpretar e avaliar o desempenho das modelagens ou simulação dos cenários propostos. O resultado passível de análise se refere aos seguintes dados de resultado:

- i. vazão de pré e pós-desenvolvimento;
- ii. vazão máxima no exutório (aqui o parâmetro será verificar o atendimento das normas da ADASA);
- iii. e o percentual de amortecimento de cada cenário.

Para comprovar os problemas de drenagem do cenário atual (rede existente) foi feita uma comparação com um cenário sem urbanização denominada “cenário cerrado”. Para a construção de cenário, retirou-se a rede de drenagem da área mantendo apenas o exutório e utilizando o CN=45 que é o compatível com a cobertura de cerrado. Assim,

foi possível simular o comportamento das águas pluviais nesse terreno característico de uma pré-urbanização. O resulta é apresentado no gráfico constante da Figura 65.



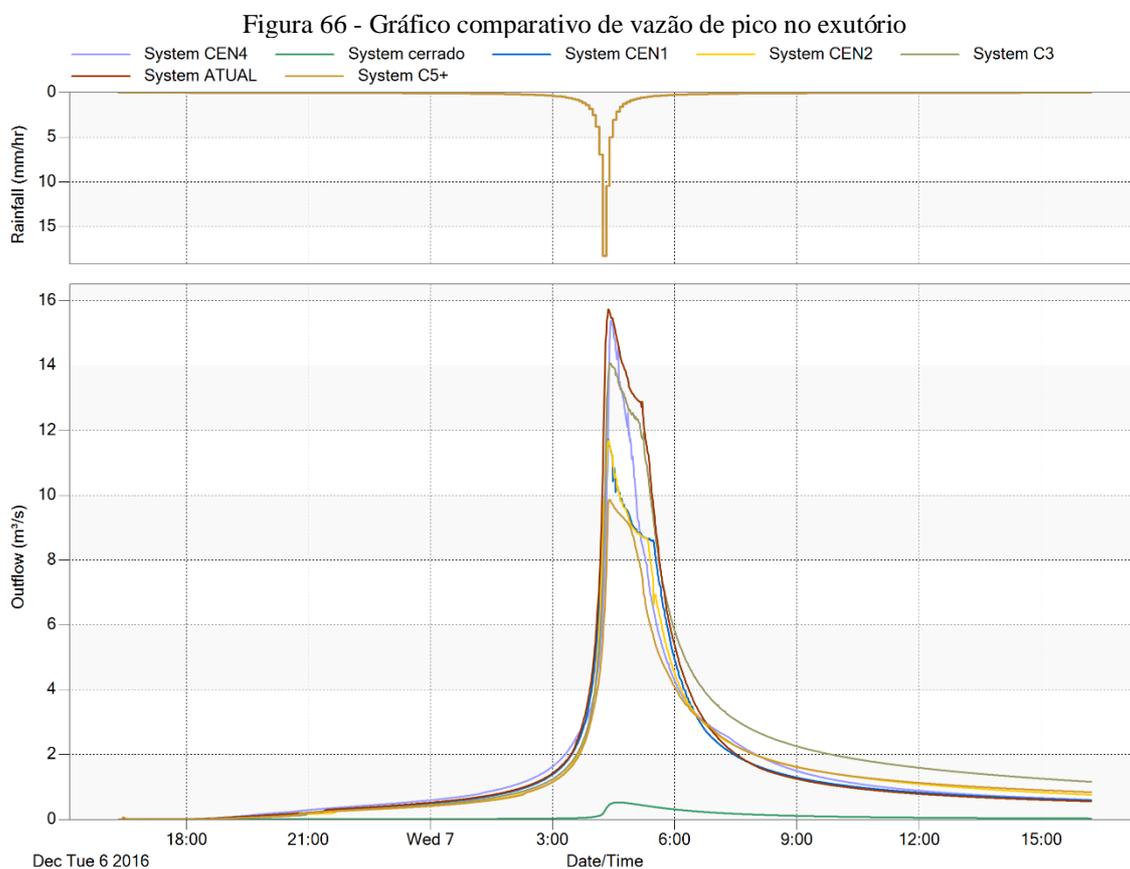
Fonte: Produção da autora e de Vitor Camuzi

Acima, lê-se que atualmente a vazão máxima no exutório é de $15,73\text{m}^3/\text{s}$. Em contrapartida, num cenário que representa a vazão de pré-desenvolvimento³⁵ é de apenas $0,521\text{m}^3/\text{s}$. Essa discrepância demonstra a alteração que o processo de urbanização causa no comportamento do escoamento superficial e da infiltração com reflexo na vazão final no exutório.

O desenvolvimento urbano reduziu a cobertura vegetal original e aumentou área impermeabilizada, com isso; o escoamento superficial aumentou e a infiltração diminuiu. Com a implantação de galerias de águas pluviais tradicionais se acelerou a velocidade de escoamento, reduzindo o tempo de deslocamento das ondas de cheias. Isso faz com que as vazões máximas aumentem e seus picos fossem antecipados. Têm-se, então, vazões maiores em tempos mais curto.

35 É a “vazão estimada de escoamento superficial calculada considerando-se a situação natural de cobertura do solo”, de acordo com a Resolução ADASA nº 9 de 08/04/2011.

A ADASA publicou a Resolução Nº. 09, de 08 de abril de 2011 que tem o objetivo de estabelecer as diretrizes e critérios gerais para a outorga de lançamento de águas pluviais em corpos hídricos superficiais do Distrito Federal. Essa resolução determina que o lançamento de águas pluviais em corpo hídrico superficial limita-se à vazão específica de até 24,4 L/(s.ha). Assim, para a macrobacia de estudo – que tem 353,98ha – a vazão outorgada³⁶ é de 8.637,112 l/s ou 8,63m³/s. Com base nesse parâmetro houve a avaliação das vazões de pico no exutório de cada cenário, que pode ser observada no gráfico abaixo, que mostra a vazão no cenário atual e dos outros 5 propostos. Ele está representado num intervalo de 4 horas que mostra o momento das vazões de pico, como se vê na Figura 66.



Fonte: Produção da autora e de Vitor Camuzi

Os dados de vazão de pico também estão descritos na Tabela 17. Eles são fruto da modelagem e simulação realizada.

³⁶ Volume máximo que poderá lançar no corpo hídrico receptor, por um determinado período.

Tabela 17 - Vazão máxima no exutório de todos os cenários simulados

Lançamento no exutório	
Cenário	Vazão de pico no exutório (m³/s)
Cenário atual	15,73
Cenário cerrado	0,52
Cenário 1 (valas na W4)	11,72
Cenário 2 (valas na W3)	11,69
Cenário 3 (valas no Eixão)	14,07
Cenário 4 (bacias nas EQNs)	15,39
Cenário 5 (todas as LIDs)	9,87

Fonte: Produção da autora

De posse dessas informações, verifica-se que a vazão final gerada pelo cenário atual (15,73m³/s) é muito superior ao que a ADASA exige (até 8,63m³/s). Em contrapartida, todos os 5 cenários proporcionam a redução da vazão de pico no exutório.

Destaca-se o desempenho do cenário 5, todas as LIDs trabalhando em conjunto, que apresenta a menor vazão de pico, apenas 9,87 m³/s. Esse é o que mais se aproxima da vazão de pré-desenvolvimento, mas ainda muito acima dela. O cenário 5 não atende à resolução 09/2011, mas é o que mais se aproxima da vazão preconizada pela ADASA ficando apenas 14,4% além do recomendado.

Com esses dados é possível avaliar o amortecimento que cada cenário pode gerar na macrobacia. Esse dado se refere à porcentagem da onda de cheia que foi atenuada. Esses valores estão representados na Tabela 18.

Tabela 18 - Amortecimento total

Amortecimento total no exutório	
Cenário	Amortecimento (%)
Cenário cerrado	96,69
Cenário 1 (valas na W4)	25,49
Cenário 2 (valas na W3)	25,68
Cenário 3 (valas no Eixão)	10,55
Cenário 4 (bacias nas EQNs)	2,16
Cenário 5 (todas as LIDs)	37,27

Fonte: Produção da autora

Constata-se que o cenário cerrado (pré-urbanização) seria capaz de amortecer praticamente toda a água pluvial que chega à superfície (96,69%). Constata-se que os cenários 1 e 2 são eficientes. Em seguida, o cenário 5 (todas as LIDS) se mostra muito

eficaz, visto que é capaz de neutralizar 37,27% das águas mesmo com a urbanização existente.

Além do comportamento no exutório pode-se avaliar a afetividade das LIDs nos principais pontos de alagamento. Para essa avaliação, observou-se o comportamento hidrológico em conduto próximo do pior problema de extravasamento na macrobacia de drenagem estudada, ou seja, nas mediações da SCLRN 712 (a montante do alagamento). Para avaliação escolheu-se o conduto C375 que está em destaque na Figura 67.

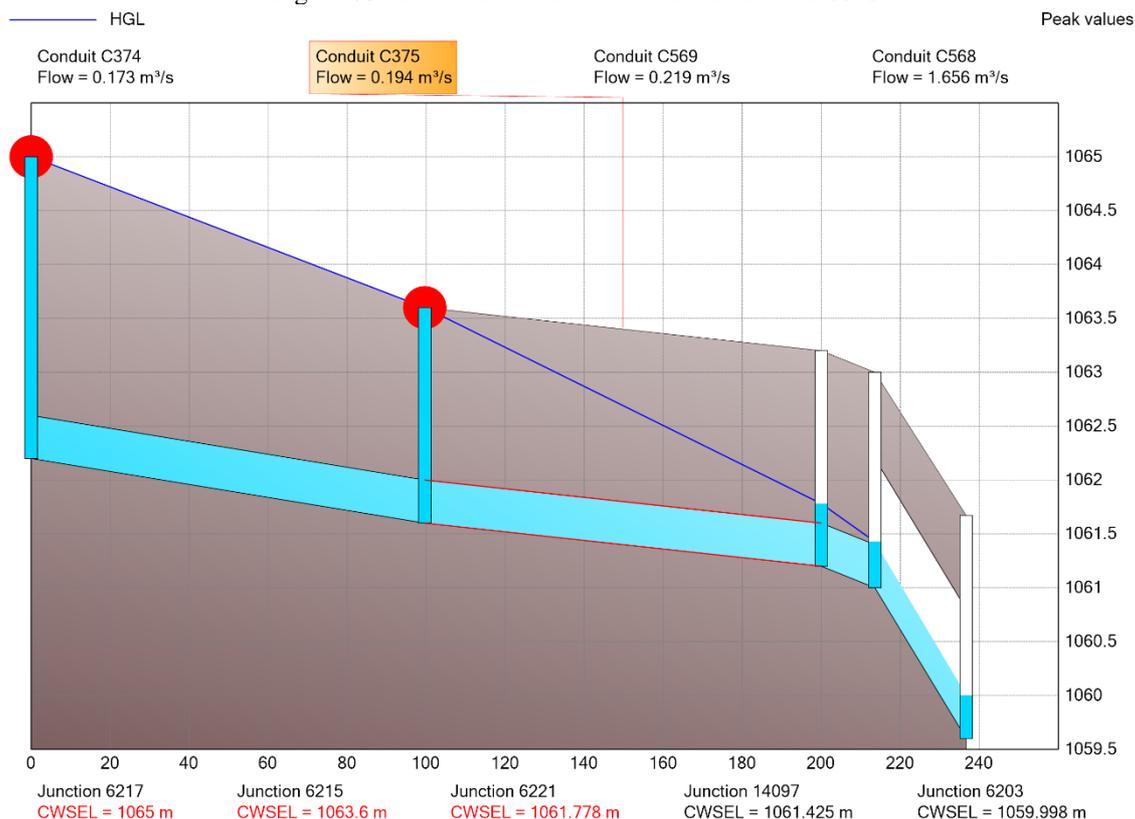
Figura 67 - Localização do conduto C375 na macrobacia de estudo



Fonte: Produção da autora e de Vitor Camuzi

Além do alagamento evidente nesse ponto as simulações como PCSWMM demonstrou que nesse trecho de rede existe sobrecarga com frequentes extravasamentos. A Figura 68 mostra num gráfico o comportamento hidrológico atual desse trecho.

Figura 68 - Perfil do trecho da rede com o conduto C375



Fonte: Produção da autora e de Vitor Camuzi

Acima, observa-se que no cenário atual os condutos a montante desse perfil (inclusive o C375) estão em sobrecarga trabalhando com a capacidade máxima de 100%. Vê-se, também, que ocorre o extravasamento no poço de visita a montante. A recomendação é que os condutos funcionem sempre com a capacidade máxima abaixo de 80%. Com esse parâmetro, estudou-se a capacidade máxima desse conduto (C375) nos cenários com LIDs. O resultado está descrito na Tabela 19.

Tabela 19 - Capacidade máxima do conduto C375

Capacidade máxima do conduto C375 (%)	
Cenário atual	100,00%
Cenário 1 (valas na W4)	85,4%
Cenário 2 (valas na W3)	80,6%
Cenário 3 (valas no Eixão)	100,00%
Cenário 4 (bacias nas EQNs)	100,00%
Cenário 5 (todas as LIDs)	27,2%

Fonte: Produção da autora

Observa-se que nos cenários atual, 3 e 4 o conduto C375 opera com sua capacidade máxima (100%). Isso acontece porque nos cenários 3 e 4 alterações propostas pela tese estão a jusante dele.

Nos cenários 1 e 2 há redução da capacidade de operação do conduto. No cenário 1 a capacidade máxima é de 85,4%, pois as LIDs ficam a montante desse conduto. No cenário 2 a capacidade cai para 80,6%, já que as LIDs operam nas sub-bacias nas quais o conduto está localizado. No cenário 5, o mais exitoso, é fruto da ação das LIDs dos cenários 1 e 2. Para ter esse desempenho não é necessário alterar o diâmetro do conduto, que atualmente é de 0,40m.

Outra melhoria hidrológica do conduto C375 se refere à sua vazão máxima. No cenário atual esse fluxo de água é de 193,60 l/s e nos cenários 1, 2 e 5 houve a diminuição dessa vazão. Destaca-se o cenário 5 (todas as LIDs) como modelo mais exitosos nesse quesito visto que a vazão máxima no conduto caiu para apenas 6,00 l/s. Os resultados estão descritos a na Tabela 20.

Tabela 20 - Vazão máxima no conduto C375

Vazão máxima do conduto C375 (l/s)	
Cenário atual	193,60
Cenário 1(valas na W4)	150,00
Cenário 2 (valas na W3)	144,3
Cenário 3 (valas no Eixão)	193,60
Cenário 4 (bacias nas EQNs)	193,60
Cenário 5 (todas as LIDs)	6,00

Fonte: Produção da autora

Avaliou-se a quantidade de água que extravasa nos poços de visita (PVs) 6215 e 6221 que se conectam ao conduto C375 (ver Figura 68). Os valores desse extravasamento estão listados abaixo na Tabela 21.

Tabela 21 - Extravasamento nos poços de visita no cenário atual

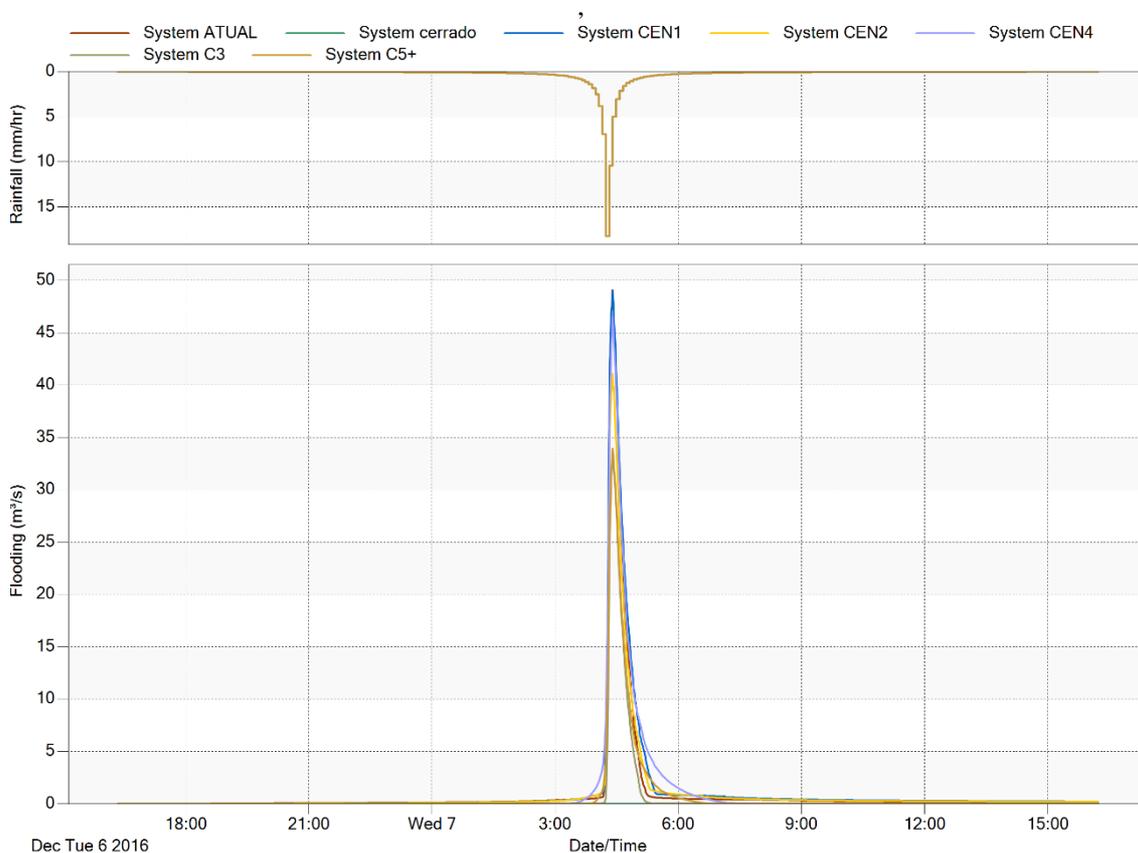
Extravasamento dos PVs (m³) no cenário atual	
PV 6215	106,1
PV 6221	0

Fonte: Produção da autora

Nota-se que a água derramada pelo PV 6215 contribui para o alagamento crítico que acontece na SPEN 511. Essa água que extravasa é tecnicamente conhecida como excedente na superfície ou, na linguagem comum, alagamento. Outro ponto positivo da adoção das LIDs, propostas pela pesquisa, é que nos cenários estudados ainda acontecem o extravasamento no PV 6215 entretanto num volume muito menor.

Por fim, avaliou-se o alagamento geral causado pela rede de drenagem na situação atual o que pode ser verificado no gráfico constante da Figura 69.

Figura 69 - Gráfico de inundação total da rede (m³/s)



Fonte: Produção da autora e de Vitor Camuzi

No que se refere ao extravasamento total da rede de drenagem causadores dos alagamentos os valores simulados nos diferentes cenários podem ser vistos na Tabela 22.

Tabela 22- Extravasamento total da rede (m³)

Extravasamento total da rede (m³)	
Cenário atual	85.420
Cenário 1 (valas na W4)	99.720
Cenário 2 (valas na W3)	81.740
Cenário 3 (valas no Eixão)	45.310
Cenário 4 (bacias nas EQNs)	88.430
Cenário 5 (todas as LIDs)	56.410

Fonte: Produção da autora

Na avaliação do extravasamento total de rede, nota-se que no cenário atual esse valor é de 85.420 m³ e trata-se de um extravasamento que ocorre em pouco mais de 1h. Esse

dado demonstra como é grande o volume de água que vai para as ruas numa chuva crítica.

Em todos os cenários propostos, ainda, haveria extravasamento da rede. Entretanto, com o funcionamento de todas as LIDs de forma simultaneamente (cenário 5), os alagamentos gerados seriam menores e em um número menor de poços de visita visto que o volume total de água extravasada cairia para 56.410 m³.

De modo geral, o cenário mais exitoso foi o 5 já que propõem valas e bacias nos principais pontos que conduzem as águas para os pontos atuais de alagamentos. As LIDs propostas tiveram o melhor desempenho em todos os critérios hidrológicos avaliados neste trabalho (vazão de pico no exutório, amortecimento total, capacidade máxima do conduto analisado, vazão máxima no conduto de estudo e extravasamento total). Os demais cenários, também, tiveram sucesso em alguns dos critérios avaliados.

Os resultados atestam as vantagens que a drenagem sustentável é capaz de gerar aplicada em áreas onde rede do sistema tradicional se encontra em obsolescência. No caso de estudo os resultados se mostram compatíveis com as prospectas do Drenar DF do ponto de vista da drenagem e muito melhores em termos de custos e interferências na paisagem. Além dos benefícios demonstrados por meio da simulação, essas estratégias também apresentam outros aspectos positivos com relacionados ao metabolismo urbano circular, ou seja, contribuem com as funções ecossistêmicas como prevê a infraestrutura verde.

4.6 Síntese do capítulo

Esse capítulo demonstrou os estudos realizados para comprovação das premissas e hipótese da tese. Definem cenários com uso das técnicas de infraestrutura verde e drenagem sustentável e as simula por meio de um programa computacional (PCSMWW de simulação hidrológica) com todos os passos estabelecidos metodologicamente. Com isso, foi possível comparar os desempenhos dos cenários entre si e com a situação da rede existente (cenário atual) e o cenário natural (pré-desenvolvimento). Contatou-se que o cenário 5 apresentou mais sucesso que os demais.

5 PAISAGEM URBANA INTEGRADA AS TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS DE DRENAGEM

Um desafio adicional do trabalho, esse mais relacionado ao urbanismo, é agregar as áreas verdes e livres urbanas mais de uma função ao mesmo tempo, ou seja, não serem apenas estéticas e de recreação e, também, serem compensações de drenagem urbana. Afinal, a tese visa demonstrar que a infraestrutura verde atua de forma multifuncional.

Na base das teorias aqui estudadas, em uma situação ideal, se deve atuar de forma preventiva com projeto de ocupação do solo fundados nas características do sítio e, no caso da drenagem, com sistemas de controle que potencializem a infiltração. Em casos onde os problemas estão consolidados se optaria pela implementação de medidas mitigatórias com análise das situações particulares. Esse último foi o caso da macrobacia estudada na tese.

Nesses casos, o desafio está em como a arquitetura da paisagem dialoga com as técnicas compensatórias de drenagem na cidade sem prejudicar as outras funções urbanas. O intuito é que elas não sejam apenas uma solução de engenharia hidrológica, mas que também funcionem como elementos da arquitetura da paisagem. Esse olhar corrobora com as pretensões expostas por Lucio Costa para Brasília, o caráter de cidade-parque, mas que não se consolidou na prática do urbanismo implementado.

O estudo nessa fase visa tornar os elementos de drenagem sustentável em novos polos de interesse recreativo e turístico e embelezamento estético da paisagem. Sobre isso, SERAPHIM (2018) aponta:

As técnicas de drenagem sustentável que podem ser implantadas para auxiliar nesse processo podem ser consideradas tanto durante a elaboração do projeto de expansão urbana quanto em projetos de renovação ou requalificação do espaço urbano. Além para aumentar as oportunidades para retenção e infiltração da água da chuva, elas podem servir também como espaços de recreação e como espaços para proteção de valores ambientais. Além de, do ponto de vista ecológico, promover o equilíbrio do ciclo natural da água promovendo a recarga de aquíferos, a umidades do solo e mantendo os fluxos de base de corpos hídricos superficiais (p.86).

Realizada a etapa das simulações hidrológicas e verificada a eficácia das LID propostas para a redução do escoamento superficial, cabe ao urbanista planejar a arquitetura da paisagem se utilizando de técnicas de infraestrutura verde adequadas à drenagem – no caso em estudo - de modo a compatibilizar os diferentes usos do espaço urbano, ou seja, articulando as funções urbanas de interação social e mobilidade, o equilíbrio ecossistêmico e as funcionalidades da drenagem.

Posto isso, a presente tese lista algumas recomendações, agora com enfoque paisagístico, que podem ser utilizadas nos 5 cenários propostos, já que todos responderam a redução do escoamento superficial, de modo a responder de forma global os desafios colocados pelo estudo.

O caso nos remete, ainda, a outro desafio que é compatibilizar com o padrão morfológico do Plano Piloto de Brasília, patrimônio urbanístico tombado. Assim, foram estudados (SERAPHIM, 2018; TUCCI, 2005) elementos urbanísticos e paisagísticos para harmonizar os dispositivos de drenagem sustentável com seu entorno, contemplar acessibilidade e segurança dos pedestres, dispor de tratamento paisagístico e mobiliário urbano adequado. Também, são apresentados alguns casos de tratamento da paisagem considerados exitosos em sua associação as técnicas de LIDs. São resultados satisfatórios do ponto de vista do enfoque paisagístico e recreativo para os elementos utilizados em todos os 5 cenários (valas de infiltração, bacia de retenção e bacia de retenção) que visam subsidiar os projetos de arquitetura da paisagem para a área e outras de condição similar.

5.1 Inserção valas de infiltração na paisagem urbana

Os cenários contemplaram a implantação de valas de infiltração ao longo nos canteiros das principais vias da macrobacia de estudo, ou seja, ao longo das vias: W4 Norte entre as superquadras 09, 10 e 13 (cenário 1), W3 Norte entre as superquadras 7 à 13 (cenário 2), e do Eixo rodoviário Norte no trecho das superquadras 11 e 12 (cenário 3).

Assim, se faz necessário discutir como essas valas podem ser inseridas na paisagem com o olhar da infraestrutura verde. No esquema abaixo, vemos que as valas podem ser localadas ao longo das vias de tráfego e propor espaços entre as guias para que a água pluvial possa sair da superfície impermeável (asfalto) e infiltrar na vala. Esse processo exige que as valas estejam mais baixas que as vias e visa inicialmente um processo de filtragem de água contaminada por resíduos, óleos, partículas de poluição e demais detritos pelas camadas de solo apropriadas e demais sua infiltração, como se vê na Figura 70.



Fonte: BENINI, 2015, p.113

Ao propor essas valas no espaço público deve-se considerar que além de favorecer a drenagem, as valas de infiltração causam uma barreira ao trânsito dos pedestres. Assim, as valas devem assegurar passagens como uma espécie de ponte ou serem descontínuas ao longo das vias propiciando as passagens de lado a lado da via. Na Figura 71 há um exemplo de travessia sobre a vala.

Figura 71 - Exemplo de passagem sobre vala de infiltração



Fonte: CERTU, 1998 *apud* BRITO, 2006, p. 24

As laterais das valas de infiltração constituem pequenos taludes. Para evitar que esses sofram com deslizamento devido às causas externas, sugere-se que eles sejam revestidos por cobertura vegetal, já que as plantas são capazes de ancorar esse sistema. Como já explicado previamente nessa tese, a presença da vegetação na cidade traz benefícios para o conforto térmico, para a biodiversidade urbana, para o embelezamento

e, também, para a drenagem. A Tabela 23 mostra os efeitos benéficos da vegetação para a hidrologia urbana.

Tabela 23 - Efeitos da Vegetação sobre a estabilidade de encosta

Efeitos da vegetação sobre a Estabilidade de Encostas			
A = efeitos adversos da vegetação			
B = efeitos benéficos da vegetação			
Efeitos hidrológicos		Efeitos mecânicos	
Copa			
Retêm parte do volume de água reduzindo precipitações	B	aumento da força normal pelo peso da copa e tronco	A/B
Reduzem a força de impactos das gotas da chuva e da erosão	B	Protegem o solo da ação direta dos raios solares e ventos	A/B
Aumentam o tamanho das gotas o que resulta em maior impacto localizado	A	Captam as forças dinâmicas do vento e a transmitem ao talude pelo tronco e sistema radicular	A
Reduzem a infiltração efetiva no talude devido à evapotranspiração	A/B		
Serrapilheira			
Aumenta a velocidade e a capacidade do armazenamento de água	A/B	Absorve, em parte, o impacto mecânico que resulta do gotejamento e no trânsito de máquinas e animais	B
Torna irregular e reduz a velocidade do escoamento superficial	B	Protege o solo de outras formas erosivas como vento, temperatura, etc.	B
Raízes			
Melhora a infiltração superficial da água no solo	A/B	Auxiliam na criação de agregados do solo por ação física e biológica	B
Com o aumento da porosidade do solo, melhoram sua permeabilidade	A/B	Aumentam substancialmente a resistência do solo ao cisalhamento	B
Retiram parte da água infiltrada	B	Redistribuem as tensões formadas nos pontos críticos	B
Criação pressão neutras nos poros aumentando a coesão do solo	A/B	Restringem os movimentos e ajudam a suportar o peso do talude	B
		Ancoram linhas de fratura	B

Fonte: DURLO; SUTILI, 2012, p. 76

DURLO e SUTTI (2012) ressaltam que para alcançar os benefícios apresentadas, a vegetação inserida deve seguir critérios ecológicos, fitosociológicos e reprodutivos para a escolha das espécies. Os autores orientam que a planta selecionada deve apresentar fácil adaptação ao local e ter características fisiológicas adequadas, como:

- Resistam à exposição parcial de suas raízes em locais onde se prevê formas erosionais;

- Tenha sistema radicular que permita a fixação do solo (talude), quer pelo comprimento, volume, distribuição e resistência das raízes, ou pela interação destas características;
- Resistam ao aterramento parcial, em locais onde se prevê formas deposicionais;
- Resistam ao apedrejamento (oriundo de barrancas altas e declivosas);
- Tenham capacidade de brotar após queda do ápice, ou corte intencional da parte aérea;
- Possuam, preferencialmente, a capacidade de se reproduzir por meios vegetativos;
- Apresentem alta ou baixa taxa de transpiração, em função de se desejar reduzir ou aumentar a umidade da área em questão;
- Possuam crescimento rápido.

A presença da vegetação além de evitar o deslizamento dos taludes das valas de infiltração, também, promove a camada de serrapilheira que, segundo AMARAL (2015), favorecer o aumento da permeabilidade do solo favorecendo a infiltração das águas pluviais. Como recomendações a composição da paisagem urbana deve se ter em conta além da vegetação a ser utilizada, também a recomposição da topografia. No que se refere à vegetação proposta deve considerar os seguintes fatores:

As valas e valetas são geralmente compatíveis com o revestimento vegetal, facilitando sua integração aos espaços verdes. As plantas escolhidas devem ser adaptadas à curtos períodos de inundação periódica. Árvores perenifólias devem ser, preferencialmente, utilizadas, em particular quando forem utilizados orifícios de regulação da vazão na estrutura. (BAPTISTA; NILO; SYLVIE; 2005, p. 206).

Em relação à topografia - no nosso caso, esse não se constitui um problema, visto que as proposições das LIDs estão em terrenos relativamente planos e, também, não oferecem problemas quando há declividade - em todo caso se deve ter em mente que:

Tendo em vista que as valas objetivam o armazenamento e a infiltração e não a rápida evacuação das águas pluviais, sua implantação deve ser feita preferencialmente em terrenos planos ou com inclinação reduzida. A existência de declividade, entretanto, não é um fator proibitivo, uma vez que podem ser instaladas divisórias de forma a aumentar os volumes de armazenamento e permitir a infiltração. (BAPTISTA; NILO; SYLVIE; 2005, p. 206).

Ainda que a topografia seja favorável para a implantação das valas de infiltração são necessárias algumas adaptações no terreno para otimizar o funcionamento das mesmas. Assim, deve-se reduzir a inclinação das valas (elas não devem seguir a inclinação do terreno). Para isso, recomenda-se que as valas sejam escavadas em alguns pontos para que elas fiquem niveladas e que se escave a montante do dreno. Com isso evita-se que existam pontos onde se acumule pouca água.

Como indicado no Manual de Drenagem do DF, as valas de infiltração locadas ao longo de vias deve levar em consideração a categoria da via, no caso estudado Av. W3 e Av. W4 Norte e do Eixo rodoviário Norte por serem vias arteriais necessitam de calçadas e

ciclofaixas e, portanto, deve ser objeto de projeto específico para harmonizar as funções.

Para esses casos, deve-se considerar o que aponta GONDIM (2010) que ao se referir a calçada destaca que essa deve ser uma área mais elevada da via, destinada à circulação de pessoas, logo, têm que apresentar um espaço suficiente para permitir a passagem de pedestres seja em cadeiras de rodas ou em carrinhos de bebê. A ciclofaixa pode estar ao lado das calçadas e deve ter um piso diferenciado da faixa de passeio. Ficando próxima à pista, a ciclofaixa deve ser ladeada por uma faixa de segurança amortecendo sua proximidade dos veículos. Nos casos propostos essas circulações devem obedecer, minimamente, às dimensões apresentadas na Figura 72 ressaltando que a faixa de passeio (FP) para duas pessoas deve ter pelo menos 1,50m. Assim, constatamos que a largura total da ciclofaixa somada ao passeio de pedestres é de 3,00m.

Figura 72 - Dimensões da ciclofaixa e passeio próximos à pista



Fonte: GONDIM, 2010, p. 78

O dimensionamento das valas quando de sua alocação deve considerar (como no caso da definição dos cenários da tese) as dimensões e condições locais e de uso das áreas livres existentes levando em conta outras funções urbanas, em especial, a mobilidade urbana. Como foi utilizado na maioria dos casos nos canteiros da W4 Norte, W3 Norte e Eixo rodoviário, mais uma vez vale destacar a recomendação geral:

Para uma vala ou valeta de detenção, não é necessário determinar *a priori* as dimensões iniciais, sendo a disponibilidade de área para a implantação frequentemente um fator condicionante das dimensões da estrutura. (...) Geralmente, o comprimento é fixado quando do estabelecimento do projeto global da área, sem restrições quanto à seção transversal, cuja forma depende essencialmente da escolha do projetista (...). (BAPTISTA; NILO; SYLVIE; 2005, p. 208).

Por fim, como recomendação mínima para o projeto urbanístico das valas em canteiros se deve ter em conta a sua localização e topografia em relação às vias, as garantias de funcionalidades da mobilidade e o tratamento da vegetação e do solo para que garanta seu desempenho paisagístico e ecossistêmico propiciando o serviço ambiental da infiltração.

Valas de infiltração na paisagem da W4 Norte

Devido aos espaços generosos nos canteiros da W4 Norte, estabeleceu-se que as valas nesse local serão separadas pelas passagens (ciclofaixa e passeio). Assim, criou-se um fluxo principal ao longo do canteiro e outros secundários. A Figura 73 mostra como as valas de infiltração podem ser locadas nos canteiros da W4 Norte. A forma das valas foi definida pela topografia local. A intenção é que esse desenho servia de referência para os outros desse cenário.

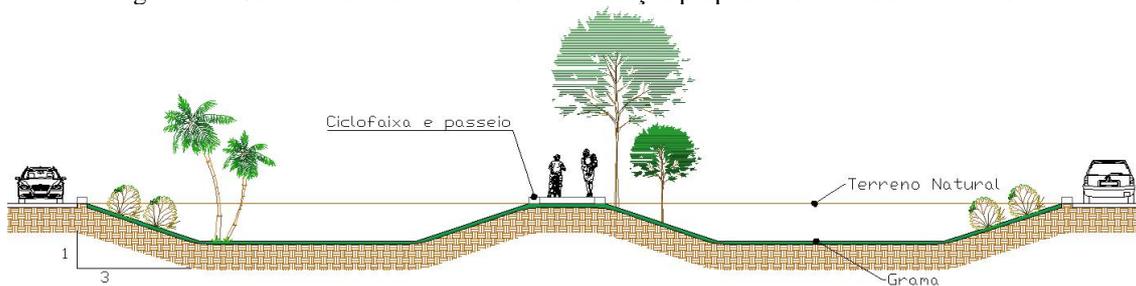
Para determinar a profundidade das valas, considerou-se a seguinte recomendação: “*de forma geral, a largura das valas situa-se entre 4 e 10 vezes a sua profundidade*” (BAPTISTA; NILO; SYLVIE; 2005, p. 208). Considerou-se também que: “*Quando as valetas integram áreas de lazer, é aconselhado o emprego de estruturas de pequena profundidade para evitar acidentes face à possibilidade de ocorrência de enchimentos excepcionalmente rápidos.*” (BAPTISTA; NILO; SYLVIE; 2005, p. 206).

Tendo em vista essas condicionantes de projeto, especificou-se a profundidade de 1,50 m para as valas na W4 Norte. Mas, é recomendável que haja uma borda livre de 0,30m para evitar transbordamentos indesejados e acidentes com a população. Dessa forma, se chega à altura máxima no nível da água nas valas da W4 Norte de 1,20m.

Para garantir a segurança dos transeuntes é necessário que ao longo dessas valas de infiltração (como as localizadas nos canteiros da W4 e W3 norte) sejam instalados anteparos de segurança e placas explicativas sobre sua profundidade com a finalidade de evitar acidentes como afogamentos, por exemplo. No que se refere a mobilidade foram previstos passeios e ciclofaixas (largura total de 3,00m) ao longo das valas. Para o melhor aproveitamento dos canteiros definiu-se que 85% da área total seria destinada as valas, enquanto os outros 15% do espaço poderiam ser impermeabilizados e ocupados por mobiliários urbanos.

A Figura 74 representa um corte transversal do canteiro da W4 Norte com a representação das valas de infiltração propostas com 1,50m de profundidade. O espaço existente na W4 Norte, comporta duas valas (largura aproximada de 18m de largura cada), já os comprimentos são variáveis pois seguem as curvas de nível. É necessário que existam passagens de pedestres no sentido transversal para permitir fluxo através do canteiro. Entre as valas, no centro, são previstos ciclovia e passeio (com 3m de largura ao total).

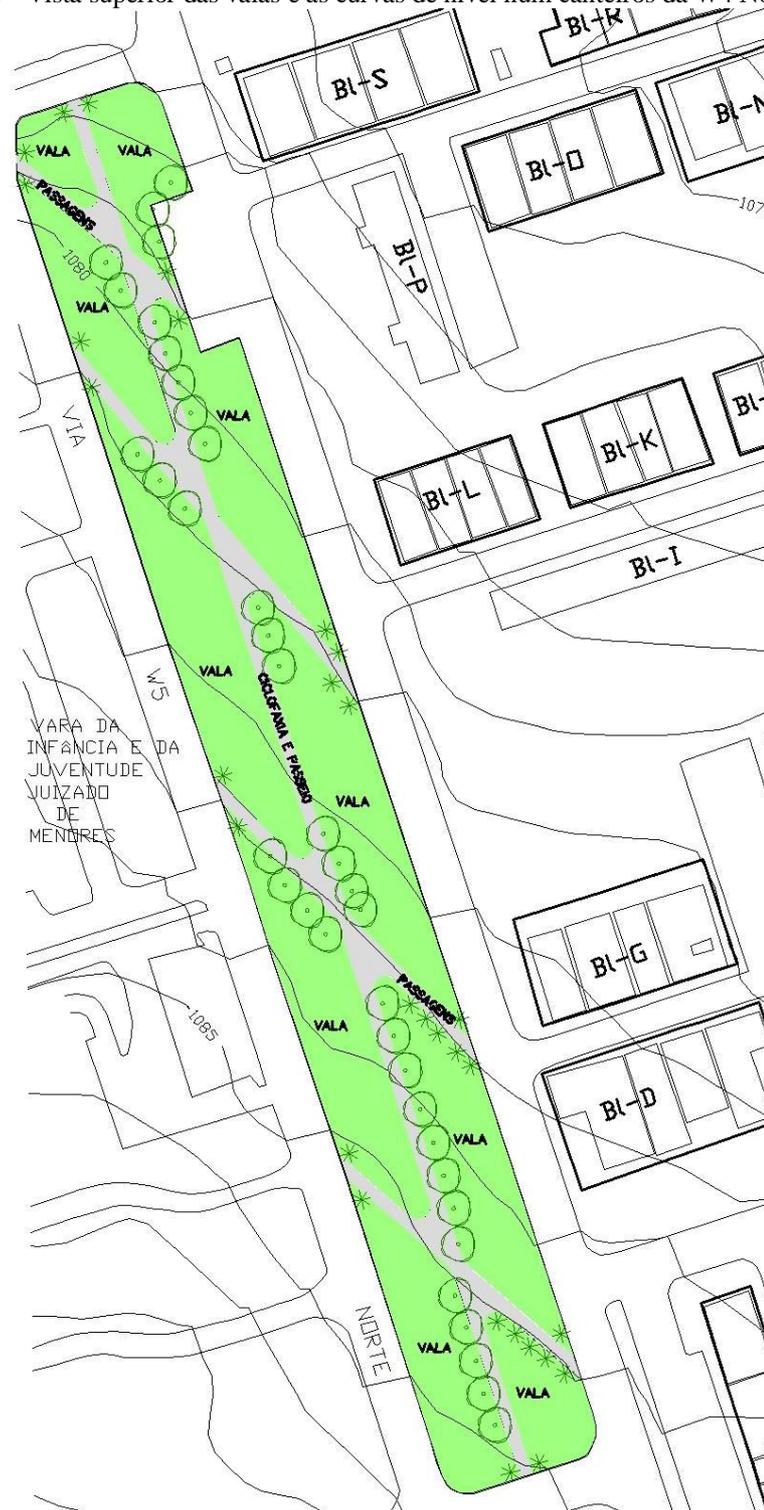
Figura 74 - Corte transversal das valas de infiltração proposta no canteiro da W4 Norte



Fonte: Produção da autora

A Figura 75 mostra uma vista superior de um canteiro na W4 Norte com as valas com a representação da topografia local. É importante que as valas obedeam às curvas de nível para funcionarem. Vê-se também que essas LIDs podem ser vegetadas, prioritariamente nas proximidades dos passeios para gerar conforto aos transeuntes. A ilustração é uma referência do modo com essas LIDs podem ser implantadas nos outros canteiros da W4 Norte da Faixa 10-11.

Figura 75 - Vista superior das valas e as curvas de nível num canteiros da W4 Norte



Fonte: Produção da autora

A Figura 76 mostra como as valas de infiltração podem se integrar à paisagem local por meio de imagem de satélite.

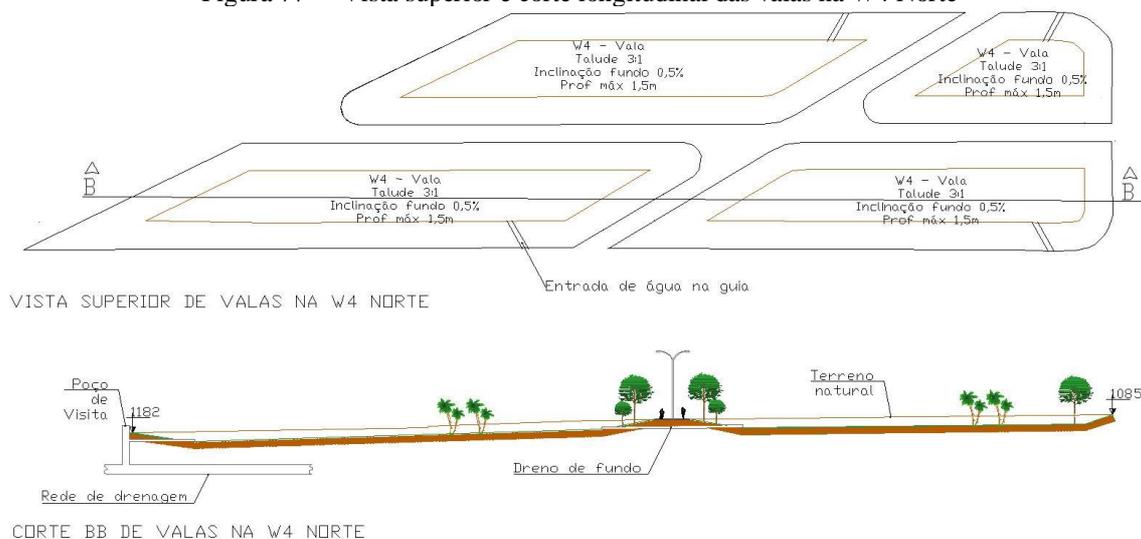
Figura 76 - Imagem de satélite com valas na W4 Norte



Fonte: SICAD com adaptação da autora

As valas estão conectadas em si por meio de um dreno. Além disso, elas também se conectam à rede de drenagem existente. Essas valas devem possuir taludes laterais de 3:1 e 0,5% de inclinação de fundo. Essas conexões entre as valas e a rede atual estão ilustradas na Figura 77 que mostra um desenho esquemático (vista superior e corte longitudinal) dessas valas.

Figura 77 - Vista superior e corte longitudinal das valas na W4 Norte

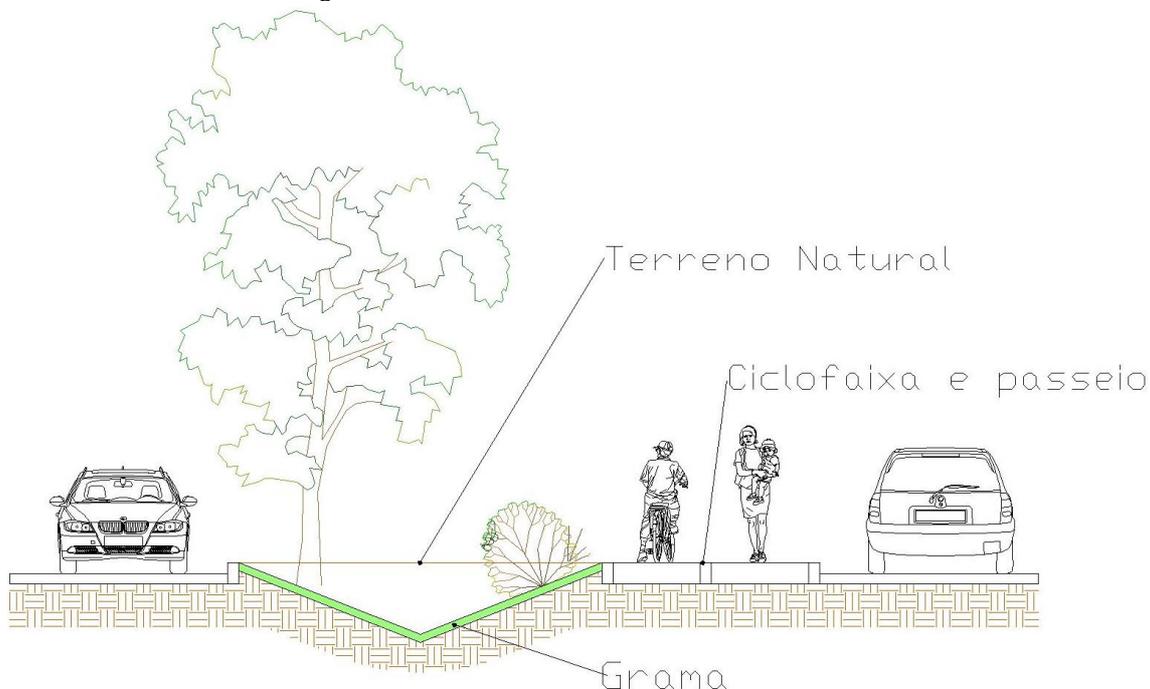


Fonte: Produção da autora

Valas de infiltração na paisagem da W3 Norte

A próxima imagem retrata a vala de infiltração prevista para o canteiro central da W3 Norte. Essa região é a que possui menos espaços livres para a locação de LIDs da macrobacia de estudo. Observa-se na Figura 78, a largura das valas é em torno de 5,00m de largura e 1,00m de profundidade. Nesse caso também é prevista uma borda livre de 0,30m. Logo a lâmina de água nessas valas chegará ao máximo de 0,70m de profundidade quando cheias. No canteiro junto com a LID, é possível prever a existência de ciclovia e passeio de pedestres (3m ao total) e a arborização pode ser plantada nas próprias valas.

Figura 78 - Corte do canteiro da W3 Norte com vala



Fonte: Produção da autora

A Figura 79 mostra que as valas possuem comprimentos diferentes que devem ser definidos de acordo com a topografia do local. A figura a seguir representa o canteiro da W3 Norte na região das quadras 707 e 708. A intenção é que os demais espaços centrais dessa avenida tenham valas distribuídas nos moldes representados por essa imagem.

Figura 79 - Vista superior das valas e as curvas de nível num canteiro da W3 Norte



Fonte: Produção da autora

A Figura 80 mostra em imagem de satélite como as valas podem ser posicionadas na paisagem de um trecho dessa avenida.

Figura 80 - Imagem de satélite com valas na W3 Norte



Fonte: SICAD com adaptação da autora

A seguir mostra a um detalhamento da vista superior de um trecho da W3 Norte com duas valas. Na Figura 81 nota-se que o comprimento delas varia de acordo com as curvas de nível.

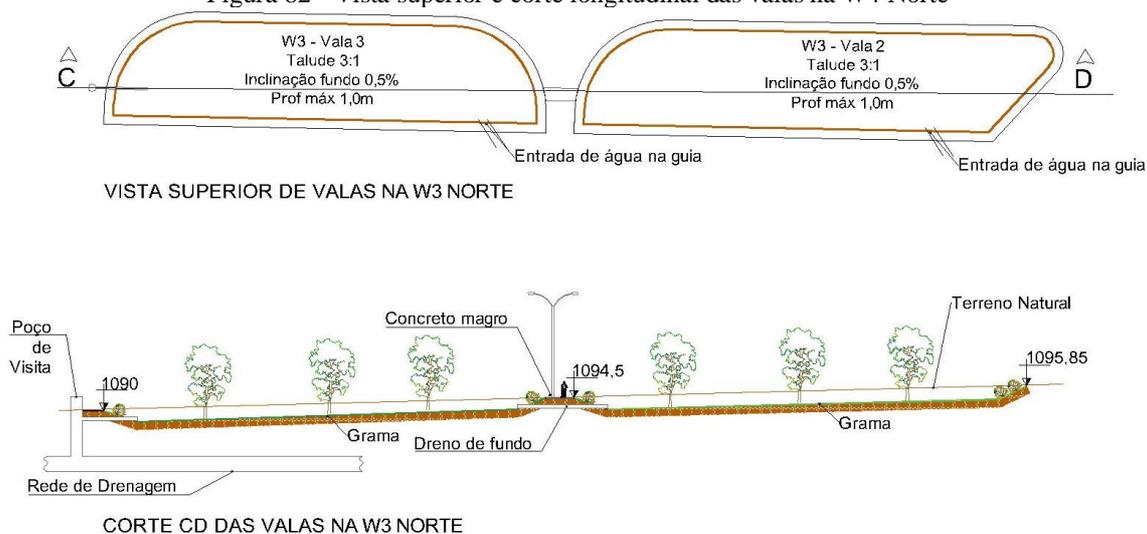
Figura 81 - Detalhamento de valas na W3 Norte



Fonte: Produção da autora

A Figura 82 mostra uma vista superior e um corte longitudinal esquemático nos canteiros da W3 Norte. Nela estão representadas as valas de infiltração – vegetadas – separadas por passagens (de pedestres e de bicicletas). Mas, ainda assim, as valas se conectam entre si por meio de drenos. Recomenda-se que os taludes laterais tenham a proporção de 3:1 e que a inclinação de fundo seja de 0,5%. Na figura abaixo verifica-se como essas valas podem se conectar à rede de drenagem existente.

Figura 82 - Vista superior e corte longitudinal das valas na W4 Norte



Fonte: Produção da autora

Em ambos os casos - valas da W4 e da W3 Norte – é possível que exista arborização, mas deve-se prever que as águas pluviais fiquem acumuladas nas valas por no máximo um dia para não danificar a vegetação existente. Para isso, deve haver uma tubulação de fundo nas valas para que as águas sejam drenadas para a rede existente.

Ao longo dos passeios e ciclofaixas pode-se utilizar arbustos ladeando as valas de infiltração. Assim, o paisagismo atua como uma barreira física entre as pessoas e as LIDs e pode evitar alguns acidentes, além de contribuir para a harmonização da paisagem. Assim, nessa região 75% do espaço dos canteiros da W3 Norte será destinado às valas e os outros 25% com possibilidade de impermeabilização por ciclofaixas, passeios e outros mobiliários necessários.

Recomenda-se, também, que as árvores próximas às valas - além de perenes - tenham o sistema radicular pivotante, para que se evite danos entre as raízes e a tubulação de fundo responsável pela drenagem.

Valas de infiltração na paisagem no Eixão

Já o canteiro do Eixão apresenta grande disponibilidade para elementos de infraestrutura verde. No local o fluxo de pedestre já é previsto, por segurança de trânsito, que ocorra nas passagens subterrâneas existentes, porém aos domingos a área é utilizada pela população para piqueniques, eventos, etc. Assim, é necessário propor uma LID que permita a circulação de pessoas nos canteiros. A sugestão para essas valas é que sejam

côncavas com baixa profundidade – no máximo 0,30m – para que não haja o acúmulo das águas pluviais por muito tempo. Logo, diferentemente das valas da W4 e da W3 não é necessário haver dreno e 100% do espaço dos canteiros do Eixão continuará permeável.

Essas, além de rasas devem ser gramadas e podem ser densamente arborizada. As pequenas valas devem ser locadas em patamares (acompanhando as curvas de nível do terreno), e irão funcionar como mini bacias separadas por bermas (pequenos taludes).

A Figura 83 mostra a vista superior com a posição dessas valas. Pode-se observar que as valas não seguem padrões geométricos e que seguem a topografia do local.

Figura 83 - Vista superior das valas que seguem a topografia dos canteiros do Eixão



Fonte: Produção da autora

A Figura 84 mostra como as valas de infiltração se mesclam à paisagem da região. Como elas tem pouca profundidade (0,3m) não atrapalham o fluxo de pedestre e nem eventos que possam acontecer nesses gramados.

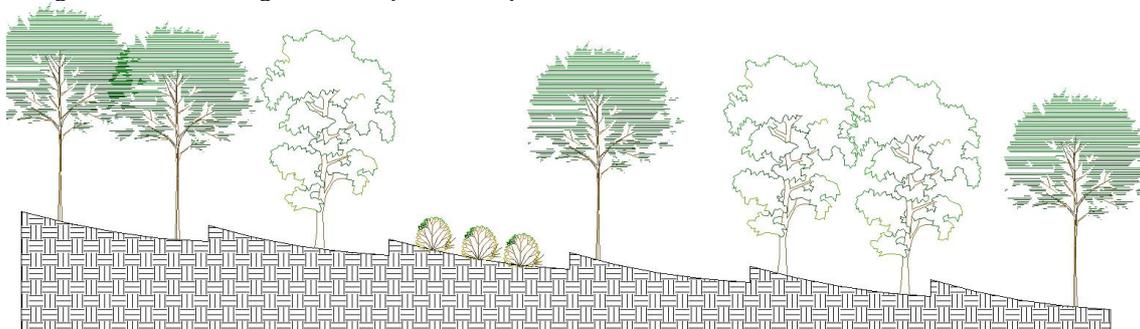
Figura 84 - Imagem de satélite com valas nos canteiros do Eixão Norte



Fonte: SICAD com adaptação da autora

A Figura 85 representa um corte longitudinal dos canteiros do Eixão com as valas propostas. A representação está em uma escala alterada para que se destacar as concavidades das valas. Vale destacar as pequenas bermas que separam essas LIDs e sua pouca profundidade.

Figura 85 - Corte longitudinal esquemático que destaca concavidade das valas dos canteiros do Eixão



Fonte: Produção da autora

Com esses estudos, criou-se um quadro que resume as principais adequações da paisagem para inserção das valas na macrobacia de estudo, ver Tabela 24.

Tabela 24 - Adequações da paisagem às valas de infiltração

Harmonização entre LID e paisagem urbana						
LID	Impacto na paisagem	Ocupação / acessibilidade	Tratamento paisagístico	Mobiliário Urbano	Efeito ambiental esperado	Nível máx. da água (m)
Valas de infiltração na W4 Norte	Médio impacto. Barreira no fluxo de pedestres.	Promover a passagens a cada 50m. 15% da área do canteiro deve ser impermeável e 85% do espaço destinado à LID	Vegetação nativa. Árvores perenes com sistema radicular pivotante, palmeiras, forrações e arbustos.	Calçadas (1,5m). Ciclofaixas (1,2m). Placas explicativas sobre o funcionamento hidráulico. Anteparos de segurança em locais pouco visíveis.	Favorece tratamento de escoamentos levemente poluídos por infiltração no solo. Evitar períodos inundados compatíveis com a proliferação de mosquitos.	1,20m
Valas de infiltração na W3 Norte	Médio impacto. Barreira no fluxo de pedestres.	Promover a passagens a cada 50m. 25% da área do canteiro deve ser impermeável e 75% do espaço destinado à LID.	Vegetação nativa. Árvores perenes com sistema radicular pivotante, palmeiras, forrações e arbustos.	Calçadas (1,5m). Ciclofaixas (1,2m). Placas explicativas sobre o funcionamento hidráulico. Anteparos de segurança em locais pouco visíveis.	Favorece tratamento de escoamentos levemente poluídos por infiltração no solo. Evitar períodos inundados compatíveis com a proliferação de mosquitos.	0,70m
Valas de infiltração no Eixão	Baixo impacto.	Permitir o fluxo de pedestre sobre a LID. 100% da área é destinada à LID e ao paisagismo	Vegetação nativa. Árvores perenes ou caducas, palmeiras, forrações e arbustos.	-	Favorece tratamento de escoamentos levemente poluídos por infiltração no solo. Evitar períodos inundados compatíveis com a proliferação de mosquitos.	0,30m

Fonte: Produção da autora

5.2 Bacias de retenção na paisagem das entrequadras norte

No estudo se propõe a bacia de retenção nas EQNs 309/310, 110/111, 313/314. As bacias de retenção, também, chamada de lagoas secas, são depressões vegetadas que no período de chuvas recebem e retêm as águas pluviais retardando a entrada das águas no sistema de drenagem possibilitando, assim, a infiltração e a recarga de aquíferos.

Geram um armazenamento temporário das águas pluviais nas épocas secas e podem ser usadas para lazer, recreação e atividades diversas. Um dos usos mais disseminados usos para esses espaços se refere a quadras esportivas que podem ser trapezoidais com rampas de infiltração que funcionam como retenções enterradas nos moldes mostrado nas Figuras 86 e 87.

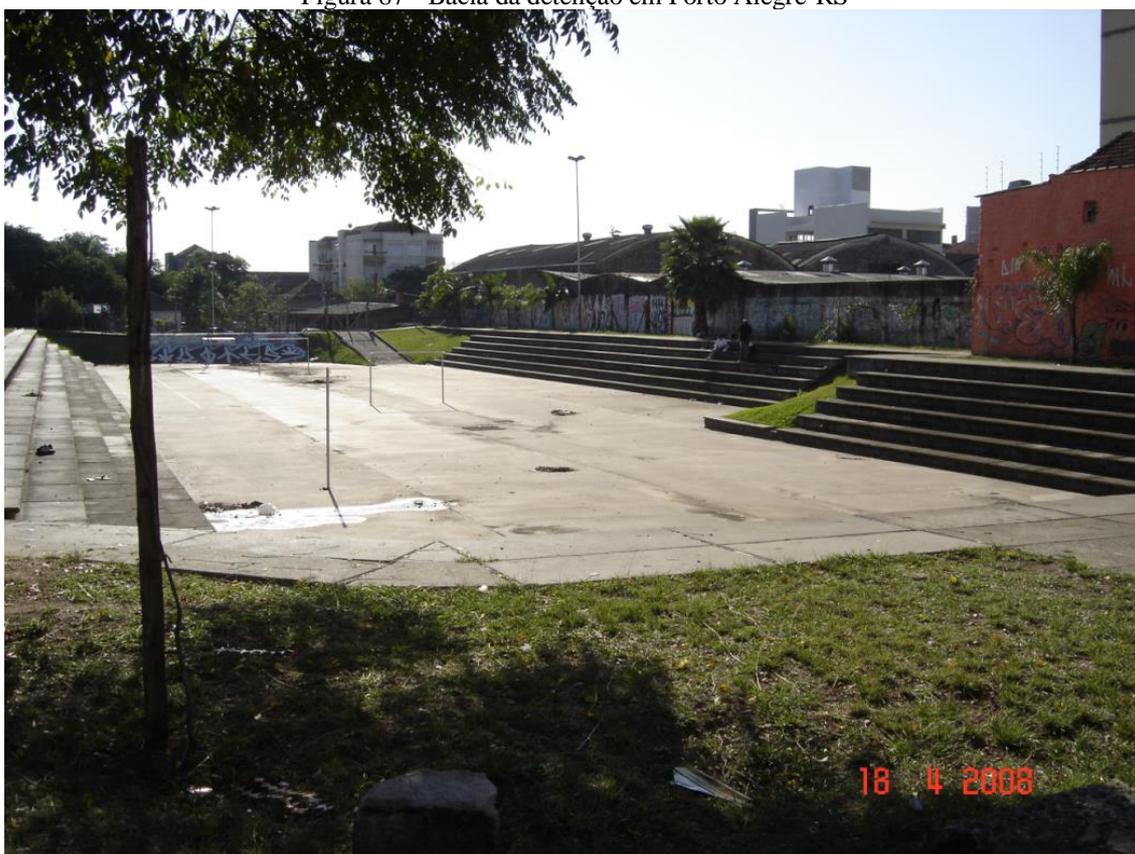
Figura 86 - Bacia de retenções com uso esportivo em Curitiba e Porto Alegre respectivamente



Fonte: TUCCI, 2005, p. 127

Em Porto Alegre – RS, localizada na Avenida Polônia, há um exemplo exitoso de bacia de retenção aberta que é utilizada como quadra esportiva no período em que está seca. Nela utilizam-se taludes laterais suaves de forma a evitar possíveis acidentes cobertos por grama. Podem, também, serem construídos na forma de arquibancadas ou rampas lisas.

Figura 87 - Bacia da detenção em Porto Alegre-RS



Fonte: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/default.php?p_secao=69>

Essa quadra é o ponto de encontro dos jovens do bairro, onde são disputadas partidas de futebol acompanhadas de perto por uma torcida formada por amigos e familiares dos jogadores. Como dito, se observarmos com atenção percebe-se que os degraus das arquibancadas e as rampas laterais formam uma grande bacia de retenção de águas pluviais. Em dias de chuvas fortes as águas são encaminhadas para armazenamento nessa bacia e no fundo existem drenos que liberam a água vagorosamente por um período de até 24 horas.

A retenção temporária desse grande volume de águas evita enchentes nas ruas da região e maiores transtornos para a população. Sendo uma instalação totalmente aberta essa bacia de detenção pode ser facilmente limpa após o escoamento total das águas pluviais e devolvida para o uso recreativo da população. Considerando-se a frequência das grandes chuvas é possível afirmar que durante a maior parte do ano a instalação ficará disponível para o uso pela população. Pistas de skate, playgrounds e anfiteatros são outros modelos de equipamentos de lazer urbanos que podem ser utilizados em projetos de bacias de detenção abertas.

Outro exemplo, bastante difundido é o Redfern Park localizado no subúrbio de Minto, a 60 km a sudoeste do Sydney. Minto é um subúrbio que atualmente está passando por um grande processo de renovação urbana criando oportunidade para vários novos parques. Tais parques destinam-se a fomentar e incentivar a coesão social e identidade para o subúrbio recém reconfigurado. A porção leste do parque é reservada para a regeneração da vegetação e foram plantadas espécies nativas, já na parte central se permite fazer piqueniques. A porção oeste do parque incorpora medidas de gestão de águas pluviais com a intenção de filtrar poluentes brutos, como um jardim de chuva e uma grande bacia de detenção que funciona como um anfiteatro, ver Figura 88.

Figura 88 - Anfiteatro usado como bacia de detenção aberta no Redfren Park

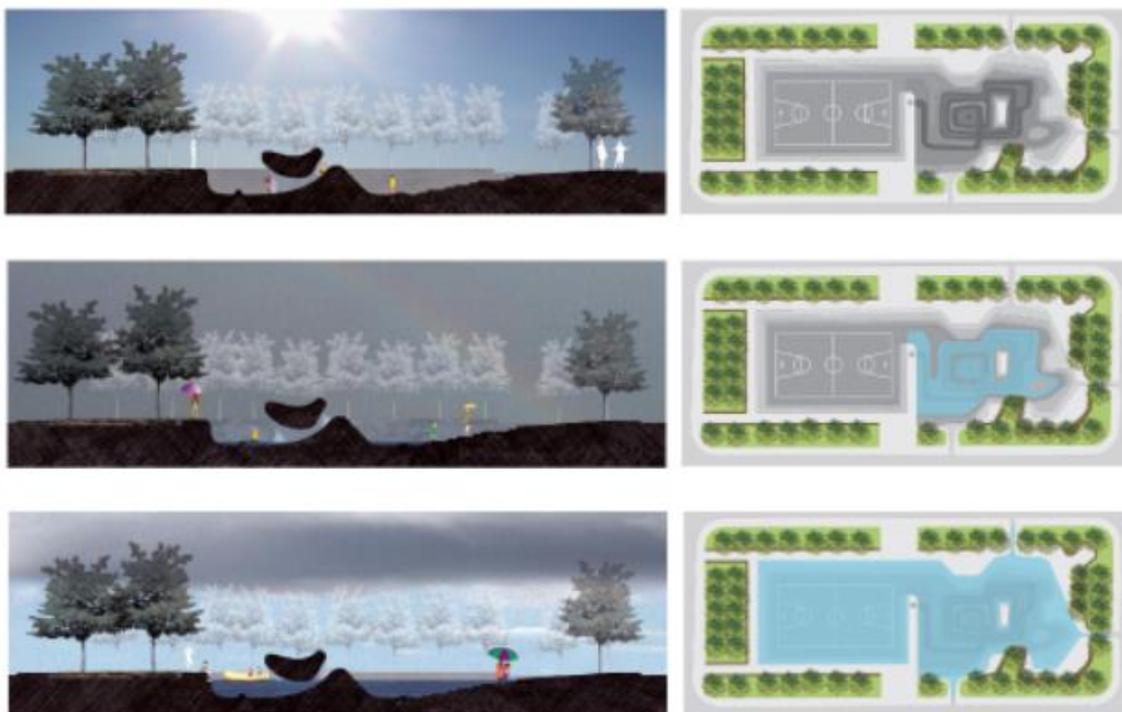


Fonte:<<https://worldlandscapearchitect.com/redfern-park-creating-playground-experience/#.XEudWVxKhPY>>

Os exemplos demonstram que a ideia de lagoas secas como espaços apartados da estrutura urbana não corresponde a um imperativo técnico e que depende da concepção do projeto paisagístico e de sua gestão. Sugere-se que as águas pluviais não sejam vistas como um problema urbano a ser escoado, mas um aliado da arquitetura da paisagem e uma oportunidade interessante de transformação do espaço urbano. É o caso da concepção de praças aquáticas, uma ideia concebida pelo grupo multidisciplinar holandês liderado pelo urbanista Florian Boer, do estúdio De Urbanisten.

O projeto é apresentado no livro De Urbanisten e WondrousWater Square, que propõem resolver os problemas de inundações por meio de soluções simples, mas eficazes. As praças propostas pelo grupo funcionam com playgrounds, gramados flutuantes, anfiteatros teatros, e ao mesmo tempo podem se tornar locais para armazenar água que de outra forma inundaria as ruas. A Figura 89 mostra o comportamento de quadras de uma praça aquática em diferentes situações climáticas.

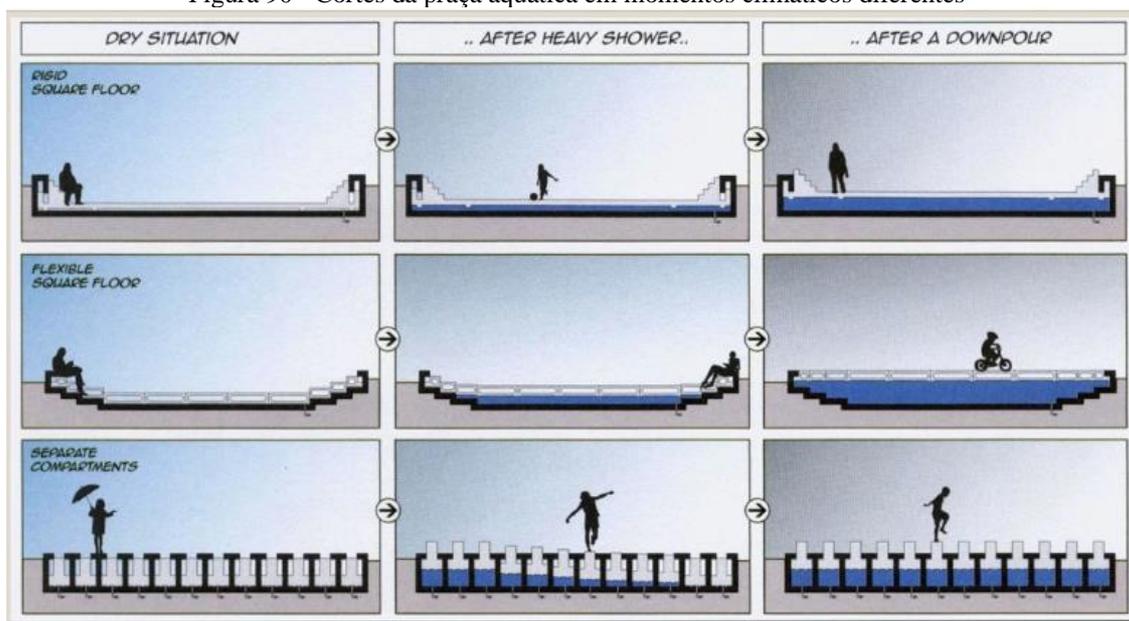
Figura 89 - Quadras esportivas em diferentes situações meteorológicas



Fonte: <<http://www.urbanisten.nl/wp/?portfolio=waterpleinen>>

Em períodos de estiagem, a água obviamente não existe e os espaços podem ser usados como playground ou campo de esportes, por exemplo. Quando houver uma precipitação de intensidade média, a quadra é parcialmente inundada e a água é lentamente enviada para as redes. Finalmente, durante períodos de chuva intensa, o excesso de água é desviado para a praça, que se torna uma bacia de retenção aberta que embeleza a paisagem. Quando a tempestade acaba e a capacidade da rede se reestabelece a água é lentamente reenviada para o sistema de drenagem, como apresentado na Figura 90.

Figura 90 - Cortes da praça aquática em momentos climáticos diferentes



Fonte: <<http://www.urbanisten.nl/wp/?portfolio=waterpleinen>>

Em todas as circunstâncias e em todas as estações, no entanto, alguns espaços permanecem disponíveis para os cidadãos e podem ser usados de forma diferente, dependendo do nível de água presente. Além de criar ambientes agradáveis e evitar inundações, as praças aquáticas também são eficazes na filtragem e limpeza da água, reduzindo a poluição dos lençóis freáticos e dos reservatórios.

Mais uma situação de uso de espaços públicos associado a soluções de drenagem se encontra em Roterdã, intitulada *The Flood*. Na maior parte do tempo, a praça de água estará seca e em uso como espaço de lazer. O projeto da praça aquática é dividido em duas partes principais: uma área de esportes e um playground montanhoso e o espaço é emoldurado por uma massa verde de grama e árvores. Quando fortes chuvas ocorrem, a água da chuva vai sendo coletada pelos diferentes ambientes e essa fluirá do primeiro quadrado da água para o próximo e assim sucessivamente vai preenchendo os diferentes quadrados (ver Figura 91). A água fica organizada em três bacias diferentes: duas menores serão inundadas toda vez em caso de chuva, a terceira, mais profunda, receberá água apenas durante chuvas fortes, transformando-se em um pequeno lago.

Figura 91 - Perceptivas da praça aquáticas em diferentes estações do ano



Fonte: <<http://www.urbanisten.nl/wp/?portfolio=waterpleinen>>

Propostas de bacias de retenção para a área de estudo

Para estabelecer as dimensões das quadras gramadas que funcionarão como bacia de retenção na época de chuva adotou-se como embasamento as seguintes obras: BAPTISTA M., NASCIMENTO N., BARRUD S. (2005), NEUFERT (2004), e ADASA (2018).

Para que existam elementos de infraestrutura verde que favoreçam a drenagem foi proposto que nos lotes destinados ao uso institucional - EQN 309/310, EQN 110/111 e EQN 313/314 - instale-se bacias de retenção que funcionem, também, para o lazer ativo nas futuras escolas a serem implantadas.

Para que a segurança das LID seja assegurada é recomendado que existam placas que expliquem o funcionamento hidráulico de bacia de retenção e elementos de segurança para evitar acidentes. Para determinar o tamanho das quadras esportivas a serem locadas na área livre desses lotes consultou-se NEUFERT (2004) onde se obteve as dimensões máximas e mínimas do mobiliário para escola fundamental, qual seja: campo pequeno para futebol infantil 60 m de comprimento e 30 m de largura configurando uma área de 1200 m².

Ainda com base nessa obra, verificou que a arquibancada desse campo pode possuir degraus com assentos com 0,8 m de profundidade (piso) e 0,4 m de altura (espelho). A ideia é que o piso dos degraus, também, seja gramado como se viu na figura 80. Definiu-se então que essa quadra esportiva poderá ter 4 degraus de arquibancada o que faz com que cada bacia de detenção tenha 1,60 m de profundidade e 2255 m² de área. Entretanto, é prevista uma borda livre de 0,40 m, logo a altura máxima do nível da água quando essa bacia estiver cheia será de 1,20m. A pouca profundidade foi estabelecida com a intenção de minimizar os riscos de acidentes no local.

O objetivo é que essas estruturas armazenem temporariamente as águas decorrentes do escoamento de origem pluvial e, também, que possibilitem a infiltração para exercer seu papel ecossistêmico. De acordo com BAPTISTA M., *et al.* (2005), essas quadras gramadas, também, podem ser chamadas de bacias de infiltração e apresentam o seguinte funcionamento:

São bacias que desempenham funções simultâneas de armazenamento temporário e de infiltração de águas pluviais. São dimensionadas para todos os aportes de águas de escoamento infiltrarem no solo, ou seja, não possuem dispositivo hidráulico de controle de saída, a não ser um vertedor de emergência para drenar vazões que ultrapassem a capacidade de amortecimento e infiltração da bacia. (p. 119)

A ADASA (2018) faz diversas recomendações construtivas para as técnicas compensatórias de controle na fonte. Entre as mais significativas para esse trabalho, diz respeito à borda livre (*free board*). Seguem as recomendações:

- i. manutenção frequente a fim garantir de salubridade da bacia de detenção;
- ii. orifício com tubulação de saída conectado à rede de drenagem para que não aconteçam transbordamentos caso as águas pluviais ultrapassem a borda livre.

Em decorrência dessas recomendações se sugere que no quarto degrau da arquibancada (nível 1,60m) deva ser disposta a tubulação de saída. Com essas observações, apresenta-se na Tabela 25 encontram-se sintetizados os aspectos urbanísticos a serem respeitados para a locação dessas bacias de detenção abertas.

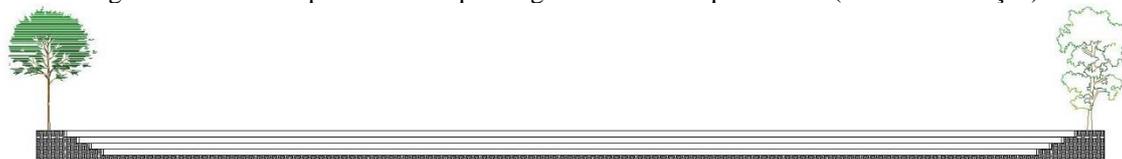
Tabela 25 - Harmonização entre bacia de detenção e paisagem urbana

Harmonização entre bacia de detenção e paisagem urbana						
LID	Impacto na paisagem	Tratamento paisagístico	Mobiliário urbano	Efeito ambiental esperado	Área (m²)	Nível máx. da água (m)
Quadra gramada (bacia de detenção aberta) nas EQN 309/310, 110/111 e 313/314	Ponto de interesse. Impacto moderado na paisagem. Lazer ativo	Gramma como forração da bacia. Vegetação nativa nos arredores. Uso de árvores, palmeiras, arbustos e forrações	Calçadas (1,50m) e ciclofaixas (1,20m), bancos, lixeiras, postes e placas explicativas sobre o funcionamento hidráulico e anteparos de segurança.	Grande risco de proliferação de vetores ligados ao lixo. Por outro lado, trata eventual poluição leve pela infiltração no solo.	2.255,00	1,20

Fonte: Produção da autora

A Figura 92 se apresenta um corte esquemático de quadra gramada que funcionará como bacia de detenção na proporção planejada para esse estudo, na qual a profundidade total é de 1,60m (4 degraus) mas o nível das águas pluviais chegará até 1,20m (até o 3º degrau).

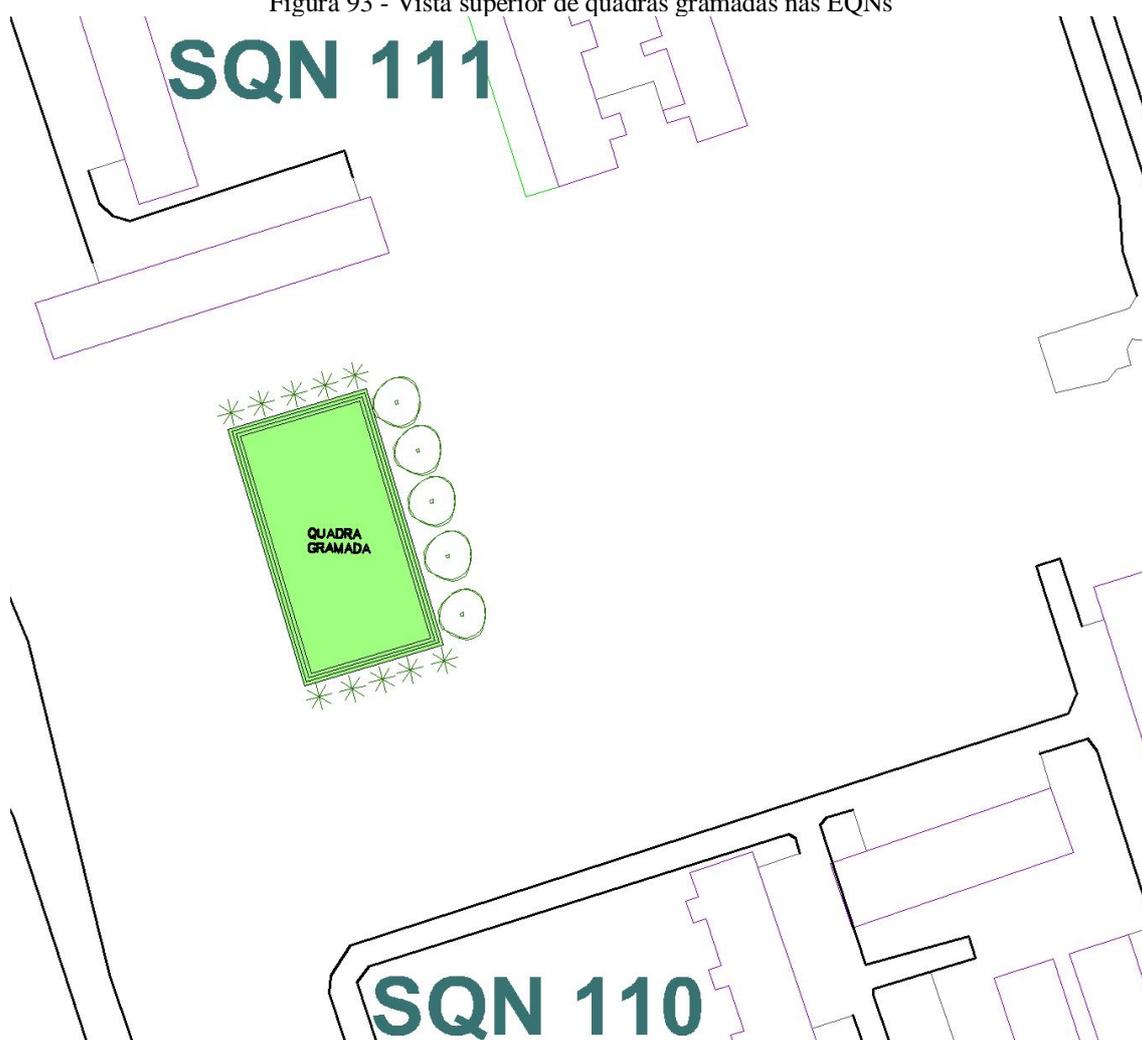
Figura 92 - Corte esquemático da quadra gramada com arquibancada (bacia de detenção)



Fonte: Produção da autora

A Figura 93 apresenta, em vista superior, um desenho esquemático de como as bacias de detenção podem funcionar como quadras esportivas gramadas nas escolas.

Figura 93 - Vista superior de quadras gramadas nas EQNs



Fonte: Produção da autora

Lagoa pluviais e parque urbano nas entrequadras norte

As bacias de retenção quando projetadas com enfoque na infraestrutura verde funcionam como uma lagoa pluvial por possuir lâmina de água permanente. Essa LID atua como um lago artificial na cidade e pode ser embelezado com plantas aquáticas e outros elementos de composição do paisagismo. Essa é a solução apresentada para as áreas disponíveis nas EQN 311/312 e 112/113.

Chamadas no Brasil de “piscinões”, às vezes com sentido pejorativo, as lagoas pluviais são muito utilizadas na engenharia hidrológica tradicional, mas podem adquirir também um sentido paisagístico. Segundo HERZOG, (2010, p. 08) elas acomodam o excesso de água das chuvas, aliviam o sistema de águas pluviais, evita inundações ao mesmo tempo

em que pode contribuir para a descontaminação de águas poluídas por fontes difusas, mas, podem se constituir em habitat para diversas espécies além da possibilidade de se integrar a áreas de lazer e recreação públicas e privadas.

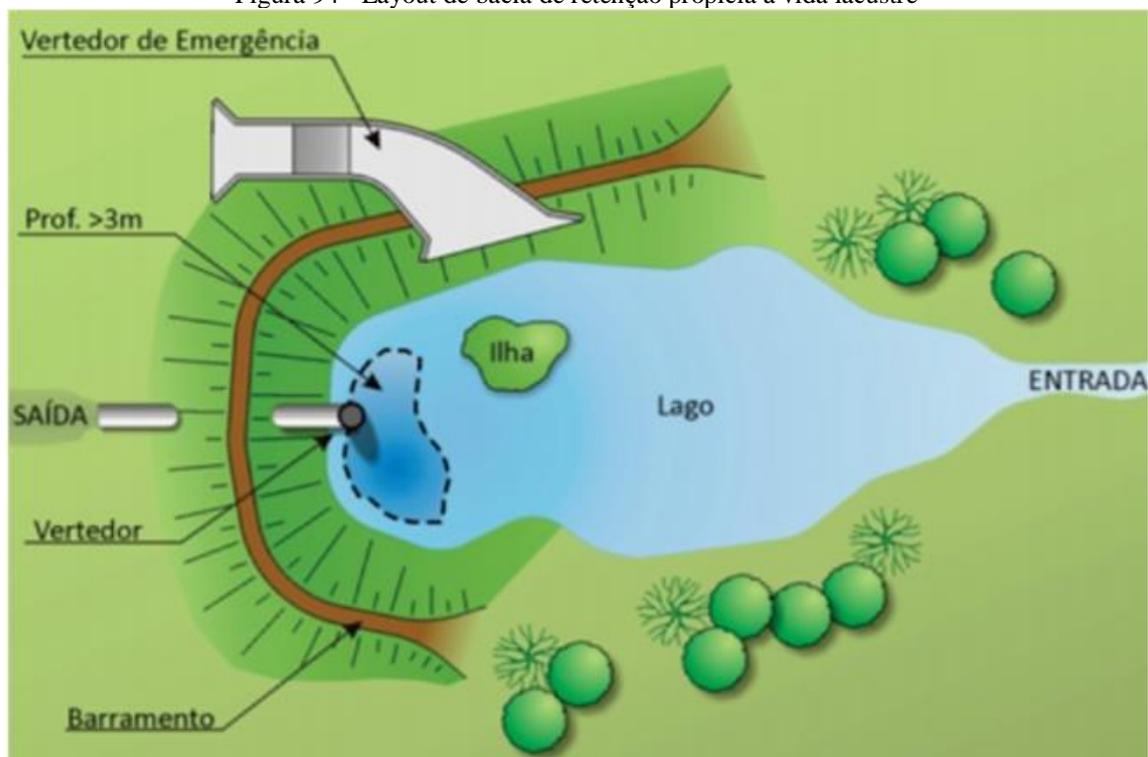
É interessante que esses reservatórios possam ter um uso paisagístico e até mesmo esportivo como nas imagens a seguir expostas no Manual de Drenagem do DF que ainda acrescenta sobre o assunto:

Nos casos específicos de reservatórios de retenção, com lâmina de água permanente, a presença de vegetação controlada favorece a redução da poluição transportada pelas águas pluviais e, ao mesmo tempo, cria um ambiente propício para abrigar a fauna lacustre (peixes, insetos, répteis e pequenos mamíferos). O nitrato e o fosfato presentes na água são consumidos pela vegetação e pelas bactérias que, em conjunto com o processo de sedimentação, ajudam a preservar a qualidade da água.

(...) O comprimento de margens é o mais significativo, seguido de baixas declividades dos taludes, radiação solar, irregularidade do fundo, existência de pequenas ilhas e de pontos com profundidades maiores que 3 m. Essa configuração permite uma maior diversidade de espécies no reservatório, favorecendo a multiplicação das cadeias alimentares e o autocontrole das populações. (2018, p. 126).

A Figura 94 mostra um modelo de bacia de retenção, ou lagoa pluvial, a ser implantado na macrobacia da Faixa 10-11 Norte.

Figura 94 - Layout de bacia de retenção propícia à vida lacustre



Fonte: Manual de drenagem, 2018, p.126

Mais um exemplo de integração a paisagem urbana das bacias é o caso da Lagoa de Parco Della Trucca em Bergamo, na Itália, na Figura 95. Representa controle de drenagem com resultados que favorecem o lazer e a qualidade urbana.

Figura 95 - Bacia de retenção, Parco Della Trucca, Bergamo, Itália



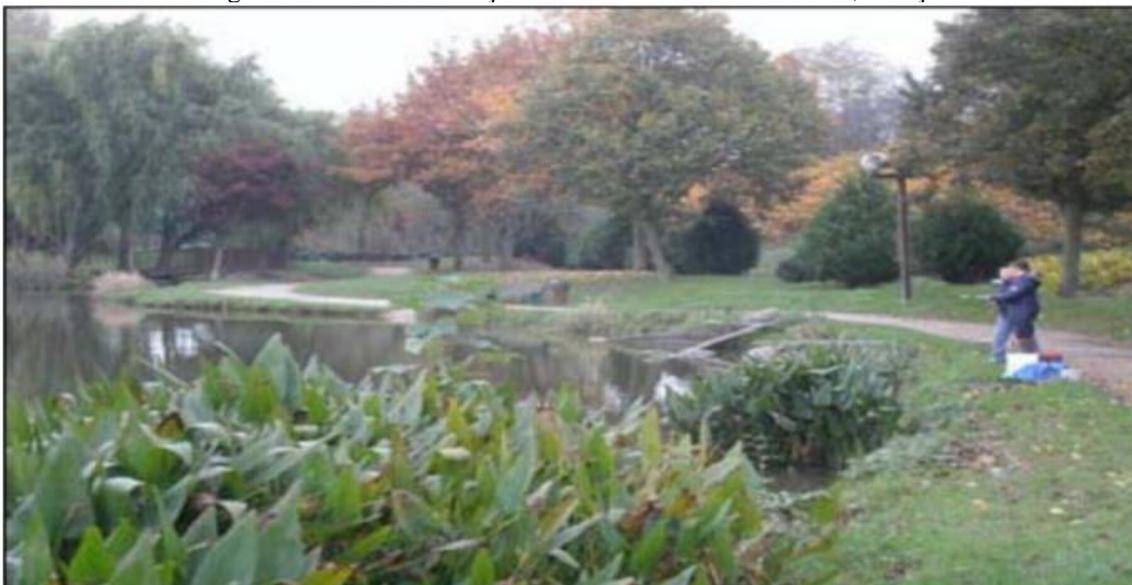
Fonte: <www.ecodibergamo.it/>

BICHANÇA (2006, p.69) ao falar da importância da integração de bacias de retenção ao meio urbano, afirma que:

- A integração das bacias de retenção nos sistemas de drenagem, quando bem concebida, constitui, assim, uma mais valia para o meio urbano, contribuindo com os seguintes benefícios e utilidades:
- Recarga dos aquíferos por infiltração, quando a qualidade das águas pluviais não conduz a riscos para a qualidade da água subterrânea.
- Criação de polos de interesse recreativo e turístico, nomeadamente zonas para a prática de pesca e outros desportos náuticos;
- Embelezamento estético da paisagem através do efeito de espelho de água (no caso de bacias com nível de água permanente);

Na sequência as Figuras 96 e 97 apresentam exemplos bacias de retenção em harmonia com a paisagem local.

Figura 96 - Bacia de retenção com uso recreativo - Sarcelles, França



Fonte: BICHANÇA, 2006, p. 71

Figura 97- Bacia de retenção como exemplo do enriquecimento da paisagem – Thillay, França



Fonte: BICHANÇA, 2006, p.72

Para o bom funcionamento dessas LIDs no meio urbano a ADASA (2018) recomenda que seja previsto o controle de vetores nos reservatórios de retenção abertos, como se lê a seguir:

Para o controle de insetos vetores de doenças de veiculação hídrica, utilizam-se espécimes de peixes e anfíbios adaptados ao ecossistema do lago permanente, tomando-se o cuidado de que haja renovação constante da água e de se prever o manejo permanente e adequado dessa fauna (p. 181).

Para cumprir com essa recomendação é importante que esses reservatórios sejam dotados de estruturas de retenção de lixo e sedimentos. Assim, no sentido de potencializar os impactos positivos das bacias (retenção e infiltração) é necessário a adoção de alguns critérios segundo BAPTISTA M., NASCIMENTO N., BARRUD S. (2005) quais seja, prevê nos arredores da bacia de retenção uma faixa de vegetação (preferencialmente nativa) para reter os resíduos.

A vegetação favorece a disposição de sedimentos e contribui para a estabilização mecânica das margens (...) A vegetação serve, ainda, de abrigo para fauna e produz biomassa para peixes, insetos, répteis e mamíferos. Ademais, várias colônias bacterianas que contribuem para a decomposição de matéria orgânica presente na água abrigam-se na vegetação (...). Finalmente a vegetação atua como reguladora do fitoplâncton (...). (p. 147).

Ainda os autores, aconselham que o formato das lagoas sejam irregulares/orgânicos e com a presença de ilhotas para favorecer o equilíbrio ecossistêmico na lagoa:

O comprimento das margens é o fator mais importante para o desenvolvimento ecológico harmonioso, sendo as margens sinuosas preferíveis às retilíneas. A declividade dos taludes deve ser baixa para permitir a implantação de vários tipos de vegetação tanto quanto para criar espaços favoráveis ao desenvolvimento de peixes. O fundo deve ser irregular, com criação de pequenas ilhas. Essas ilhas possibilitam o desenvolvimento de vegetação e servem de refúgio para aves. Bolsões com maior profundidade, de aproximadamente três metros, servem de reserva de água fresca aos peixes. A diversidade de biotipos leva à diversidade de biocenose, favorecendo a multiplicação das cadeias alimentares e assegurando um autocontrole das populações. Para que isso seja obtido é necessário variar a profundidade da água, o contorno das margens, a declividade dos taludes, a exposição ao sol, as irregularidades do fundo. (BAPTISTA M., NASCIMENTO N., BARRUD S., 2005, p. 147).

Para os casos propostos pelos cenários dessa tese foi previsto que na época de estiagem a lâmina de água permanente tenha em média 1,0 m. Já no período chuvoso, a lagoa estará mais profunda com até 3,30 m. Como é prevista uma borda livre de 0,3m a profundidade total será de 3,0 m quando cheia. A Tabela 26 resume as adequações dessa LID à paisagem urbana.

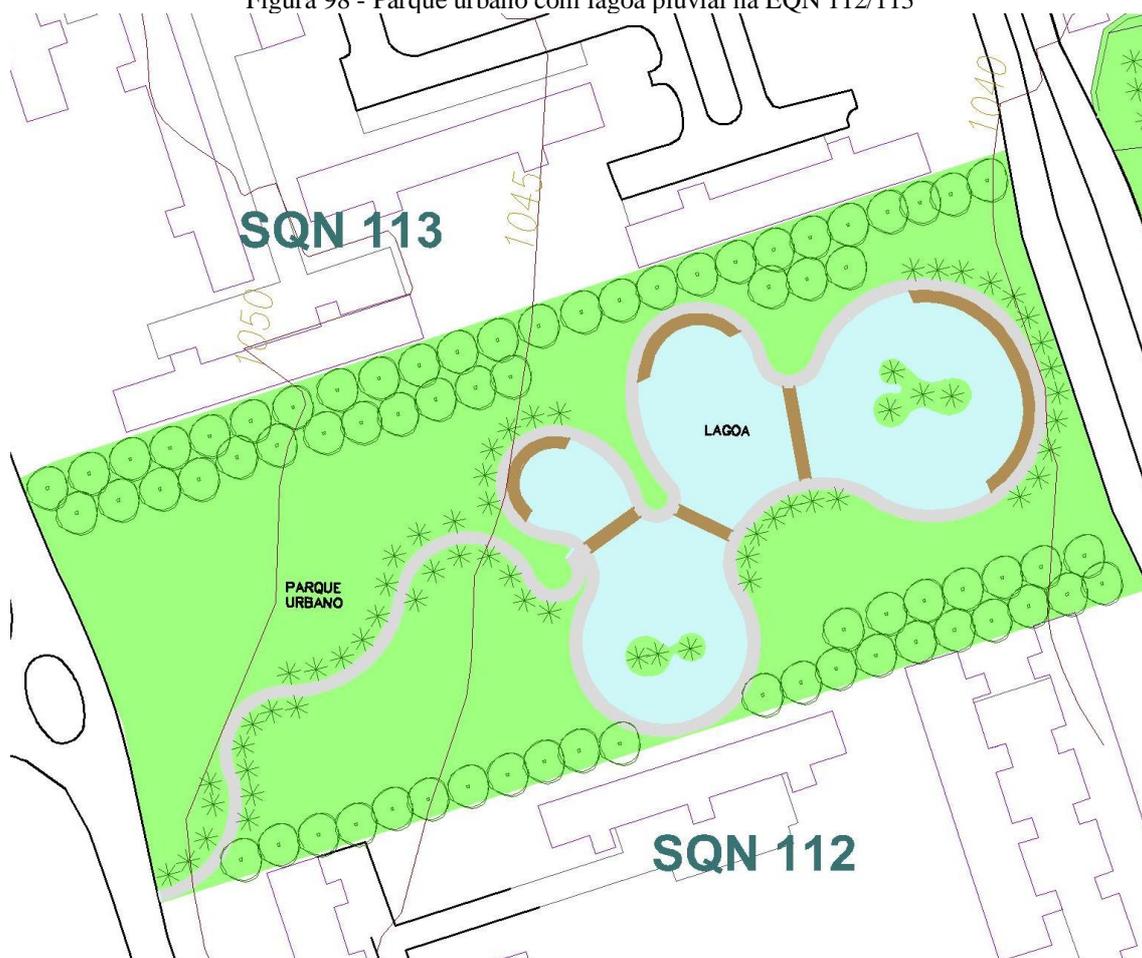
Tabela 26 - Recomendações para instalação das bacias de retenção

Harmonização entre bacia de retenção e a paisagem urbana					
LID	Impacto na paisagem	Tratamento paisagístico	Mobiliári o Urbano	Efeito ambiental esperado	Nível máx. da água (m)
Lagoa pluvial (bacia de retenção) nas EQN 112/113 e 311/312	Alto impacto. Embelezament o da paisagem por meio do efeito de espelho na água. Lazer passivo	Vegetação nativa (forrações, arbustos, árvores e palmeiras) nos arredores e ilhotas. Paisagismo aquático	Calçadas, ciclofaixas, bancos, lixeiras, postes, pontes, decks.	Grande risco de proliferação de vetores ligados ao lixo. Por outro lado, trata eventual poluição leve pela infiltração no solo. O problema de uma provável proliferação de mosquitos em função do espelho d'água.	3,00

Fonte: Produção da autora

Para o melhor entendimento de como as lagoas pluviais podem ser inseridas na macrobacia de estudo foi elaborado um desenho esquemático de parque urbano com essa LID de modo a promover à integração a paisagem na EQN 112/113 apresentada na Figura 98.

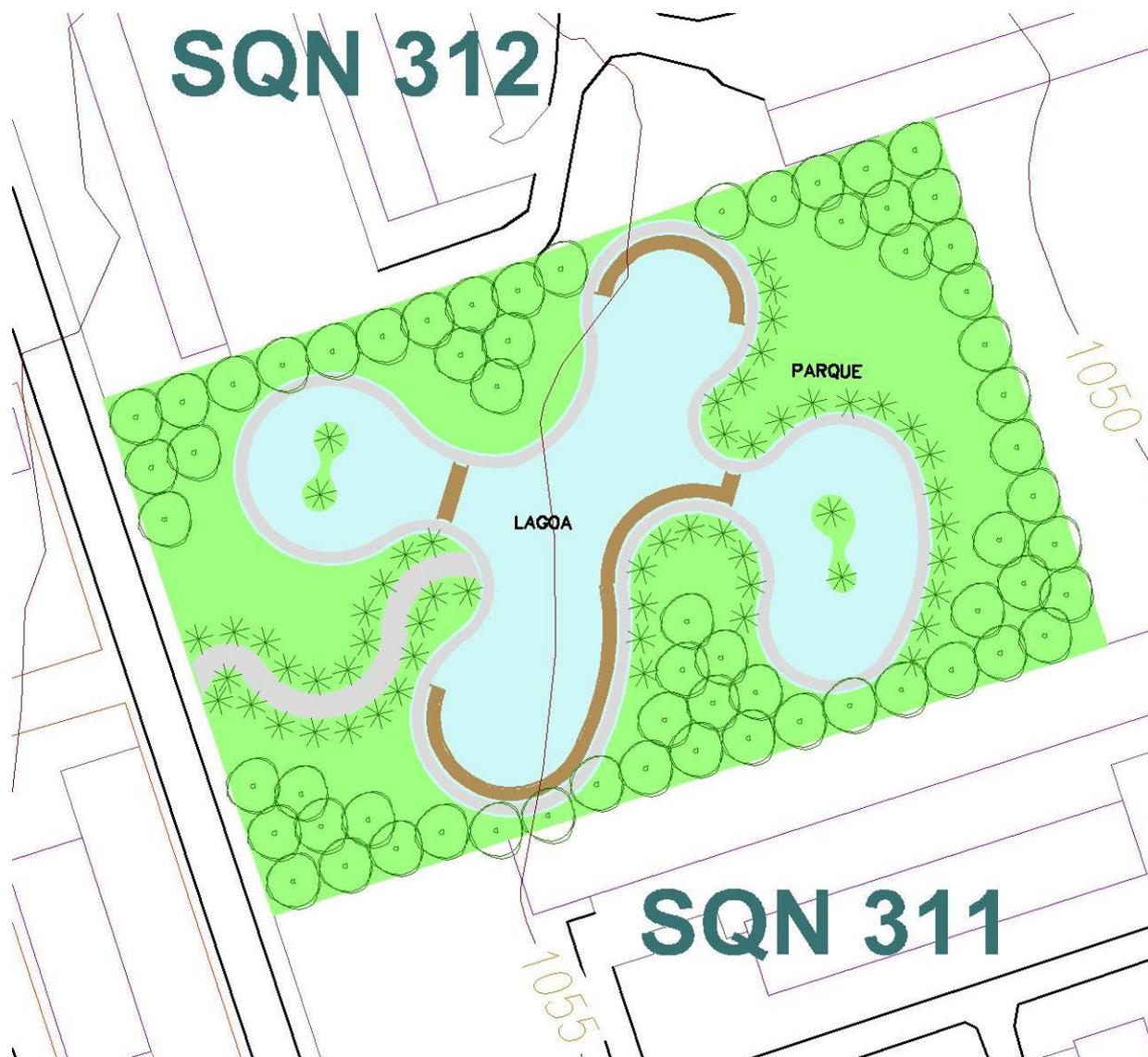
Figura 98 - Parque urbano com lagoa pluvial na EQN 112/113



Fonte: Produção da autora

Na EQN 311/312, apesar do espaço livre (lote) ser menor, também, é possível usar a água como elemento de composição da paisagem como representado na Figura 99.

Figura 99 - Parque urbano com lagoa pluvial na EQN 311/312



Fonte: Produção da autora

Na figura acima verifica-se que além da bacia de retenção há também ilhotas, calçadas, ciclofaixas, deck elementos de mobiliário urbano para promover a composição da paisagem, além da vegetação. Fazem parte das estratégias de harmonização entre técnicas de drenagem sustentável e a arquitetura da paisagem produzindo um urbanismo sensível à água alguns aspectos se colocam recorrentemente:

- conservar os solos de altas permeabilidade e capacidade de armazenamento;
- preservar e restaurar áreas de vegetação nativa e áreas úmidas naturais, principalmente o extrato arbóreo que gera os benefícios da serrapilheira;

- redução das áreas impermeabilizadas com redução das dimensões do sistema viário, e calçadas adjacentes as ruas em áreas de baixo movimento com criação de caminhos de impermeáveis limitados a um lado da via nos acessos os lotes.

5.3 Síntese do capítulo

Essa parte do trabalho apresentou diversos exemplos exitosos de infraestrutura verde dedicada à drenagem enfatizando a multifuncionalidade dos espaços urbanos. Esses serviram como referências para gerar recomendações e propostas esquemáticas de como podem ser implantadas as LIDS dos 5 cenários propostos de modo a promover a harmonia com a paisagem. Os espaços com LIDs podem possuir: vegetação ornamental, elementos construídos (passeios, decks, pontes, mobiliários urbanos, etc), arte (esculturas, painéis, etc) e outros elementos com água, tais como: chafarizes, e espelhos d'águas. Com o entendimento de que a infraestrutura verde tem o potencial para recriar espaços cênicos na cidade fez-se recomendação de adequação entre a LIDs sugeridas pela tese à paisagem da Asa Norte.

6 CONCLUSÕES

No sentido de finalização, este capítulo apresenta as contribuições da pesquisa, correlacionando os resultados com as questões motivadoras da tese expostas no início do trabalho. A meta é explorar as potencialidades e limitações do estudo e algumas recomendações e sugestões de pesquisas futuras.

A inquietação inicial da pesquisa visava compreender como as massas verdes, que tem predominado nas intervenções da arquitetura da paisagem, estão ou não desempenhando seu papel ecossistêmico e, portanto, contribuindo para a sustentabilidade ambiental das cidades.

Essa sustentabilidade é entendida como promoção do metabolismo circular urbano, o qual, em relação ao ciclo da água, significava entender seu grau de permeabilidade e contribuição para drenagem urbana, como um dos serviços ambientais que as áreas verdes podem oferecer às cidades.

Como resultado da pesquisa da tese, percebe-se que não basta que existam espaços livres e verdes nas cidades, pois se forem compactados serão impermeáveis e não vão funcionar a favor da infiltração da água e da drenagem. Além das pesquisas bibliográficas sistematizadas ao longo do trabalho, foi demonstrado no estudo de caso da tese, por meio de simulação do desempenho hidrológico, em uma área rica em áreas verdes como o espaço urbano do Plano Piloto de Brasília não contribuiu para infiltração. Retomando os resultados expostos no capítulo 4, temos que a vazão máxima no exutório gerada na bacia de drenagem estudada, considerando a condição de cerrado ou como era antes da urbanização de Brasília, chegava a 0,521 (m³/s) e hoje com a morfologia urbana marcada por áreas verdes é de 15,73 (m³/s). Isso demonstra a pouca efetividade dessas áreas verdes para uma aproximação da condição do ciclo da água em sua condição natural.

Conclui-se que, mesmo que o Plano Piloto tenha grande percentual de áreas não pavimentadas, tais espaços verdes foram projetados apenas com o intuito estético e com a intenção de atender as necessidades antropocêntricas como lazer e conforto ambiental. Ao contrário do que se possa parecer, as questões ecológicas e ambientais não são o foco da paisagem arborizada de Brasília. Esse paisagismo modernista está mais em consonância com o metabolismo urbano linear do que com preceitos da sustentabilidade ambiental, o metabolismo circular.

A segunda questão colocada na pesquisa, comprovada a premissa de que não basta dispor de áreas verdes para uma cidade ser permeável, foi como os espaços verdes devem ser tratados para desempenharem seu serviço ecossistêmico de drenagem urbana. O caminho percorrido mais uma vez se valeu da revisão de literatura, no caso a infraestrutura verde e manejo sustentável das águas urbanas, para identificar técnicas compensatórias a serem implantadas nas áreas verdes e como promover um urbanismo sensível a água.

O desempenho das LIDs se deu com a construção de vários cenários para a bacia de drenagem estudada e se utilizou: valas de infiltração, bacias de detenção e retenção com simulação de seus resultados em relação ao abatimento do escoamento superficial. Os resultados comprovam a efetividade do uso das técnicas compensatórias com o cenário 5 (uso de valas bacias de detenção e retenção e todos os pontos que contribuíam para os alagamentos) que chegou a uma redução de cerca de 37,27%.

Os cenários de LIDs propostos pela tese consideraram os menores inconvenientes as demais funções da cidade assim como se valeu de espaços públicos. Ressalta-se que em todos os cenários não houve alteração no diâmetro dos condutos (o que diminuem muito as obras) e, ainda assim, houve melhoria da capacidade deles. Destaca-se que o cenário 3, no qual, se propôs valas com apenas 0,30m de profundidade nos canteiros da via Eixão apresentou um desempenho hidrológico bom e demonstrou um custo de implantação baixo, com reduzidos impactos negativos durante as obras, dado sua simplicidade.

Esse resultado comprova que a mudança de paradigma da drenagem, linear ou cinza, é factível a favor de técnicas que promovam além de soluções de drenagem a promoção da recarga de aquíferos e redução de escoamento superficial. Essas técnicas promovem a recarga dos aquíferos, favorecem o ciclo hidrológico e diminuem a poluição dos corpos hídricos receptores.

Vale destacar, entretanto, que a análise do desempenho hidrológico das LIDs não descarta a complementação por técnicas tradicionais, pois se constatou que não houve resolução completa dos problemas de drenagem da região visto que – de acordo com as simulações no PCSWMM – ainda ocorrem extravasamentos, porém, esses são em um volume inferior em relação ao cenário atual podendo a rede existente voltar a trabalhar de modo mais eficiente dado que houve a diminuição do escoamento superficial.

No que se refere a comparação dos resultados obtidos com o projeto oficial do GDF , DRENAR DF para a macrobacia de estudo temos que enquanto esse propõe: (i) a ampliação das galerias existentes (tubulação de diâmetro 1,00m seria substituída por outra de 1,20 m), novas redes de microdrenagem e reservatório de retenção numa posição geográfica mais baixa da macrobacia locado no canteiro central da via L4 Norte, com uma extensão de 800m; (ii) e conta com crítica da população e do órgão do patrimônio histórico, IPHAN devido a bacia de retenção na L4 por sua não integração a paisagem; (iii) , já que o projeto não propõe nenhuma integração ela.

A proposta estudada apresenta resultados semelhantes a um baixo custo, maior integração a paisagem e gerando infiltração no solo e, portanto, garantindo funções ecossistêmicas. Assim, apesar de destacar que alguma complementação de alteração na rede ser necessária, a tese comprova que a mudança de paradigma é o caminho para soluções combinadas entre sistema tradicional e sustentável.

Ainda, sobre a solução do DRENAR DF o presente estudo, além de criticar o porte da obra com criação de túneis e suas decorrentes cicatrizes urbanas e impactos temporários negativos sobre a mobilidade urbana e outros como geração de sedimentos em movimentação de terra e poluição do Lago, destaca que a pior situação, ainda, será o fato de ser uma solução estática, pois só resolverá para o cenário de ocupação do solo atual, em outras palavras, não dialoga com o uso do solo no que se refere a sua natureza dinâmica.

No que se refere ao contexto legal o DRENAR DF desconsidera boa parte das orientações, contidas na Resolução nº 9 da ADASA e quanto a preservação da escala bucólica estabelecida na Portaria do IPHAN nº314/92. Esses documentos legais corroboram uma das últimas partes da pesquisa, os quais se referem ao tratamento necessário para integrar técnicas compensatórias de drenagem a paisagem urbana, as quais se resumem em uma série de recomendações expostas no capítulo 5.

Ainda, como resultado, pode-se destacar a assertividade no uso do programa PCSWMM para a simulação do comportamento de LIDs. O método de modelagem permite tanto avaliar a rede existente, o escoamento superficial e, por consequência a eficiência do uso das LIDs pois avalia o comportamento das águas pluviais no espaço da cidade.

Como recomendações para o tratamento das áreas verdes para além da implantação das LIDs a pesquisa chega às recomendações, como as constantes do item 2.6 onde se

destacam que: (i) a literatura sobre infraestrutura verde enfatiza que para favorecer a infiltração é necessário que as áreas verdes tenham atributos específicos como, por exemplo, a presença do extrato arbóreo significativo para que haja uma camada suficiente de serrapilheira sobre o solo; (ii) os espaços verdes (isso serve para a implantação das LIDs, também) sejam côncavos permitir que as águas fiquem retidas e assim tenham tempo para infiltrar.

Como sugestão para trabalhos futuros nessa área, sugere-se que sejam aplicadas técnicas de manejo das áreas verdes propriamente ditas e não só das LIDs para averiguar sua capacidade de infiltração com outro tipo de manejo. O objetivo seria verificar se é possível eliminar totalmente o extravasamento de uma rede em obsolescência.

Este trabalho apresenta soluções alternativas que mimetizam a natureza e os processos naturais, a fim de que as cidades possam contribuir de forma positiva para melhorar a qualidades de vida de seus moradores em harmonia com a natureza e a paisagem urbana garantindo e protegendo os serviços ecossistêmicos. Apesar de ter sido estudada uma área específica, seus resultados contribuem para a afirmação de um novo paradigma na área da drenagem urbana e sua integração a arquitetura da paisagem.

Portanto, este trabalho comprova que é possível adotar uma infraestrutura urbana verde em consonância com o metabolismo circular, com soluções baseada na natureza.

Devemos reaprender a viver com o ambiente natural.

IV. REFERÊNCIAS

ADASA. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal**. Editores: Luiz Fernando Orsini Yazaki, Marcos Helano Fernandes Montenegro, Jeferson da Costa. - Brasília, DF: ADASA, UNESCO. 2018.

ADASA, Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. **Resolução nº 09, de 08 de abril de 2011**. Estabelece os procedimentos gerais para requerimento e obtenção de outorga de lançamento de águas pluviais em corpos hídricos de domínio do Distrito Federal e naqueles delegados pela União e Estados. Disponível em: < www.adasa.df.gov.br >

AHERN, J. **Green infrastructure for cities: the spatial dimension**. In: NOVOTNY, Vladimir; BROWN, Paul. R. (Orgs.) *Cities for future: towards integrated sustainable water and landscape management*. Londres: IWA Publishing. 2007.p. 267-283.

AHERN, J. **Sustainability, Urbanism and Resilience**. Palestra na Primeira Conferência de Humanidades e Indústria Criativa, Universidade de Tecnologia Nacional Chyn-Yi, Taichung, Taiwan. pp. 4-22. 2009.

ALENCAR, Francisco Ozanan Correa Coelho, [et al.]. **Arborização urbana no Distrito Federal: história e espécies do cerrado**. Brasília: NOVACAP, 2008.

ALVES, C. de M. A.; COSTA, M. E. L.; PINTO, Y. J. de O. **Modelagem da drenagem urbana – estudo de caso na rede da asa norte, Brasília – DF**. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017, Florianópolis – SC.

AMARAL, Rubens do. **A prestação de serviços ecossistêmicos e a dinâmica de estoque de dióxido de carbono no sistema de espaços livres de Belo Horizonte: estudo de caso na Regional Centro Sul**. 2015. 185f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura, Belo Horizonte, 2015.

AMARAL, Rubens; COSTA, Stael de Alvarenga Pereira; MUZZI, Maria Rita Scotti. **O sequestro de carbono em trechos da floresta urbana de Belo Horizonte: por um sistema de espaços livres mais eficientes no provimento de serviços ecossistêmicos urbanos**. Paisagem e Ambiente, São Paulo, n. 39, p. 163-179, oct. 2017. ISSN 2359-5361. Disponível em: <<http://revistas.usp.br/paam/article/view/109272/135163>>. Acesso em: 24 oct. 2017.

AMARAL, S. C. **Estudos dos parques públicos do Distrito Federal**. Brasília: PIBIC, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro, 2015.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005, p. 266.

BARCELLOS, V. Q. **Os parques como espaços livres públicos de lazer: O caso de Brasília.** Tese de Doutorado. São Paulo: FAU/USP, 1999.

BENEDICT, M. A.; McMAHON, E. T. **Green Infrastructure – Linking Landscapes and Communities.** Washington: Island Press, 2006.

BENINI, S. M. **Infraestrutura verde como prática sustentável para subsidiar a elaboração de planos de drenagem urbana: estudo de caso da cidade de Tupã/SP.** Tese de doutorado – Universidade estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2015.

BERNATZKY, A., 1983. **The effects of trees on the urban climate.** In: Trees in the 21st Century. Academic Publishers, Berkhamster, pp. 59–76 Based on the first International Arbocultural Conference.

BICHANÇA, M. F., **Bacias de retenção em zonas urbanas como contributo para a resolução de situações extremas: cheias e secas.** Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2006

BOLUND, P., HUNHAMMAR, S. 1999. **Ecosystem services in urban areas.** Ecological Economics 29, 293 – 301. Elsevier.

BRITO, D. S. **Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem.** 2006. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2006.

CAMUZI, V. T. M. **Análise da drenagem urbana no Riacho Fundo: Projeto final 2.** Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2010.

CANHOLI, A.P. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** São Paulo: Oficina de Textos, 302p. 2005.

CBD. Convention on Biological Diversity. (1992) The Convention. United Nations. Disponível em: <<http://www.cbd.int/convention/text/default.shtml>>

CESAR, L. P. M. **Visões de mundo e modelos de paisagismo: ecossistemas urbanos e utilização de espaços livres em Brasília.** Tese de Doutorado. Brasília: CDS, UnB, 2003.

CHRISTOFIDIS, H. V. **Drenagem urbana sustentável: análise do uso do Retrofit.** Dissertação de mestrado. Centro de Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

COLLINS, J.P., Kinzig, A., Grimm, N.B., Fagan, W.F., Hope, D., Wu, J., Borer, E.T. (2000). **A new urbanecology.** Am. Sci. 88, 416–425.2000.

COSTA, M. E. L.; KOIDE, S.; GOMES, C. I. D.; SILVA, C. C. **Modelagem da drenagem urbana – estudo de caso na sub-bacia da Asa Sul –DF.** In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017, Florianópolis- SC.

COSTA, Lucio. **Relatório do Plano Piloto**. [S.I.], [1957].

COUTO, H.T.Z. 1994. **Métodos de amostragem para avaliação de árvores de ruas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 2, 1994, São Luís. Anais... São Luís/MA: SBAU, 1994. p.169-179.

DE ANGELIS, B. L. D.; LOBODA, C. R. **Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções**. *Ambiência - Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais*. v. 1, n° 1, p. 125-139, janeiro/junho, 2005.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. **Bioengenharia: Manejo Biotécnico de Cursos de Água**. Santa Maria: edição do autor, 2012

EMBRAPA. **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

EWEL, K.C., 1997. **Water quality improvement by wetlands**. In: Daily, G.C. (Ed.), *Natures Services. Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, DC, pp. 329–344.

FERNANDES, A. S.; GUESDES, P. P.; PELLEGRINO P. R. M.; PIRILLO F. C. **A paisagem da borda: uma estratégia para construção das águas, da biodiversidade e das pessoas**. *Rios e paisagens urbanas*, p. 2-32, 2003.

FERRANTE, J. E. T.; RANCAN, L.; Netto, P. B. **Olhares sobre o Lago Paranoá**; Fonseca, F. O., coord.; Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos: Brasília, 2001.

FOUNTAIN, M. T.; HOPKIN, S.P. **Biodiversity of Collembola in urban soils and the use of Folsomia candida to assess soil 'quality'**. *Ecotoxicology* 13, 555–572.2004.

FRANCO, M. A. R. **Desenho ambiental: uma introdução à arquitetura da paisagem com o paradigma ecológico**. São Paulo: Annablume, 1997.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Orientações básicas para drenagem urbana**. Fundação Estadual do Meio Ambiente. - Belo Horizonte: FEAM, 2006. 32p.; il.

GIRARDET, Herbert. **Sustainable Cities**. In *Revista Architectural Design Profile* n° 25, London: Academy Group Ltda. 1997.

GOMES, R.P.A.M.S. **Ecobairro, um conceito para o desenho urbano**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro, 2009.

GOMES, V.M. **Aspectos qualitativos e quantitativos da água de drenagem pluvial em sub-bacia urbana na cidade de Brasília – DF**. Dissertação de mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, publicação PTARH.DM-068/2004, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 85p.

GONDIM, M. F. **Caderno de desenhos Ciclovias**. COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010.

GOUVÊA, L. A. **Biocidade: conceito e critérios para um desenho ambiental urbano, em localidade de clima tropical de planalto**. São Paulo: Nobel, 2002.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. **Normas de edificação, uso e gabarito**. NGB – 29/89. Brasília, 11 de abril de 1989. Disponível em: <<http://www.planopiloto.df.gov.br>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. **Normas de edificação, uso e gabarito**. NGB – 31/89. Brasília, 11 de abril de 1989. Disponível em: <<http://www.planopiloto.df.gov.br>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. **Normas de edificação, uso e gabarito**. NGB – 32/89. Brasília, 11 de abril de 1989. Disponível em: <<http://www.planopiloto.df.gov.br>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL, Secretaria de Estado de Obras. **Medidas Estruturais propostas para solucionar os problemas de alagamentos verificados no sistema de drenagem pluvial da Faixa 10 – 11 Norte**. Relatório Técnico consolidado. Brasília: ALTRAN TCBR, 2009.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL, Secretaria de Estado de Obras. **Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal**. Brasília: Concremat Engenharia, 2008.

HATT, B.; FLETCHER, T. D. & DELETIC, A. **Hydrologic and pollutant removal performance of storm water biofiltration systems at the field scale**. In: Journal of hydrology, 365, 2009.

HERZOG, C.P. 2010. **Infraestrutura verde, Sustentabilidade e Resiliência urbana**. In Verde., 2010. Disponível em:<https://inverde.files.wordpress.com/2010/08/palestra_cecilia_herzog_2010.pdf>

HERZOG, C. P. **Cidades para todos: reaprendendo a conviver com a natureza**. ed. Mauad X/inverde. Rio de Janeiro; 2013.

HERZOG, C. P. ROSA, L. Z. (2010) **Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e Resiliência para a paisagem urbana**. Revista Lab Verde, ed 1. São Paulo. 2010

HOUGH, M. **City Form and Natural Process**. Routledge, London 280 pp, 2004.

HINMAN, Curtis. **Low Impact Development Technical Guidance Manual for Puget Sound**. [S.l: s.n.], 2012.

IGNATIEVA, M., MEURK, C., SIMCOCK, R., STEWART. G., VAN ROON, M. **How to Put Nature into our Neighbourhoods**. Vol. 35. Lincoln: Manaaki Whenua Press, Landcare Research New Zealand Ltd, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DO PATRIMONIO CULTURAL – IBPC (atual IPHAN). **PORTARIA N° 314, DE 08 DE OUTUBRO DE 1992.** Disponível em: <<http://urbanistasporbrasil.com.br/uploads/9/4/0/4/9404764/portaria314.pdf>> acesso em: 22/04/2019.

KIM, K.G. **The application of the biosphere reserve concept to urban areas:** the case of green rooftops for habitat network in Seoul. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1023, 187–214. 2004.

LIMA, S. C.A **Arborização de Brasília:** Contribuição ao Estudo de seu Processo. Dissertação de mestrado. Brasília: FAU/UNB, 2003.

LONDE, P. R.; MENDES, P. C. **A influência das áreas verdes na qualidade de vida urbana.** *Revista brasileira de geografia médica e da saúde.* v. 10, n. 18, p. 264-272, julho, 2014.

MACEDO, S. (1995). **Espaços Livres.** *Paisagem E Ambiente*, (7), 15-56. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i7p15-56>>

MACHADO, L. **Índice de Mobilidade Sustentável para avaliar a Qualidade de vida Urbana:** Estudo de caso Região Metropolitana de Porto Alegre- RMPA. Dissertação de Mestrado apresentada ao curso de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional. 2010.

MARGINI MARQUES, J. **Fragilidade ambiental das áreas urbanas:** o metabolismo das cidades. *Arquitextos*, São Paulo, ano 05, n. 059.03, Vitruvius, abr. 2005. Disponível: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.059/472>>.

MASSOUD, M. A.; EL-FADEL, M.; ABDEL MALAK, A. **Assessment of public vs private MSW management:** a case study. *Journal of Environmental Management*, v.69, 2003.

MCCUTCHEON, M. WRIDE, D. **Shades of Green:** Using SWMM LID Controls to Simulate Green Infrastructure, CDM SMith, Columbus, OH, USA 2013. Disponível: <<https://www.chijournal.org/Journals/PDF/R246-15>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

MEDEIROS, J. M. M. **Visões de um paisagismo ecológico na orla do Lago Paranoá.** Dissertação de mestrado. Brasília: FAU/UNB, 2008.

MIKKELSEN, P.S.; JACOBSEN, P. **Stormwater infiltration design based on rainfall statistics and soil hydraulics.** *Proc. ASCE International Symposium on Engineering Hydrology*, San Francisco, California, July 25-30, pp. 653-658. 1993

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being:** synthesis. Washington, DC: Island Press, 2005.

MOMM-SCHULT S. I; PIPER. J.; DENALDI.R.; FREITAS. S.; FONSECA. M. de L. P.; OLIVEIRA. V. E. de. **Integration of urban and environmental policies in the metropolitan area of São Paulo and in Greater London:** the value of establishing

and protecting green open spaces, *International Journal of Urban Sustainable Development*, 5:1, 89-104. 2013.

MOTA, S. **Urbanização e Meio ambientes**. Rio de Janeiro; Fortaleza: Abes, 2011.

NEUFERT, E. **Arte de projetar em arquitetura**. 17ª edição, Barcelona, Gustavo Gili, 2004.

OLIVEIRA, G. M.; PEREIRA, R. A. R.; RAIMUNDO, D. S.; SILVA, L. C. L. **Ordenamento territorial urbano: aspectos facilitadores para o equilíbrio do ciclo da água nas cidades**. In: I Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana. 2017, São Carlos – SP.

OBERNDORFER, E., LUNDHOLM, J., BASS, B., COFFMAN, R. R., DOSHI, H., DUNNETT, N., et al. **Green roofs as urban ecosystems: Ecological Structures, functions, and services**. *Bio Science*, 57 (10), 823-833, 2007

PDSB, **Plano Distrital de Saneamento Básico**. Governo do Distrito Federal. Distrito Federal. Brasília: Serviços de Engenharia Construtiva, 2017.

PDDU, **Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal**. Secretaria de Estado de Obras. Distrito Federal. Brasília: Concremat Engenharia, 2008.

PELLEGRINO, P. R. M., GUEDES, P. P., PIRILLO, F. C., FERNANDES, S. A. **A paisagem da Borda: uma Estratégia para a Condução das Águas, da Biodiversidade e das Pessoas**. In: COSTA, Lucia S. A. (Org.) *Rios e Paisagens Urbanas em Cidades Brasileiras*. Rio de Janeiro: Vianna e Mosley Editora e Ed. PROURB, p. 57-76, 2006.

PENNSYLVANIA STORMWATER MANAGEMENT MANUAL. **Vegetated Swale**. Section 5 – Structural BMPs. Disponível em: <<http://www.bfenvironmental.com/pdfs/veggieSwale.pdf>>.

PINTO, Y. J. O. (2017). **Avaliação do Sistema de Drenagem Urbana – Sub Bacia da Asa Norte, Brasília – DF**. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 55p.

ROCHA, M. A. da. **Superquadras de Brasília: um olhar segundo critérios paisagísticos**. Dissertação de mestrado– Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Brasília, 2011.

ROCKSTRÖM, J. et al. **Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity**. 2009.

ROMERO, M. A. B. **Arquitetura do lugar: uma visão bioclimática da sustentabilidade em Brasília**. São Paulo: Nova Técnica Editorial, 2011.

ROSSMAM. L. **Modeling Low Impact Development Alternatives with SWMM**. US EPA, Cincinnati, OH, USA. 2010. Disponível em: <<https://www.chijournal.org/Journals/PDF/R236-11>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

RUSSO, T., LALL, U. **Green Infrastructure: Sustainable Solutions in 11 Cities across the United States**, Columbia University, 2014. Disponível em: <<http://water.columbia.edu/>>

SCHRADER, S., BONING, M. **Soil formation on green roofs and its contribution to urban biodiversity with emphasis on Collembolans**. *Pedobiologia* 50, 347–356, 2006.

SERAPHIM, A. P. A. C. C. **Planejamento urbano e a gestão das águas na cidade: Relação entre tipologias de ocupação urbana e recarga de aquíferos no Distrito Federal**. Dissertação de mestrado – Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Brasília, 2018.

SILVA, G. B. L. da. **Avaliação experimental sobre a eficiência de superfícies permeáveis com vistas ao controle do escoamento superficial em áreas urbanas**. 2006. xix, 180 f. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2006.

SHAMSI. U. **Modeling Rain Garden LID Impacts on Sewer Overflows**. Michael Baker Corporation, Pittsburgh, PA, USA. 2012. Disponível em: <<https://www.chijournal.org/Journals/PDF/R245-07>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

SILVA, E. C. B. **Avanço da Urbanização em Vicente Pires – DF, Análise da Rede de Drenagem associada a medidas Compensatórias Utilizando o Modelo SWMM e ABC**. Dissertação de Graduação – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2016.

SILVA, G. J. A. da. **Cidades sustentáveis: uma nova condição urbana: Estudo de caso: Cuiabá-MT / Geovany Jessé Alexandre da Silva**. – 2011

SOUZA, F. P. de. **Monitoramento e modelagem hidrológica da sub-bacia do lago Paranoá- Brasília/DF - e avaliação de bacia de detenção**. 2014. xxiv, 139f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de engenharia civil e ambiental, 2014.

STEFFEN Will et al. **Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet**. *Science*, v. 347, n. 6223, p. 1259855, 2015.

TUCCI, C. M. **Hidrologia ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH, 1993.

TUCCI, C.M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas** – Ministério das Cidades – Global Water Partnership - World Bank – Unesco, 2005.

TUCCI, C. M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007. 393 p.

ULRICH, R.S., Simons, R.F., Losito, B.D., Fiorito, E., Miles, M.A., Zelson, M. **Stress recovery during exposure to natural and urban environments**. *J. Environ. Psychol.* 11, 201–230, 1991.

VASCONCELLOS, A. A. de. **Infraestrutura verde aplicada ao planejamento da ocupação urbana**. 1.ed. – Curitiba: Appris, 2015.

VENDRAMINI, P. R. da R. J.; BRUNA, G. C.; DI CESARE MARGINI MARQUES, J. **Fragilidade ambiental das áreas urbanas: o metabolismo das cidades**. *Arquitextos*, São Paulo, ano 05, n. 059.03, Vitruvius, abr. 2005. Disponível: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.059/472>>.

WALL, E; WATERMAN, T. **Desenho Urbano**. Tradução técnica: Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2012.

WHATELY M. (org.) **Parques urbanos municipais de São Paulo: subsídios para a gestão**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2008.

TOMAZ, P. **Infiltração e drywell: Recarga artificial, drenagem, noções de hidrogeologia**. São Paulo: Plínio Tomaz, 2011.

XIMENES, D.S. S. **A evolução da sustentabilidade ambiental e urbana e a interferência da ética**. Revista LABVERDE, São Paulo, nº2, Junho, 2011.

YU, K.; PADUA.M.(2006). **The Art of Survival – Recovering Landscape Architecture**. The Images Publishing Group Pty, Victoria, 2006.

ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte**. Tese. (Doutorado em Engenharia Civil, Saneamento e Ambiente). Universidade Estadual de Campinas. 2008.

<<http://www.aboutplants.eu>> (acesso em 17/09/18).

<<http://www.andersonmedeiros.com>> (acesso em 28/03/2019).

<www.ecodibergamo.it> (acesso em 17/09/18).

<<http://www.inmet.gov.br>> (acesso em 09/04/2019).

<http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/default.php?p_secao=69> (acesso em 25/01/2019).

<<https://www.researchgate.net>> (acesso em 06/04/2019).

<<http://www.planopiloto.df.gov.br>> (acesso em 30/05/2017).

<<http://priscillabagano.com.br/adasa/>> (acesso em: 17/07/2017).

<<http://www.urbanisten.nl/wp/?portfolio=waterpleinen>> (acesso em 25/01/2019).

<<https://worldlandscapearchitect.com>>(acesso em 25/01/2019).