

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Gabriela Saatkamp

**JARDIM DE CHUVA: ESTUDO COMPARATIVO DE UM
SISTEMA DE BIORRETENÇÃO E UMA BACIA DE
AMORTECIMENTO PLUVIAL**

Porto Alegre
Novembro 2019

GABRIELA SAATKAMP

**JARDIM DE CHUVA: ESTUDO COMPARATIVO DE UM
SISTEMA DE BIORRETENÇÃO E UMA BACIA DE
AMORTECIMENTO PLUVIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheira Civil

Orientador: Dieter Wartchow

Porto Alegre
Dezembro 2019

NOME DO AUTOR

JARDIM DE CHUVA: ESTUDO COMPARATIVO DE UM SISTEMA DE BIORRETENÇÃO E UMA BACIA DE AMORTECIMENTO PLUVIAL

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo Professor Orientador e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dieter Wartchow

Doutor em Engenharia Sanitária Ambiental pela Universidade de Stuttgart
Orientador

Ian Rocha de Almeida

Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Maria Cristina de Almeida Silva

Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a todos engenheiros e engenheiras que se propõem a buscar práticas mais sustentáveis em detrimento dos métodos de engenharia convencionais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente minha família: meu pai Carlos, minha mãe Joice e meus irmãos Pedro e Antônio. Pelo apoio irrestrito e incondicional, pelo amor e carinho sempre oferecidos a mim, mesmo quando não eram correspondidos. Agradeço a vocês que são a base de tudo que existe para mim, pela formação, educação e principalmente exemplo de respeito ao outro, trabalho, esforço, dedicação e cuidado.

Agradeço meu orientador Dieter pelos conhecimentos transmitidos, pela compreensão e atenção. Agradeço principalmente porque meio a tantos compromissos assumidos, sempre conseguia um tempo para me ajudar.

Agradeço aos professores da UFRGS, principalmente àqueles que são professores por vocação, que amam e vibram por poder ensinar. Obrigado, vocês realmente passaram um grande exemplo para os seus alunos. Agradeço, também aos demais servidores da UFRGS, que buscaram sempre oferecer serviços com a máxima qualidade e eficiência possível, operando milagres em tempos onde o governo corta verbas e não se importa com o ensino.

Pouco conhecimento faz com que as pessoas se sintam orgulhosas. Muito conhecimento, que se sintam humildes.

É assim que as espigas sem grãos erguem desdenhosamente a cabeça para o céu, enquanto que as cheias as baixam para a terra, sua mãe.

Leonardo da Vinci

RESUMO

Os sistemas de drenagem urbana baseados no imediato escoamento das águas pluviais em direção aos corpos d'água têm se mostrado ineficientes e insustentáveis nas cidades, sobretudo as mais urbanizadas. Sendo assim, novas alternativas passaram a ser estudadas e desenvolvidas a fim de amenizar os impactos causados pelas águas das chuvas quando mal gerenciadas, como alagamentos e inundações. Essas novas alternativas visam integrar todo o sistema de águas pluviais a fim de controlar a geração de escoamento desde o início do evento de precipitação. Uma dessas medidas de controle de águas pluviais que atenuam o escoamento devido ao aumento da urbanização é o Jardim de Chuva, que consiste em uma área vegetada rebaixada em relação ao nível onde é instalado que captura o escoamento da área impermeável ao seu redor, mantendo e tratando os poluentes presentes nas águas pluviais. Ressalta-se que o jardim de chuva é uma prática experimental ainda pouco difundida no Brasil, estando presente em poucos países, tais como Estados Unidos e Austrália. Considerando-se a relevância da drenagem urbana para a sociedade e o potencial que os jardins de chuva apresentam para amenizar os impactos negativos das chuvas, o presente trabalho tem por objetivo dimensionar um sistema de drenagem pluvial para um empreendimento residencial localizado na zona Leste de Porto Alegre com a finalidade de aplicar alguns dos métodos já desenvolvidos para se projetar um sistema de biorretenção. Para destacar as vantagens econômicas em se adotar um sistema de jardins de chuva em vez de métodos convencionais, foi feita uma comparação dos possíveis custos do sistema de jardins de chuva projetado no trabalho com o orçamento para a construção da bacia de amortecimento e de toda a rede de drenagem pluvial.

Palavras-chave: Jardim de Chuva. Biorretenção. Infiltração. Armazenamento. Técnicas Compensatórias. Controle de Drenagem na Fonte.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas do trabalho	22
Figura 2 – Crescimento populacional brasileiro e migração do campo para centros urbanos	24
Figura 3 – Incidência de patologias	26
Figura 4 – Elevação do nível de um rio provocado pelas chuvas, do nível normal até a ocorrência de uma inundação	27
Figura 5 – Efeitos de um reservatório de detenção	32
Figura 6 – Comparativo entre sistemas tradicional e alternativo	35
Figura 7 – Tipos de pavimentos permeáveis	37
Figura 8 – Telhado verde instalado em bicicletário	39
Figura 9 – Jardim de chuva na Filadelfia	43
Figura 10 – Esquema de um jardim de chuva	43
Figura 11 – Sessão típica de um jardim de chuva	51
Figura 12 – Alma road com os jardins implantados	52
Figura 13 – Maior jardim implantado na rua	53
Figura 14 – Jardim de chuva na Alma Road.....	53
Figura 15 – Dois jardins de chuva implantados nas áreas comuns do condomínio	54
Figura 16 – Tubulação de extravasamento	55
Figura 17 – Localização do condomínio	56
Figura 18 – escoamento superficial na região do empreendimento.....	57
Figura 19 – Aspecto argiloso do solo.....	58
Figura 20 – Temperatura média e precipitação anual de Porto Alegre	59
Figura 21 – Projeto de drenagem pluvial.....	60
Figura 22 – Detalhe do vertedor de saída e descarregador de fundo.....	60
Figura 23 – Descarregador de fundo executado	61
Figura 24 – Vistoria do DEP para aprovação da bacia de amortecimento.....	62
Figura 25 – Superfícies permeáveis do empreendimento.....	64
Figura 26 – Área impermeável por zona.....	64
Figura 27 – Localização dos jardins de chuva.....	65

Figura 28 – Camadas de um jardim de chuva	67
Figura 29 – Perfil de um dreno cego	77
Figura 30 – Perfil do jardim 1.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Medidas de controle de enchentes e alagamentos.....	30
Tabela 2 – Benefícios do SUDS, descrição e detalhes de projeto.....	40
Tabela 3 - Valores para o fator de impermeabilização conforme a cobertura do solo.....	49
Tabela 4 – Área impermeável por zona e área de biorretenção necessária.....	65
Tabela 5 – Área de Contribuição de cada jardim.....	66
Tabela 6 - Tempo de retorno para projetos de drenagem urbana	69
Tabela 7 – Tempo de retorno para projetos de drenagem urbana.....	71
Tabela 8 – Volume de escoamento retido por cada jardim.....	73
Tabela 9 – Volume infiltrado por cada jardim durante o evento chuvoso.....	75
Tabela 10 – Volume de armazenamento de cada jardim.....	76
Tabela 11 – Volume armazenado na zona de desnível do jardim.....	78
Tabela 12 – Volume armazenado na camada de areia.....	79
Tabela 13 – Volume armazenado na camada de brita e altura de brita necessária.....	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características de um jardim de chuva.....	44
---	----

LISTA DE SIGLAS

ABNT/NBR - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASCE - American Society of Civil Engineers

BMP's - Best Management Practices

BTI - Ilha de Trânsito de Bioinfiltração

CN - Curva número

DEP-POA - Departamento de Esgotos Pluviais de Porto Alegre

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes

ESD - Escoamento Superficial Direto

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPA - Environmental Protection Agency

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas

LID - Low Impact Development

PDDU - Plano Diretor de Drenagem Urbana

SCS - Soil Conservation Service

SUDS - Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

WSUD - Water Sensitive Urban Design

LISTA DE SÍMBOLOS

H - altura do escoamento

P - precipitação

S - variável de impermeabilização

CN - fator de impermeabilização

V - volume do escoamento

A - área de superfície impermeável

A_j - área superficial do jardim de chuva

V' - volume do escoamento por metro quadrado

T - período de retorno

t - duração da chuva

i - é a intensidade de chuva

P_{ef} - precipitação efetiva, no instante t

I_a - perdas iniciais na bacia (retenção superficial, infiltração anterior ao início do escoamento)

V_E - volume de entrada

A_c - área de contribuição

I_{ac} - infiltração acumulada

k e n - constantes que dependem do solo e de suas características iniciais

V_S - volume de saída

A_{inf} - área do jardim

V_S - volume de saída

V_{ca} - volume de água contida na camada de areia

B e L - dimensões de largura e comprimento da base do dispositivo

h_a - altura da camada de areia

n_a - porosidade da areia

h_b - altura da camada de brita

V_{cb} - volume de água contida na camada de brita

N_b - porosidade da brita

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	20
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	20
2.2 OBJETIVOS DE PESQUISA	20
2.2.1 Objetivo Principal	20
2.2.2 Objetivo Secundário	20
2.3 PRESSUPOSTO.....	21
2.4 PREMISSA	21
2.5 DELIMITAÇÕES	21
2.6 LIMITAÇÕES	21
2.7 DELINEAMENTO	21
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO.....	23
3.2 MEDIDAS DE CONTROLE.....	28
3.3 RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO.....	31
3.4 INFRAESTRUTURA VERDE.....	33
3.4.1 LID.....	36
3.4.2 SUDS.....	38
3.4.3 WSUD.....	41
3.5 JARDIM DE CHUVA.....	42
3.5.1 Projeto de um jardim de chuva.....	45
3.5.1.1 Manual de Drenagem Urbana da Pensilvânia.....	46
3.5.1.2 Condomínio Buckman Heights - Portland.....	47
3.5.2 Cenário Internacional.....	51
3.5.2.1 Alma Road - Londres.....	51
3.5.2.2 Manual de Jardim de Chuva da Universidade do Texas.....	54
4 SISTEMA DE DRENAGEM DO EMPREENDIMENTO.....	56
4.1 ASPECTOS GERAIS.....	56
4.2 RESERVATÓRIO DE AMORTECIMENTO PLUVIAL.....	59

5 PROJETO DOS JARDINS DE CHUVA.....	63
5.1 ÁREA.....	63
5.2 ESTRUTURA.....	66
5.2.1 Intensidade de Precipitação.....	68
5.2.2 Precipitação Efetiva.....	69
5.2.3 Volume de Entrada.....	73
5.2.4 Volume de Saída.....	74
5.2.5 Volume de Armazenamento.....	75
5.2.6 Camadas e Materiais.....	76
6 COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE OS DOIS SISTEMAS.....	82
6.1 CUSTOS DE CONSTRUÇÃO.....	82
6.2 CUSTOS DE MANUTENÇÃO.....	83
7 CONCLUSÕES.....	85
REFERÊNCIAS	87
ANEXO 1	93
ANEXO 2	94
ANEXO 3	95
ANEXO 4	96
ANEXO 5	97

1 INTRODUÇÃO

O manejo dos cursos d'água e o gerenciamento hídrico são temas pertinentes para o homem desde a antiguidade. Os gregos e os romanos, por exemplo, desenvolveram sistemas de drenagem que agregavam uma tecnologia bastante avançada para a época e que inspiram até hoje os projetos cada vez mais modernos e eficientes. Segundo relatos, o principal objetivo desses povos era manejar a água das chuvas, pois tinham conhecimento sobre os estragos que o acúmulo desta poderia criar nos recém surgidos aglomerados urbanos.

Durante o período do Renascimento, quando a preocupação com a saúde pública se tornou uma pauta de grande relevância, novos adventos relacionados à drenagem urbana começaram a surgir, uma vez que a água foi relacionada à disseminação de várias doenças. Por conta disso, os países da Europa investiram em novos sistemas de abastecimento e coleta de esgoto, bem como em sistemas para gerenciar as águas pluviais.

Quando ao cenário brasileiro, segundo Pinheiro e Santos (2019), as primeiras obras de drenagem urbana são datadas do final do século XVII, no Rio de Janeiro. Desde então, as mudanças nos padrões sociais e urbanísticos resultaram na construção de uma série de estruturas de manejo de águas, consolidando no país o conceito higienista de saneamento básico. De acordo com os métodos higienistas, a drenagem das águas se dava com o objetivo de transportar as águas o mais rápido possível para longe dos centros urbanos, conduzindo-as para um corpo d'água receptor.

Com o passar dos anos, o rápido crescimento populacional do país desencadeou uma urbanização descontrolada das cidades, o que tem provocado o aumento da frequência das enchentes e alagamentos, que também se tornaram mais devastadores. A isso ainda se soma a enorme quantidade de resíduos sólidos que são levados às redes de drenagem por conta da falta de educação ambiental da população, o que acaba por provocar a obstrução dos sistemas e o conseqüente agravamento dos alagamentos localizados.

Estes impactos são conseqüências da crescente impermeabilização do solo. Isso acontece pois, quando o solo se torna impermeável, a água que antes infiltrava por ele, passa a escoar pelas superfícies, se acumula e gera pontos de alagamento. De acordo com Tucci (2006), “a

água que antes infiltrava e o volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido nas plantas, pelos efeitos da urbanização, passam a escoar através de superfícies impermeáveis, condutos e canais, exigindo maior capacidade de escoamento”.

Ainda como reflexo disso, ocorre um aumento nas vazões máximas, que podem representar seis vezes a vazão de pré-urbanização. Outro problema causado pela impermeabilização dos solos tem relação com a contaminação dos corpos hídricos por poluentes carregados pelo escoamento. Em seguida, o escoamento viaja pelo esgoto e é descarregado em cursos d'água próximos. Esses contaminantes poluem o rio, aumentando a temperatura de suas águas e introduzindo cargas de nutrientes e sedimentos que prejudicam a saúde ecológica do mesmo (US-EPA).

Conforme aponta Hess (2017), uma vez que a água da chuva passou a ser reconhecida como um dos principais agentes de poluição dos cursos hídricos, as agências de gerenciamento norte-americanas estão se voltando para tratar a poluição na fonte do problema com soluções criativas e sustentáveis. Dessa forma, um conceito de controle estrutural alternativo ao convencional tem conquistado espaço no cenário da drenagem urbana brasileiro, as BMPs (Best Management Practices), que são técnicas com foco na não-transferência dos problemas para jusante pelo controle do escoamento na bacia, isto é, mais próximo de sua fonte e não no curso d'água. Outro ponto é que o custo de medidas que minimizam impactos locais, que muitas vezes não solucionam os problemas, é extremamente alto, chegando a custar dez vezes mais do que o processo de amortecimento na fonte das inundações (PARKINSON et al, 2003).

Algumas outras alternativas estão sendo estudadas e desenvolvidas com a finalidade de preservar os mecanismos naturais de escoamento, diminuindo as vazões a jusante, otimizando o controle de escoamento na fonte e mitigando os impactos ambientais. Essas alternativas são conhecidas como técnicas compensatórias de drenagem urbana e são baseadas em processos de armazenamento, detenção, retenção, interceptação, evapotranspiração e infiltração das águas pluviais (NASCIMENTO & BAPTISTA, 2009).

Um desses novos métodos que visam compensar os efeitos negativos da drenagem urbana atual é o jardim de chuva (rain garden). O jardim de chuva é um sistema de biorretenção que

auxilia na retenção, infiltração e tratamento das águas advindas de superfícies impermeáveis, os quais são muito utilizados em cidades de países desenvolvidos como Haddam, Seattle e Portland (Estados Unidos) e Melbourne (Austrália), como uma ferramenta no manejo das águas pluviais urbanas. Apesar da utilização dos jardins de chuva serem considerados como uma boa alternativa para auxiliar a drenagem urbana nesses países, ainda não há muitos estudos no Brasil que analisem a eficiência desse sistema.

Dessa forma, o presente trabalho apresenta um estudo referente à possibilidade de se instalar um jardim de chuva em um condomínio residencial de Porto Alegre no qual foi exigida a construção de uma bacia de amortecimento pluvial. O trabalho ainda apresenta uma comparação entre essas duas estruturas, desde questões ambientais até os custos para se implantar cada um deles.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A pesquisa foi feita com base em um empreendimento residencial do programa Minha Casa, Minha Vida, no qual foi projetada e executada uma bacia de amortecimento pluvial como dispositivo de drenagem das águas das chuvas.

A questão de pesquisa do trabalho é: como é feito o dimensionamento de um sistema de drenagem de águas pluviais através de Jardins de chuva e quais são as vantagens deste quando comparado com o uso de uma bacia de amortecimento pluvial?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundário e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é projetar um sistema de drenagem pluvial com áreas de biorretenção que permitam a infiltração e a percolação da água no solo e analisar a eficácia desse sistema quando comparado à estrutura de drenagem adotada no empreendimento analisado. Esse comparativo de eficácia do sistema de biorretenção tem como base estudos já feitos em outros países.

2.2.2 Objetivo Secundário

O objetivo secundário do trabalho é o comparativo econômico entre os dois sistemas levados em consideração: o executado e o projetado no trabalho.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem como pressuposto que tanto o Manual de Boas Práticas de Gestão de Águas Pluviais da Pensilvânia (PA BMP Manual, 2006) quanto o Manual de Gerenciamento de Águas Pluviais - Jardins de Chuva (Universidade do Texas, 2013) apresentam métodos eficientes de dimensionamento de Jardins de Chuva.

2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que um sistema de drenagem composto por uma bacia de amortecimento pluvial, apesar de eficiente no combate a alagamentos, apresenta altos custos de execução e baixas taxas de remoção de poluentes da água, causando impactos de ordem social, econômica e ambiental.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a analisar o sistema de drenagem pluvial de empreendimento residencial, localizada na zona leste de Porto Alegre, bem como propor um outro sistema baseado na implantação de Jardins de Chuva.

2.6 LIMITAÇÕES

O trabalho limita-se ao estudo das medidas de controle de drenagem urbana na fonte apenas na área do empreendimento analisado, não sendo considerada a região no entorno do mesmo e o impacto do uso das técnicas empregadas nos volumes de água infiltrados e não lançados às redes públicas de drenagem.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) descrição do empreendimento habitacional;
- c) apresentação da bacia de amortecimento projetada e construída no empreendimento;
- d) projeto do sistema de jardins de chuva;
- e) comparação entre os dois sistemas;
- f) considerações finais.

Figura 1 – Diagrama das etapas do trabalho



(fonte: Elaborada pela autora)

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

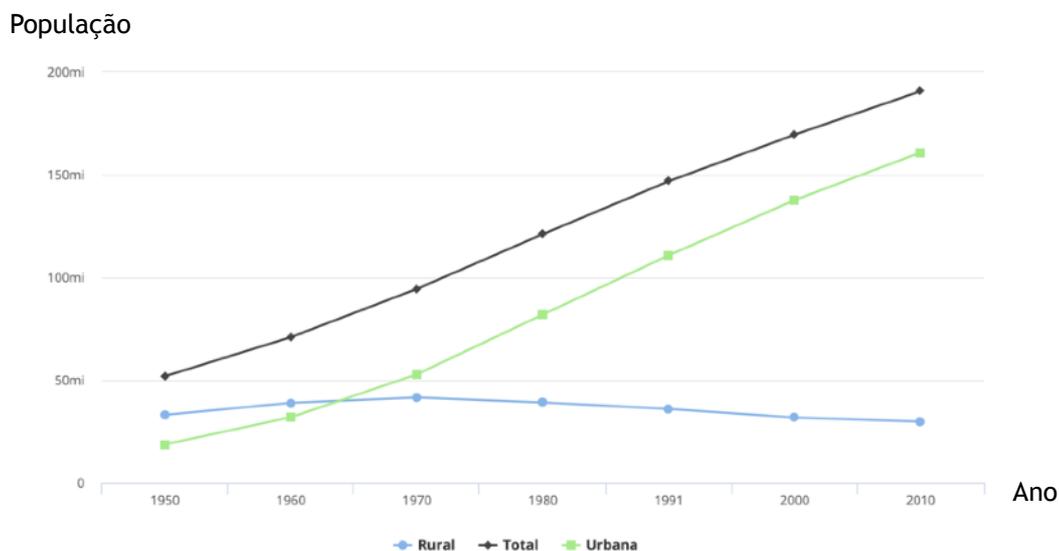
O presente capítulo apresenta um breve estudo sobre a relação entre o crescimento populacional, bem como a conseqüente urbanização e a impermeabilização dos solos. Na seqüência, são apresentados os impactos gerados nos sistemas de drenagem das cidades e as soluções até então adotadas a fim de controlar fenômenos como enchentes e alagamentos. Por fim, são apresentados os jardins de chuva como medidas de controle para a mitigação dos problemas decorrentes da impermeabilização dos solos.

3.1 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO

Da mesma forma que a Inglaterra sofreu um processo de êxodo rural no século XVIII com o advento da Revolução Industrial, o Brasil viu sua população migrar do campo para a cidade a partir da década de 1970. Como consequência do início do processo de mecanização da produção agrícola e de uma incipiente industrialização, a população rural brasileira, que em 1960 representava quase 55% do número total de habitantes (IBGE), se viu obrigada a abandonar seus postos de trabalho no campo e ir em busca de novas oportunidades nas cidades.

Mesmo que em menores proporções, esse deslocamento da população do campo para a cidade se dá até hoje. O resultado desse processo de êxodo iniciado há mais de quatro décadas pode ser entendido através dos números apresentados pelo IBGE na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) 2015, segundo a qual 84,72% da população brasileira vive em áreas urbanas. Ou seja, o êxodo rural somado ao crescimento exponencial da população brasileira na segunda metade do século passado resultaram em cidades extremamente populosas e sem infraestrutura adequada por conta de um repentino crescimento. A figura 2 mostra de forma bastante clara o acelerado crescimento da população brasileira e o fenômeno de êxodo rural desta população.

Figura 2 – Crescimento populacional brasileiro e migração do campo para centros urbanos



(fonte: IBGE)

Partindo do princípio que os centros urbanos brasileiros se estruturaram em meios naturais e que passaram a ser modificados pelo homem a fim de torná-los adequados às suas necessidades, pode-se dizer que o crescimento urbano desenfreado no país trouxe consequências desastrosas no que tange a esfera do ecológico. Segundo Silva (1997), "A urbanização gera enormes problemas, deteriora o ambiente urbano, provoca a desorganização social, com carência de habitação, desemprego, problemas de higiene e de saneamento básico." Ainda segundo o autor, a urbanização modifica a utilização do solo e transforma a paisagem urbana.

Segundo Braga (citado por Canholi, 2005):

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 inundações 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.

A urbanização, ao carecer de um planejamento adequado, tem criado cada vez mais superfícies impermeáveis, como as estradas e rodovias e os telhados das edificações. Na medida em que o cinza do concreto substitui o verde das plantas, o solo torna-se

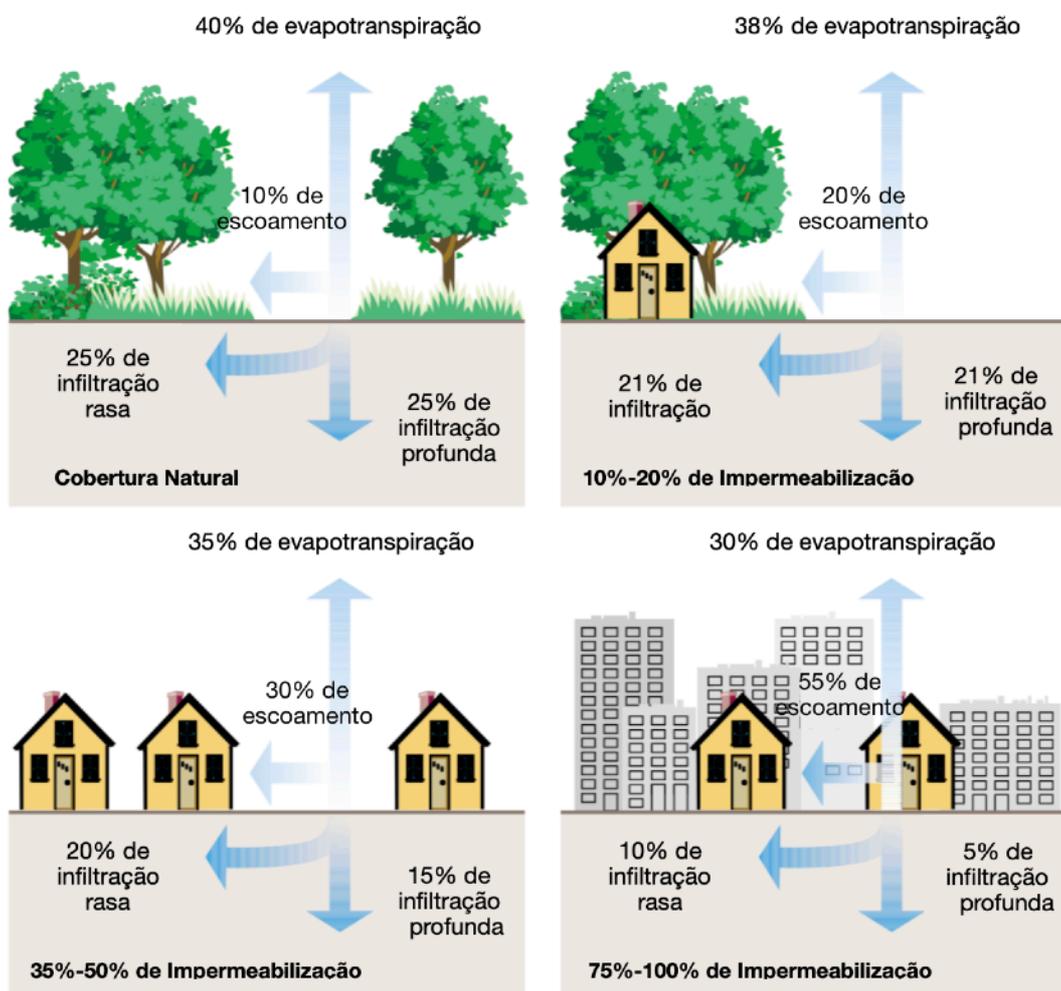
impermeável, uma vez que as superfícies por onde a água pode infiltrar são cobertas. Logo, como consequência direta desse fenômeno de diminuição da infiltração da água da chuva no solo, ocorre o aumento do volume do escoamento superficial, que nada mais é que a água tentando encontrar um caminho onde possa penetrar no solo e seguir seu ciclo natural. De acordo com Tucci (2016), esse processo "produz aumento da frequência e magnitude das inundações, redução do escoamento durante a estiagem, aumento da erosão e de material sólido e piora da qualidade da água." A piora da qualidade da água se deve ao transporte de poluentes para rios ou lagos. Esses poluentes se acumulam nas ruas, calçadas e telhados durante os períodos secos e, quando em um evento chuvoso, são carregados por grandes distâncias até atingirem uma rede coletora ou um curso d'água.

A vegetação de uma bacia hidrográfica, em sua condição natural, retém o escoamento da água, que infiltra e percola no solo ou evapora para a atmosfera. Contudo, com a urbanização, boa parte dessa vegetação deixou de existir e o solo foi coberto por camadas de concreto e pavimento, nas quais a água não é capaz de penetrar. Tucci (1997, apud Tucci et al, 2000) estimou em seis vezes o aumento da vazão média de cheia no rio Belém em Curitiba, após a sua urbanização.

Bacias hidrográficas urbanizadas afetam os recursos hídricos e o ciclo hidrológico, principalmente através da implementação de superfícies impermeáveis que levam a um aumento significativo da velocidade de escoamento e pico de fluxo, redução da evapotranspiração, aumento da poluição presente no escoamento, redução da absorção de chuva e declínio inevitável de recargas de aquíferos. (RAMOS et al, 2017)

Segundo Tucci & Bertoni (2013), o volume que, em condições naturais, escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pela vegetação, com a urbanização, passa a escoar em canais, exigindo maior capacidade de escoamento das seções. Por essa ótica, os efeitos principais da urbanização são o aumento da vazão máxima, a antecipação do pico e o aumento do volume do escoamento superficial. A figura 3 mostra essa relação do aumento da impermeabilização das superfícies associada à redução da capacidade de infiltração do solo.

Figura 3 – Alterações do ciclo da água causadas pela impermeabilização dos solos



(fonte: Prince George's County, 2007, traduzido pela autora)

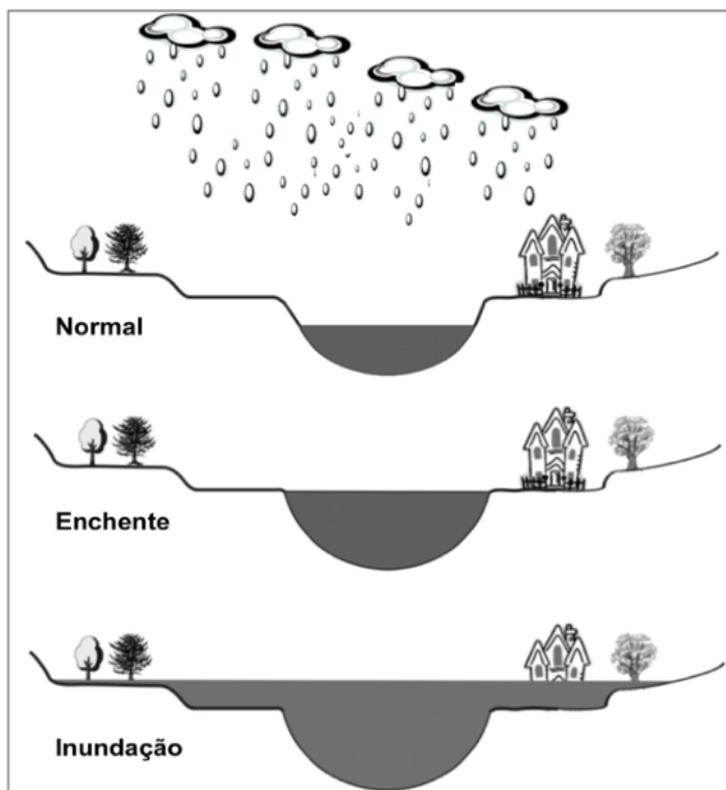
Essas alterações provocadas no ciclo natural da água somadas às mudanças nos padrões climáticos estão sobrecarregando a capacidade da infraestrutura existente e colocando pessoas e propriedades em risco (O'NEIL & CARNS, 2016). Como relatado por Galloway et al (2018), "A Avaliação do Clima Nacional de 2017 (National Climate Assessment) concluiu que chuvas pesadas estão aumentando, especialmente nas últimas três a cinco décadas, aumentando a frequência e intensidade de eventos extremos de precipitação." De acordo com levantamento patrocinado pelo Ministério da Integração Nacional, o Brasil foi atingido mais de 30 mil desastres naturais entre 1990 e 2012, o que, em média, resulta em mais de 1.300 episódios por ano (BRASIL, 2013). Logo, o crescente número de eventos extremos de chuvas

que produzem precipitações intensas está resultando em aumento das inundações urbanas, sendo que uma das causas é a impermeabilização dos solos.

As inundações urbanas são uma fonte crescente de significativa perda econômica, ruptura social e desigualdade habitacional. Não só a expansão dos limites geográficos das cidades e o desenvolvimento suburbano contribuem para esses aumentos nas inundações urbanas, mas também a gestão desordenada de bacias hidrográficas e o sucateamento das redes de drenagem, muitas vezes já subdimensionadas. Sabe-se que nem sempre estas cheias são consequências diretas da urbanização, mas boa parte delas se deve, ou pelos menos seu agravamento a crescente urbanização destas regiões (AGRA, 2001).

Associados às inundações, estão os termos enchentes, cheias e alagamentos, sendo necessário fazer uma distinção entre os mesmos. Conforme Goerl e Kobiyama (2005), uma enchente ou cheia ocorre quando as águas do rio elevam-se até atingir suas margens, porém não há transbordamento nas áreas adjacentes. Já a inundação ocorre a partir do momento em que as águas desse rio transbordam, como pode ser visto na figura 4.

Figura 4 - Elevação do nível de um rio provocado pelas chuvas, do nível normal até a ocorrência de uma inundação



(fonte: Goerl e Kobiyana, 2005)

Um alagamento caracteriza-se por um acúmulo de água da chuva em áreas parcial ou totalmente impermeabilizadas e onde a drenagem não é capaz de escoar a vazão para a qual foi projetada, sendo ainda o entupimento dessa rede outro agravante para o alagamento (DEFESA CIVIL-ES, site).

Os impactos da urbanização na drenagem estão degradando o ambiente e as cidades através de evento cada vez mais frequentes e agressivos. "Esse processo, infelizmente não está sendo contido, mas está sendo ampliado a medida que os limites urbanos aumentam ou a densificação se torna intensa" segundo Tucci (1997). Essas consequências se fazem visíveis até mesmo pela ampla divulgação da imprensa e da TV, que relatam com frequência cenas catastróficas de perdas materiais e humanas em todas as regiões do Brasil. Todos os anos, pessoas morrem quando se arriscam com o automóvel em ruas alagadas ou tentam salvar os móveis em casas já tomadas pelas águas.

3.2 MEDIDAS DE CONTROLE

De acordo com Liptan e Santen Junior (2017), a natureza possui engenhosos sistemas que gerenciam e entregam água em todas as suas fases: precipitação, evaporação, absorção pelas plantas, abastecimento de corpos d'água e infiltração que recarrega aquíferos. Nenhuma infraestrutura se faz necessária e o sistema funciona naturalmente. Contudo, uma vez que esse sistema natural foi desregulado, trazendo como consequência inundações e disseminação de doenças, o homem começou a adotar medidas compensatórias a fim de mitigar os danos. Segundo Souza, Cruz e Tucci (2012):

No início do século XX, a política de saneamento básico consistia na evacuação de efluentes urbanos o mais rápido possível para jusante na tentativa de minimizar a proliferação de doenças. No final da década de 60, tornaram-se evidentes os impactos negativos desta estratégia, especificamente a degradação dos corpos d'água receptores e os danos sociais (econômicos e culturais) provenientes das inundações. A partir destas observações, alguns países alteraram suas políticas de manejo de águas por meio de investimentos significativos no tratamento de esgoto e no controle de águas pluviais, aplicando, principalmente, estruturas de armazenamento.

Conforme os edifícios as estradas e os estacionamentos impermeabilizam o solo, a quantidade de escoamento aumentou. Calhas, bueiros e canalizações passaram a ser projetados e usados para coletar e transportar as águas pluviais, liberando-as em córregos locais o mais rápido

possível (Holm et al, 2014). Como define Walesh (1989), “gestão de águas pluviais urbanas é toda ação realizada dentro de uma bacia para remediar problemas existentes de águas pluviais e para prevenir a ocorrência de novos problemas.”

De acordo com Tucci (2009), as medidas para o controle de inundações podem ser do tipo estrutural e não-estrutural. As medidas estruturais modificam o sistema fluvial evitando os prejuízos decorrentes das enchentes, enquanto as não-estruturais são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes e alagamentos. Ainda segundo Tucci (2003), as inundações podem ser controladas quando se adotam conjuntamente medidas estruturais e não-estruturais.

Existem muitas estratégias para lidar com as inundações urbanas, mas em todos os casos, é a combinação de seleção de ferramentas, financiamento e uma vontade pública de proceder que determinam o nível de sucesso. (GALLOWAY et al, 2018)

Johnson (1978 apud Tucci, 2009) identifica diversas medidas não-estruturais de inundação, tais como regulamentação do uso da terra, construções à prova de enchentes, seguro de enchente e alerta de inundação. Entre as medidas estruturais, que são obras de engenharia implementadas para reduzir o risco de enchentes, então os chamados reservatórios ou bacias de retenção.

A tabela 1 apresenta de forma resumida algumas medidas do tipo estrutural que são comumente adotadas pelas municipalidades a fim de mitigar os problemas ocasionados pela impermeabilização dos solos. Algumas dessas medidas se propõem a solucionar o problema na fonte, retendo a água assim que ela é precipitada, enquanto outras provocam uma alteração no perfil dos corpos d'água, aumentando sua seção ou diminuindo sua rugosidade para permitir uma maior vazão.

Tabela 1 – Medidas de controle de enchentes e alagamentos

MEDIDAS	VANTAGENS	DESVANTAGENS	APLICAÇÃO
COBERTURA DO SOLO	Redução do pico de cheias	Impraticável em grandes áreas e sujeito a outros efeitos	Pequenas bacias
DIQUES	Alto grau de proteção de uma área específica	Não pode ser utilizado para desníveis altos (risco de falha)	Grandes rios e planícies, onde a declividade é pequena e a flutuação nos níveis é menor.
REDUÇÃO DA RUGOSIDADE E AUMENTO DA SEÇÃO DE CANAIS	Aumento da vazão e da velocidade do escoamento	Pode não ser eficaz em canais largos	Rios pequenos
ALTERAÇÃO DA DECLIVIDADE DO FUNDO	Aumento da vazão e da declividade do escoamento	Impacto negativo sobre o regime de um rio, com aumento da erosão	Área de inundação estreita
RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO	Operação com reservatório mantido seco para receber a cheia	Dificuldade de controle da área do reservatório devido a inundação pouco frequente	Bacias pequenas e médias; restrito ao controle de enchentes
DESVIO DE CANAIS	Redução da vazão a jusante	Depende da topografia e dos efeitos para onde a vazão é direcionada	Bacias médias e grandes

(fonte: adaptado e traduzido de Simons et al, 1997)

Ao acelerar o fluxo de escoamento para receber corpos de água, o manejo tradicional de águas pluviais muitas vezes intensifica a erosão, o que leva a mais sedimentação. A gestão dessa sedimentação é cara: o Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos draga aproximadamente 83 milhões de jardas cúbicas de sedimentos ligados a fontes de poluição a cada ano a custo anual de US\$ 180 milhões (O'NEIL e CARNS, 2016).

3.3 RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO

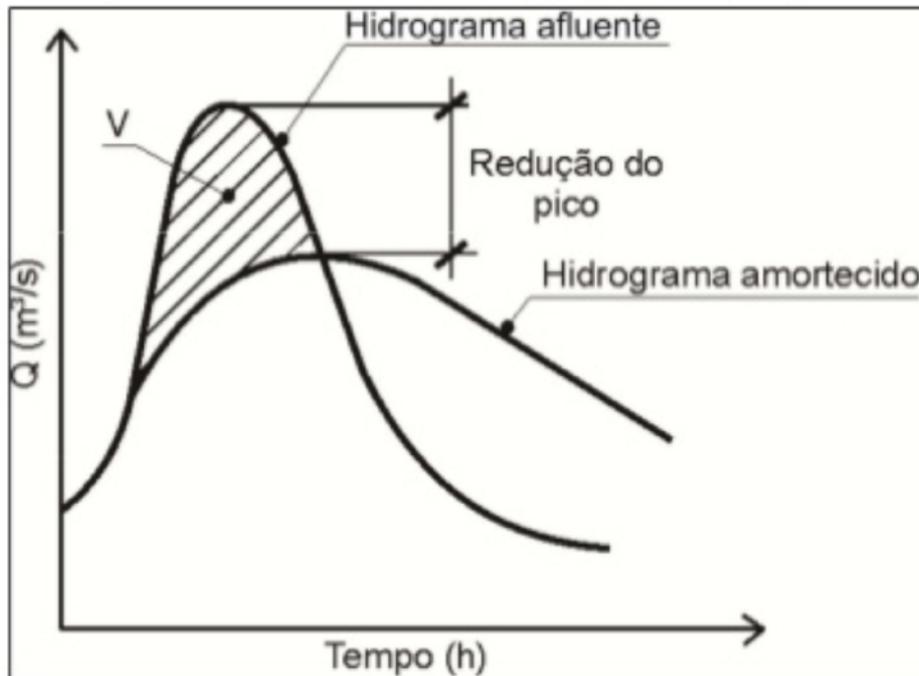
As bacias de retenção são reservatórios que visam, de acordo com Tucci et al (1995), minimizar o impacto hidrológico da redução da capacidade de armazenamento natural da bacia hidrográfica. Cruz et al. (2000) apontam como vantagens do armazenamento na fonte o controle diretamente na origem, a recuperação do amortecimento natural e a minimização dos efeitos a jusante devido à impermeabilização. As bacias de retenção podem ser construídas de várias formas e com tipos de funcionamento variados (BAPTISTA, 2005).

Os reservatórios têm a capacidade de redistribuir as vazões ao longo de um tempo maior, através do conveniente armazenamento dos volumes escoados, formando um volume útil temporário e promovendo o amortecimento dos picos de drenagem desde a entrada no sistema até sua disposição final (TUCCI, PORTO e BARROS, 1995); (CANHOLI, 1995) e (TUCCI, 1997).

Segundo Cruz e Agra (2001) e Cruz, Araújo e Souza (2003), os microreservatórios de retenção são estruturas de armazenamento distribuídas entre os lotes urbanos para abater as vazões de pós-ocupação e manter as condições de pré-urbanização, atenuando o pico dos hidrogramas de saída e possibilitando a recuperação da capacidade de amortecimento perdida pela bacia devido à impermeabilização dos solos, principalmente pelo controle da vazão de saída. Porto e Filho (2004) ressaltam que a implantação de microreservatórios é facilitada pelas suas pequenas dimensões, podendo ser construídos em praças ou quintais.

Cruz, Tucci e Silveira (2000) salientam que o controle a nível de lote permite a redução de uma parte dos impactos devido a urbanização, mas ainda restam ruas, calçadas e áreas públicas. Cruz e Agra (2001) consideram que a implantação de microreservatórios deve ser planejada para evitar o agravamento de situações já críticas e observam problemas referentes aos custos envolvidos na implantação e manutenção do sistema.

Figura 5 - Efeitos de um reservatório de detenção



(fonte: Tucci, 2007)

Os reservatórios de detenção, principalmente os microreservatórios, podem assumir os mais variados formatos e serem constituídos dos mais diversos materiais (concreto, alvenaria, fibrocimento, solo, etc.), sendo essas possibilidades apontadas por Tassi (2002) como suas principais vantagens e motivo de sua popularidade.

Contudo, O'Loughlin et al. (1995) citado por Cruz, Araújo e Souza (1999) citam algumas desvantagens dos sistemas de detenção, tais como o aumento das taxas de escoamento a jusante e a baixa eficiência na redução de poluentes. Somado a isso, gerenciar o escoamento de águas pluviais por meio de abordagens de infra-estrutura cinzenta, como é o caso dos reservatórios, normalmente envolve altos custos de construção, manutenção e reparo (HAIR et al. 2014 apud DAVIS e NAUMANN, 2017).

Sendo assim, esse segundo modelo adotado também tem se mostrado ineficiente, uma vez que ele apresenta falhas, exige manutenções frequentes e carrega elevadas taxas de poluentes para rios e lagos. Composta principalmente de tubos, bueiros e reservatórios, a estratégia de

armazenar água tem um alto custo de instalação e manutenção e, em quase todas as jurisdições, carece de um mecanismo de financiamento (O'NEIL e CARNS, 2016). Além disso, as áreas impermeáveis aumentam a cada ano, aumentando também o escoamento superficial nas cidades, o que faz com que as redes de drenagem precisem ser modernizadas com frequência. Outro ponto é a mudança nos padrões climáticos, que aumentaram a frequência de eventos extremos de tempestade, às vezes sobrecarregando a capacidade da infraestrutura existente de águas pluviais e colocando pessoas e propriedades em risco.

3.4 INFRAESTRUTURA VERDE

Em setembro de 2015, mais de 150 líderes mundiais reuniram-se na sede da ONU para lançar uma nova agenda de desenvolvimento sustentável composta pelos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS (ONU, site). Os ODSs são metas globais que a ONU está buscando alcançar até 2030 com a finalidade de, entre outras coisas, dar uma sobrevida aos espaços naturais já completamente degradados pelo homem. Um desses objetivos diz respeito às águas pluviais e o gerenciamento das mesmas a fim de assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável das águas.

Esse intuito da ONU vai ao encontro de engenheiros, arquitetos e designers, que, desde a década de 90 voltaram sua atenção aos sistemas de drenagem natural, revendo a importância do solo e da vegetação no controle da água das chuvas. Fenômenos como infiltração e evapotranspiração passaram a ter grande relevância nos projetos de drenagem urbana. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency-EPA), por exemplo, afirma que a infraestrutura verde usa vegetação, solos e outros elementos e práticas para restaurar alguns dos processos naturais necessários para gerenciar a água e criar ambientes urbanos mais saudáveis (EPA, 2014).

Um projeto baseado em infraestrutura verdes sugere abordagens de planejamento e design que restauram ou imitam os processos hidrológicos naturais dentro de um contexto de urbanização. "Soluções baseadas na natureza têm sido definidas como soluções vivas sustentadas por processos naturais, sendo projetadas para enfrentar vários desafios ambientais,

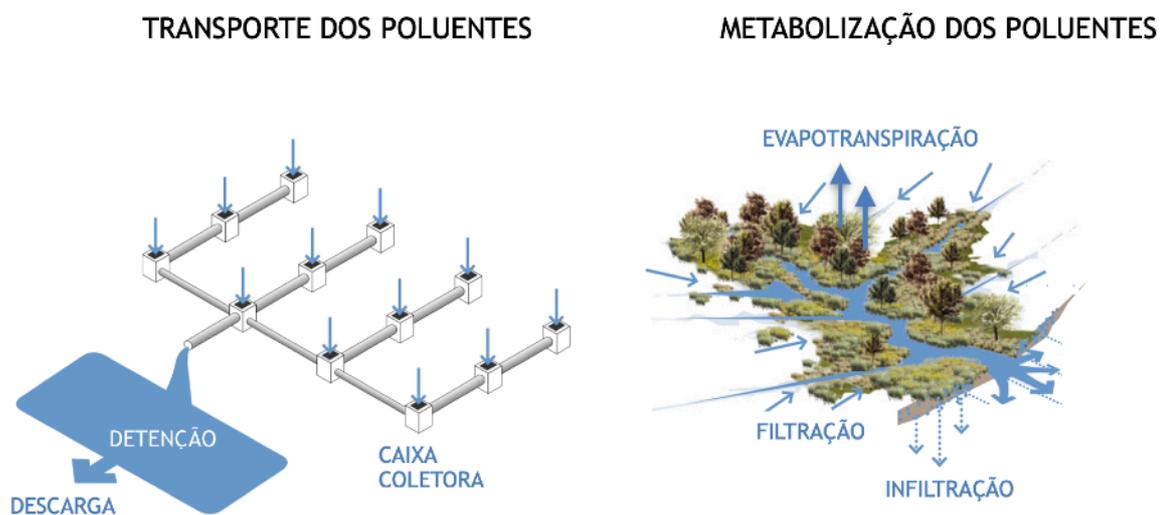
ao mesmo tempo em que fornecem benefícios econômicos e sociais”. (COMISSÃO EUROPEIA, 2015).

Esses benefícios, além do controle de escoamento e cheias, podem ser vistos até mesmo de forma indireta. Exemplo disso é apresentado em um estudo sobre a cidade de Leincaster (Pensilvânia), que adotou em 2011 um plano de adoção de infraestrutura verde para drenagem urbana que incluía uma série de metas e recomendações para a cidade. Após três anos de implementação, já foi possível constatar uma redução no consumo de energia elétrica e gás natural. Essa economia está relacionada ao conforto térmico provocado pelos telhados verdes e pelo plantio de árvores nas ruas. Para um cenário de 25 anos, foi estimada economia de US\$ 2.368.000 por ano no consumo de energia (EPA, 2014).

Como discorre Pompêo (2000), quando se une o conceito de sustentabilidade aos sistemas de drenagem urbana, os engenheiros e projetistas são capazes de reconhecer a complexidade das relações entre os ecossistemas naturais e o sistema urbano artificial. Portanto, ainda segundo o autor, se faz necessário que um projeto de drenagem urbana deixe de envolver apenas conceitos técnicos, mas também entenda como a sociedade se relaciona com o ecossistema.

Um exemplo dessa recontextualização dos projetos de drenagem urbana é a gestão de poluentes. Uma vez que a finalidade do sistema higienista é apenas evitar cheias e alagamentos, não há preocupação alguma com a qualidade da água. Contudo, quando se pensa em uma alternativa baseada na natureza, a remoção de poluentes é também um fator relevante na hora de projetar um sistema de drenagem (figura 6). Por ter essa abordagem que contempla os sistemas naturais e artificiais, as chamadas soluções verdes já se fazem presentes em várias cidades dos Estados Unidos, Austrália e Europa. Conforme Johns (2018), jurisdições estão desenvolvendo e reprojetoando políticas para tentar apoiar uma mudança de cinza para verde infraestrutura para melhorar os resultados das políticas e benefícios para os cidadãos, empresas e comunidades.

Figura 6 - Comparativo entre sistemas tradicional e alternativo



(fonte: University of Arkansas, 2010, traduzido pela autora)

"Desde 1990, Zurique tem substituído mais de 19 km de encanamentos por riachos e córregos, uma alternativa econômica adotada para evitar escavar ruas e substituir tubos existentes por novos tubos maiores" (TRACE, 2014 apud LIPTAN; SANTEN JUNIOR, 2017). Ainda segundo Liptan e Santen Junior (2017), em Portland essa transformação começou no final dos anos 90 através de pequenas medidas que visavam testar essas novas práticas.

Uma vez que o controle do escoamento na fonte com o foco na infiltração e evapotranspiração passou a ser visto como uma relevante alternativa de drenagem urbana, começaram a surgir conceitos e concepções para o projeto de um sistema de drenagem integrado com o desenvolvimento da cidade, buscando reduzir impactos sobre o ciclo hidrológico (MIGUEZ, REZENDE e VERÓL, 2015). Como exemplo desses novos conceitos, pode-se citar o LID - Desenvolvimento de Baixo Impacto (Low Impact Development), o SUDS - Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis (Sustainable Urban Drainage Systems) e o WSUD - Projeto Urbano Sensível à Água (Water Sensitive Urban Design).

3.4.1 LID

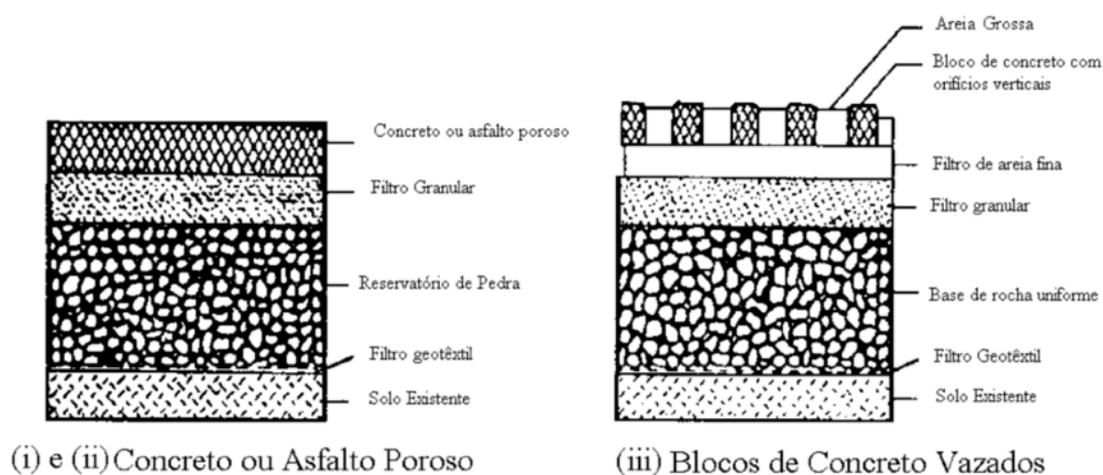
O Departamento de Defesa norte-americano (USDoD 2004), define o LID como sendo uma estratégia de gerenciamento de águas pluviais projetada para manter a hidrologia do local e mitigar os impactos adversos do escoamento de águas pluviais e da poluição de fontes não pontuais.

O LID gerencia ativamente o escoamento de águas pluviais imitando a hidrologia de pré-desenvolvimento de um local do projeto usando técnicas de projeto que infiltram, armazenam e evapora o escoamento próximo à sua origem de origem. As estratégias de LID fornecem controle de fonte hidrológica descentralizada para escoamento de águas pluviais. Em resumo, a LID procura gerenciar a chuva, começando no ponto em que ela cai. Os recursos do LID são controles de pequena escala distribuídos que imitam de perto o comportamento hidrológico dos sites de pré-projeto para um evento de tempestade de projeto (USDoD 2004).

Aproveitando as oportunidades para o manejo de águas pluviais em escalas de bacias hidrográficas, de vizinhança e de lotes, o LID propõe uma abordagem baseada nas condições de drenagem de pré-urbanização. Para tanto, o LID se baseia em cinco grandes princípios, sendo o primeiro deles o uso dos sistemas naturais existentes como estrutura de integração para o planejamento (CREDIT VALLEY CONSERVATION, 2012). Em segundo lugar, o LID concentra-se na eliminação ou redução do escoamento através de técnicas de engenharia que preservem e incentivem o cultivo de árvores e plantas. Um terceiro princípio da LID é tratar a água da chuva o mais próximo possível da área de origem. As técnicas para manter as águas pluviais perto de onde elas chegam incluem valetas gramadas, áreas de biorretenção, telhados verdes e pavimentos permeáveis.

De acordo com Shuller (1987, apud Tucci e Marques 2000), os pavimentos permeáveis geralmente possuem três camadas: uma capa de revestimento poroso, o filtro composto por uma camada de agregado fino ou médio e uma última camada de agregado graúdo. São as dimensões desse agregado graúdo que determinam a capacidade de armazenamento do pavimento, podendo a água ser infiltrada ou coletada por tubos de drenagem (figura 7). Ainda, filtros geotêxteis podem ser colocados entre a camada de agregado fino ou médio e a camada de agregado graúdo e embaixo desta a fim de evitar a migração de partículas finas.

Figura 7 - Tipos de pavimentos permeáveis



(fonte: Tucci e Marques, 2000)

Na sequência, os dois últimos princípios remetem à criação de paisagens multifuncionais nos centros urbanos e à manutenção destas através da educação, tanto da população quanto dos órgãos governamentais. Além disso, para algumas técnicas de LID, são necessários acordos legais para garantir operações de longo prazo e manutenção de recursos em propriedade privada.

Ao adotar uma abordagem da bacia hidrográfica, o sistema de drenagem urbana LID não se baseia em jurisdições políticas e limites legais de propriedade, mas sim em um sistema holístico de gerenciamento de águas pluviais baseado em bacias hidrográficas como unidades de planejamento. Essa abordagem integra economia, ciência ecológica e dinâmica social e utiliza os processos naturais do ciclo da água. Ao abranger tantas esferas, o LID oferece grande flexibilidade para o desenvolvimento de novos sistemas de drenagem ao apresentar uma ampla gama de opções de tecnologia disponíveis para atender às necessidades dos projetistas (UNIVERSITY OF ARKANSAS, 2010; USEPA, 2012).

Por conta dessa maior flexibilidade, o LID pode ser adotado em qualquer ambiente urbano, seja residencial, institucional, comercial ou industrial (CREDIT VALLEY CONSERVATION, 2012). Além disso, um estudo da Agência de Proteção Ambiental dos EUA fez uma análise de 17 projetos LID já implementados nos Estados Unidos e concluiu que, na maioria dos casos, a economia total de custos de construção e manutenção variou de 15 a 80% quando comparados

com projetos de drenagem tradicionais. Ainda, Beedan e Clausen (2009) compararam a qualidade e a quantidade de escoamento de águas em bacias hidrográficas de desenvolvimento de baixo impacto (LID) que usavam práticas tais como jardins de chuva e pavimentos permeáveis. Os pesquisadores descobriram que a adoção de práticas LID reduziu a quantidade de exportação de vários poluentes em comparação com o desenvolvimento tradicional.

Um exemplo do sucesso do uso do LID no gerenciamento de águas pluviais é Seattle, que lançou seu projeto de demonstração em 9,3 hectares da sua área urbana, reduzindo as superfícies impermeáveis em 11% quando comparado a uma rua tradicional e adicionando mais de 1.200 novas árvores e arbustos. Pouco tempo após a implementação do projeto piloto, o escoamento superficial foi reduzido em 99% (USEPA 2012).

3.4.2 SUDS

O método SUDS - Sustainable Urban Development Systems visa reduzir a quantidade de escoamento superficial em áreas já urbanizadas a fim de minimizar a ocorrência de inundações a jusante e reduzir as taxas de poluentes nos corpos hídricos (Woods Ballard et al 2015). Os métodos LID e SUDS possuem princípios muito semelhantes e se propõem a resolver os mesmos problemas através de práticas ditas sustentáveis e de baixo impacto. A grande diferença entre os dois sistemas é a origem dos mesmos, uma vez que enquanto o LID é amplamente difundido nos Estados Unidos, o SUDS foi modelado por pesquisadores e projetistas ingleses.

Segundo Woods Ballard et al (2015), são algumas práticas propostas pelo SUDS:

- Sistemas de coleta de água da chuva - coletar e armazenar a água da chuva de telhados e outras superfícies pavimentadas (como estacionamentos) para reutilização;
- Telhados verdes - envolvem a construção de uma camada de solo em um telhado para criar uma superfície viva que reduza o escoamento superficial;

- Pavimentos permeáveis - funcionam como uma superfície rígida para caminhar ou dirigir, enquanto permitem que a água da chuva se infiltre no solo ou no armazenamento subterrâneo.

Também como o LID, os métodos do SUDS podem ser implementados sem qualquer restrição de área. Exemplo disso é mostrado na figura 8, que retrata um telhado verde construído em cima de uma estação de bicicletas.

Figura 8 - Telhado verde instalado em bicicletário



(fonte: SUDS Manual, 2015)

Em Cambourne, Reino Unido, um projeto piloto do SUDS foi implementado em um área residencial (DAVIS e NAUMANN, 2017). Foram adotadas algumas técnicas como pavimentação permeável, telhados verdes e uma lagoa de retenção. Os resultados indicaram melhorias na biodiversidade e na qualidade da água que saem do local, bem como uma redução das taxas de manutenção de sistemas de drenagem. Além disso, o projeto conclui que

muitos aspectos do SUDS podem ser instalados e mantidos a custos mais baixos quando comparados com métodos tradicionais de drenagem. A tabela 2 mostra outros benefícios que podem ser obtidos através da implementação de projetos inspirados em métodos SUDS.

Tabela 2 - Benefícios do SUDS, descrição e detalhes de projeto

Benefício	Descrição	Categoria do SUDS que fornece o benefício
Qualidade do ar	Danos à saúde reduzidos devido à melhoria da qualidade do ar	Filtragem de partículas de ar através da vegetação (por exemplo, árvores e telhados verdes)
Temperatura do ar e de ambientes internos	Refrigeração ou isolamento; conforto térmico e economia de energia	Espaços verdes e azuis, telhados verdes
Biodiversidade e ecologia	Locais de valor ecológico	Criação e aprimoramento de habitats, conectando habitats
Redução das concentrações de carbono	Uso e plantio reduzidos de energia / água	Necessidades de baixa energia (materiais, construção e manutenção); captação (por exemplo, árvores e pântanos)
Adaptação às mudanças climáticas	Capacidade de fazer alterações incrementais nos sistemas	Projetando para exceder, adaptabilidade do esquema
Crescimento da economia e investimento interno	Negócios, empregos, produtividade, turismo, preços de imóveis	Espaços verdes e azuis
Oportunidades de educação	Maior acesso e existência de possibilidades educacionais	Engajamento da comunidade (antes e depois da construção), painéis informativos, programas educacionais, recursos de entretenimento
Redução dos riscos de enchentes	Danos materiais e pessoais	Atenuação de pico de fluxo, controle de volume
Recarga de água subterrânea e umidade do solo	Maior disponibilidade ou quantidade de água	Interceptação, infiltração, tratamento de escoamento
Saúde e bem estar	Benefícios de saúde física, emocional e mental	Espaços verdes e azuis
Recreação	Envolvimento em atividades recreativas específicas	Espaços verdes e azuis e recursos de jogo
Abastecimento de água potável	Fluxos reduzidos e poluição reduzida	Captação de água da chuva; veja também recarga de água subterrânea e umidade do solo
Tratamento de esgoto	Fluxos e volume reduzidos para tratamento em sistemas combinados	Interceptação e redução adicional do volume de escoamento
Qualidade da água	Melhorias na qualidade da água de superfície	Estratégias de prevenção de poluição, interceptação, tratamento de escoamento superficial

(fonte: adaptado de Davis e Naumann, 2017, traduzido pela autora)

3.4.3 WSUD

Desenvolvido na Austrália, o Projeto Urbano Sensível à Água (Water Sensitive Urgan Design - WSUD) se caracteriza por ser uma metodologia de drenagem urbana que planeja áreas capazes de aproveitar as águas das chuvas e reduzir a quantidade de escoamento superficial (Melbourne Water, site). Assim como o SUDS, o WSUD apresenta propostas e objetivos semelhantes ao LID.

Os princípios-chave do WSUD, conforme publicado no manual pelo governo de Victoria, Austrália são (MELBOURNE WATER, 2012):

- a. Integrar o tratamento da água na paisagem, maximizando a amenidade visual e recreativa dos empreendimentos.
- b. Melhorar a qualidade da drenagem de água dos empreendimentos urbanos para os ambientes receptores.
- c. Reduzir os fluxos de escoamento e pico dos empreendimentos urbanos, aumentando os tempos de detenção locais e minimizando as áreas impermeáveis.
- d. Minimizar os custos de infra-estrutura de drenagem do desenvolvimento devido à redução do escoamento e dos fluxos de pico.

Conforme Hoyer et al (2011), o WSUD pode gerar entusiasmo pelo gerenciamento sustentável de águas pluviais e responder às necessidades públicas de uma maneira que as soluções convencionais jamais conseguiriam. Com isso, novos métodos e tecnologias, antes apenas uma questão de engenharia civil, estão se expandindo para incluir uma ampla gama de disciplinas, o que adiciona um nível de complexidade na gestão de águas pluviais no que diz respeito à estética e ao planejamento do espaço.

Além dos métodos LID, SUDS e WSUD, ainda podem ser citados os termos GI - Infraestrutura Verde (Green Infrastructure), BMP - Melhores Práticas de Gerenciamento (Best Management Practices), DRWN - Gestão Descentralizado de Água da Chuva (Decentralised Rainwater Management) e IURWM - Gestão Integrada de Recursos Hídricos Urbanos (Integrated Urban Resource Water Management) (HOYER et al, 2011). Essa ampla gama de

termos se deve sobretudo ao fato de que o desenvolvimento dessas novas técnicas de planejamento urbano ocorreu simultaneamente em vários países.

3.5 JARDINS DE CHUVA

“Um jardim de chuva (também chamado de biorretenção) é uma escavação superficial com vegetação nativa especialmente selecionada para tratar e capturar o escoamento” (PA BMP Manual, 2006). De forma semelhante, Hess (2017) define um jardim de chuva como sendo uma área vegetada em um nível abaixo da superfície capaz de capturar e armazenar o escoamento superficial das áreas impermeáveis que a rodeiam, tratando os poluentes carregados por essas águas. A água que fica temporariamente armazenada no jardim infiltra no solo ou vai para a atmosfera através da evapotranspiração. Sendo assim, essa nova técnica tende a recriar as condições hidrológicas naturais de uma bacia no controle do volume de escoamento superficial e no tratamento das águas.

Para Li e Zhao (2008), o jardim de chuva é uma estrutura hidrológica funcional na paisagem, com um baixo investimento e simples manutenção. Ainda para os autores, o jardim atua através do sistema solo-plantas-atmosfera e dos processos de infiltração, retenção e absorção, purificando e absorvendo as águas pluviais, o que provoca a redução do volume escoado e protege a qualidade das águas subterrâneas. Conforme Dunnett e Clayden (2007), os primeiros jardins de chuva começaram a ser implantados nos anos 80 em extensas áreas residenciais no estado de Maryland, Estados Unidos.

A vegetação do jardim de chuva serve para filtrar (qualidade da água) e transpirar (quantidade de água) o escoamento superficial. As plantas absorvem os poluentes, o solo permite armazenamento e promove a infiltração das águas pluviais. Devidamente projetadas, as técnicas de biorretenção imitam os ecossistemas naturais através da diversidade de espécies, da distribuição de vegetação e do uso de espécies nativas. (PA BMP Manual, 2006)

O SUDS Manual classifica os jardins de chuva como sendo um sistema de biorretenção mais simplificado, uma vez que o manual apresenta outros métodos que exigem o emprego de mantas geotêxteis e tubulação de extravasamento, por exemplo. É importante notar que as áreas de biorretenção ou jardins de chuva não devem ser confundidas com “wetlands” ou bacias de retenção. Uma das principais diferenças é a taxa de infiltração que, segundo o

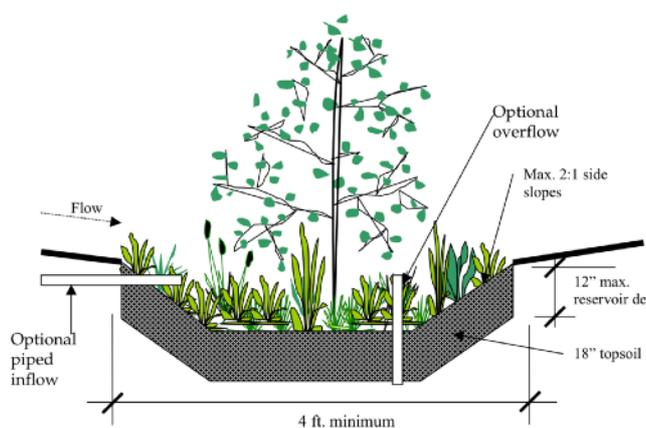
Manual de Melhores Práticas de Gerenciamento em Drenagem da Pennsylvania (PA BMP Manual, 2006), deve ser maior para os jardins de chuva, uma vez que a finalidade deles é armazenar água apenas durante um intervalo de tempo.

Figura 9 - Jardim de chuva na Filadelfia



(fonte: www.fwwa.org)

Figura 10 - Esquema de um jardim de chuva



(fonte: PA BMP Manual, 2006)

Segundo Sharkey (2006), os mecanismos de remoção de poluentes dentro de uma área de biorretenção são físicos, químicos e biológicos. Físico inclui a captura de sólidos, a sedimentação e retenção de óleos e graxas. Já os mecanismos de remoção química e biológica são muito semelhantes e incluem a ligação de metais pesados à matéria orgânica e aos minerais do próprio solo. Davis et al. (2001 apud Sharkley 2006) descobriram que os solos de

biorretenção contendo mais argila do que areia têm uma alta capacidade de remover metais pesados nos 20 cm superiores do perfil do solo. Além disso, solos contendo suficiente conteúdo de argila podem absorver grandes quantidades de ânions, tais como metais, devido à grande capacidade de minerais de silicato, como argila, de coletar esses ânions dentro de sua estrutura cristalina (ESSINGTON, 2015).

Davis et al (2009 apud Melo 2011) compilaram vários dados para mostrar o desempenho dos sistemas de biorretenção na remoção de poluentes. Os principais poluentes e suas respectivas taxas de remoção apresentados foram: sólidos suspensos, 54 – 59%; fósforo, 70 – 85%; nitrogênio, 55 – 65%, metais pesados – cobre, zinco, chumbo, taxas superiores a 74%; óleos e graxas, taxas superiores a 96% e; bactérias patogênicas, 70 – 91%.

Outra grande vantagem dos jardins de chuva é que eles são muito flexíveis quanto a sua implantação, podendo ocupar áreas reduzidas, como em um quintal, ou grandes estacionamentos. Além disso, eles podem se integrar a outras estruturas sustentáveis de drenagem, como pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração. Ainda por conta dessa flexibilidade, são muitos os aspectos que podem ser modificados a fim de maximizar a eficiência de um jardim de chuva. Alguns critérios de projeto são a profundidade, o tipo de solo e a vegetação (HESS, 2017).

Quadro 1 - Características de um jardim de chuva

Elementos de Projeto	Potencial de Aplicação
Flexível em termos de tamanho e capacidade de infiltração; Volume de retenção controlado a fim de promover rápido esvaziamento (em algumas situações pode requerer maiores profundidades); Estrutura aceita plantas e árvores; É recomendado o uso de solo orgânico; Exige manutenção para bom funcionamento; Promove a redução de poluentes; Condições de armazenamento e infiltração estáveis.	Comercial: Sim Residencial: Sim Industrial: Sim Retrofit: Sim Estradas e Rodovias: Sim
	Funções de Drenagem Qualidade da Água: Alto Recarga de Aquíferos: Alto Redução de Escoamento: Médio Controle do Pico: Médio
	Efeitos na Qualidade da Água Redução de Sólidos Suspensos: 85% Redução de Fósforo: 85% Redução de Nitratos: 30%

(fonte: PA BMP Manual, 2006)

Segundo Prince George's County (2017), as estruturas de biorretenção proporcionam benefícios ambientais aos moradores e às cidades, pois promovem a conservação de plantas, melhoram a qualidade do ar, amenizam as ilhas de calor e valorizam as propriedades em torno de 20%. Dessa forma, os jardins de chuva ganharam popularidade entre projetistas por conta de sua estética que se adapta ao ambiente e à paisagem e pela capacidade de atender aos requisitos de drenagem de águas pluviais.

3.5.1 Projeto de um jardim de chuva

Apesar de ser uma tecnologia relativamente nova e nem mesmo ser citado na maioria dos Planos de Drenagem Urbana das cidades, já existem diversos métodos de dimensionamento para uma área de biorretenção, sendo alguns com fundamentação totalmente empírica e outros com maior embasamento técnico. Segundo Melo (2011), os sistemas de biorretenção foram inicialmente pensados como solução para problemas de drenagem urbana em grandes áreas.

Contudo, devido às taxas de eficiência e seus efeitos secundários, como a melhora da qualidade da água, passaram a ser empregados também em áreas menores, ainda por conta de sua flexibilidade de forma e tamanho. Nesse sentido, Hunt et al (2010) consideram que os jardins de chuva são sistemas ideais para implantação em áreas residenciais, uma vez que, nesses casos, eles são dimensionados para receber os volumes de água proveniente de telhados e calçadas.

Dessa forma, conforme os sistemas de jardins de chuva foram se tornando mais populares no campo da drenagem urbana, começaram a surgir diferentes métodos de dimensionamento a fim de otimizar a gestão das águas urbanas e o controle de poluentes. A proposta de Davis et al (2009), por exemplo, afirma que o principal foco de análise ao se projetar um jardim de chuva deve ser o solo e suas características. Li e Zhao (2008) apontam que os fatores determinantes no projeto são a área de superfícies impermeáveis, a profundidade da camada do aquífero e a permeabilidade do solo. Além disso, outros aspectos importantes a serem considerados são o estudo topográfico e os índices pluviométricos da região.

Uma outra forma para fazer o dimensionamento de um jardim de chuva foi proposta por Hunt et al (2010), na qual se leva em consideração a taxa de drenagem do solo. Para calcular essa

taxa, os autores propõem que seja cavada uma abertura no terreno a uma profundidade de 1 m abaixo do nível de fundo do jardim de chuva. Posteriormente, essa abertura feita deve ser preenchida com um volume conhecido de água e se contabiliza o tempo que esse volume demora para infiltrar no solo.

Apesar do surgimento de diversas técnicas de dimensionamento de jardins de chuva, ainda não existe nenhum padrão ou moledo mais adequado para projetá-los, sendo que muitos aspectos da sua estrutura podem ser alterados para maximizar a quantidade de água a ser retida ou o controle de qualidade. Dessa forma, a fim de analisar com maior profundidade o projeto de um jardim de chuva, bem como seus componentes e variáveis, são apresentados na sequência dois métodos de dimensionamento: a proposta apresentada no Manual de Melhores Práticas de Gerenciamento em Drenagem da Pennsylvania (PA BMP Manual, 2006) e o modelo defendido pela Universidade do Texas (Texas A&M Manual, 2012).

3.5.1.1 Manual de Drenagem Urbana da Pensilvânia

Tendo como base esse método, a forma de dimensionar o jardim de chuva é através da área de drenagem, ou seja, toda área impermeável cujo escoamento superficial será captado pela área de biorretenção. Dessa forma, a área do jardim depende dos requisitos de volume de armazenamento, mas não deve exceder uma taxa de carga máxima de 5:1. Dessa forma, cada 5m² de área impermeável tem seu escoamento captado por 1m² de biorretenção. Segundo Hess (2017), “a taxa de carga máxima é aplicada para evitar falhas devido ao entupimento, concentração de poluentes e efeitos adversos de acumulação de água subterrânea.” De acordo com Rocco (2009), essa proporção é estimada considerando-se uma vida útil de 20 anos.

No entanto, essa taxa de carga de 5:1 não é limitante no dimensionamento de um jardim. Prova disso é jardim de chuva da Ilha de Trânsito de Bioinfiltração (BTI) no Campus Villanova, que tem uma taxa de carga de 10:1 e teve um bom desempenho nos últimos 12 anos (JENKINS et al. 2010; LORD 2013; ISAAC-RICKETTS 2008).

Ainda segundo Rocco (2009), os jardins de chuva devem ser projetados de forma conservadora, uma vez que os poros do solo tendem a ser preenchidos pelo material carregado pelo escoamento durante os eventos de chuva. Por conta disso, é aconselhável que, em

determinadas situações, os sistemas de biorretenção não trabalhem sozinhos, mas sim em conjunto com outras estruturas de drenagem nas quais o excesso de escoamento superficial possa ser descarregado.

Quanto à profundidade da área de infiltração, o manual não apresenta nenhuma forma de como determinar essa medida, apenas salienta que o jardim deve ter um desnível tal que toda a água acumulada seja capaz de infiltrar em até 72h, não podendo ser maior que 45cm. Sobre as paredes laterais, essas devem ter uma inclinação de 3:1, contudo, para locais onde a área é limitada, é aceita uma inclinação de 2:1.

O manual discorre ainda sobre o solo que deve ser utilizado, devendo este ser adequado à vegetação escolhida para o jardim. Segundo Liptan (2017), o ideal é fazer uso do próprio solo da região, fazendo alguma modificação apenas quando necessário, como para alterar a infiltração ou a capacidade de retenção do solo. O ideal é que o solo tenha uma taxa de infiltração entre 0,25 e 25 centímetros por hora. A camada de solo deve ser de pelo menos 10 centímetros a fim de dar suporte para as raízes.

Apesar de apenas a infiltração ser levada em consideração nesse método de dimensionamento, há ainda o processo de evapotranspiração, que costuma ser ignorada no dimensionamento por ser uma variável difícil de quantificar e modelar (ROCCO, 2009). A evapotranspiração é a combinação da perda de água por evaporação das superfícies e a transpiração das plantas e árvores. Segundo Stolo (2005 apud Hess 2017), a evapotranspiração é um importante componente do balanço hidrológico e pode representar até 50% da disponibilidade total de água em algumas bacias hidrográficas.

3.5.1.2 Manual de Jardim de Chuva da Universidade do Texas

O manual apresenta uma proposta de projeto baseado no Método da Curva-Número (CN), criado pelo Serviço de Conservação do Solo (Soil Conservation Service - SCS), nos Estados Unidos. Essa metodologia se baseia na determinação de uma vazão de projeto, a partir da disponibilidade de dados existentes. Geralmente são utilizados dados de chuva diária, a fim de estimar o escoamento superficial para um dia. Geralmente os valores de CN são tabelados de acordo com o tipo de uso do solo na área da bacia, seja rural, urbana ou suburbana.

De acordo com o manual de dimensionamento, um único jardim de chuva pode ser projeto para captar o escoamento de uma área de até 8093m² (2 acres), sendo que, para áreas impermeáveis superiores a essa, o excesso de escoamento pode causar erosão na estrutura. Para dimensionar o jardim de chuva, o primeiro passo é calcular o volume de escoamento superficial a ser captado através do Método do Número da Curva (Curve Number Method) do Serviço de Recursos Naturais e Conservação (Natural Resources and Conservation Service - NRCS):

$$H = \frac{(P - 0,2.S)^2}{(P + 0,8.S)} \quad (1)$$

Sendo:

H - altura do escoamento;

P - precipitação (em polegadas);

S - variável de impermeabilização.

Essa variável de impermeabilização do solo é calculada por:

$$S = \frac{1000}{(CN - 10)} \quad (2)$$

Sendo:

S - variável de impermeabilização;

CN - fator de impermeabilização, que é retirado da tabela 3.

Tabela 3 - Valores para o fator de impermeabilização conforme a cobertura do solo

TIPO DE COBERTURA DO SOLO	A	B	C	D
ESPAÇOS ABERTOS (CAMPOS, PARQUES, PRAÇAS, ETC)	49	69	79	84
ESTACIONAMENTOS E TELHADOS	98	98	98	98
ESTRADAS E AVENIDAS PAVIMENTADAS	98	98	98	98
ESTRADAS E AVENIDAS DE PARALELEPÍEDOS	76	85	89	91
ESTRADAS E AVENIDAS DE TERRA	72	82	87	89
ÁREAS COMERCIAIS	89	92	94	95
ÁREAS INDUSTRIAIS	81	88	91	93
ÁREAS COM URBANIZAÇÃO EM FASE INICIAL	77	86	91	94
DESCRIÇÃO DOS GRUPOS HIDROLÓGICOS A: Areia e cascalho bem drenados, alta permeabilidade B: Textura moderada a bem drenada, moderadamente fina a moderadamente grossa, permeabilidade moderada C: Textura pobre a moderadamente bem drenada, moderadamente fina a fina, permeabilidade lenta D: Solos argilosos pouco drenados e com alto potencial de intumescimento, lençol freático permanente, argila ou solos rasos sobre camadas quase impermeáveis				

(fonte: adaptado de Texas A&M Manual, 2012, traduzido pela autora)

Finalmente, para encontrar o volume total do escoamento superficial, utiliza-se a fórmula:

$$V = H \cdot A \cdot 0,623 \quad (3)$$

Sendo:

V - volume do escoamento;

H - altura do escoamento;

A - área de superfície impermeável.

Por esse método, os jardins de chuva são projetados considerando-se uma precipitação de 1 polegada (25,4mm), fazendo com que estes sirvam como um sistema de primeira descarga, uma vez que é nesse primeiro escoamento que concentra-se a maioria dos poluentes carregados pela chuva. Mesmo sendo projetados com uma capacidade limitada, as áreas de biorretenção serão capazes de reter o escoamento da maioria dos eventos chuvosos, que

raramente excedem uma precipitação superior a 1 polegada em um curto período de tempo. Segundo o manual da Universidade do Texas (2012), “chuvas de mais de 25mm por dia acontecem apenas 12 vezes por ano em Dallas, no Texas”.

Contudo, uma vez que existe a possibilidade de ocorrerem eventos chuvosos com precipitações superiores a 25mm, o manual aconselha que seja projetado um sistema de drenagem secundário a fim de captar o escoamento superficial não comportado pelo jardim de chuva.

Para determinar a área do jardim de chuva, deve-se dividir o volume total de de escoamento pela sua profundidade:

$$A_j = \frac{V}{V'} \quad (4)$$

Sendo:

A_j - área superficial do jardim de chuva;

V - volume do escoamento;

V' - volume do escoamento por metro quadrado.

O volume do escoamento por metro quadrado é calculado pela equação 5:

$$V' = h \cdot 0,623 \quad (5)$$

Sendo:

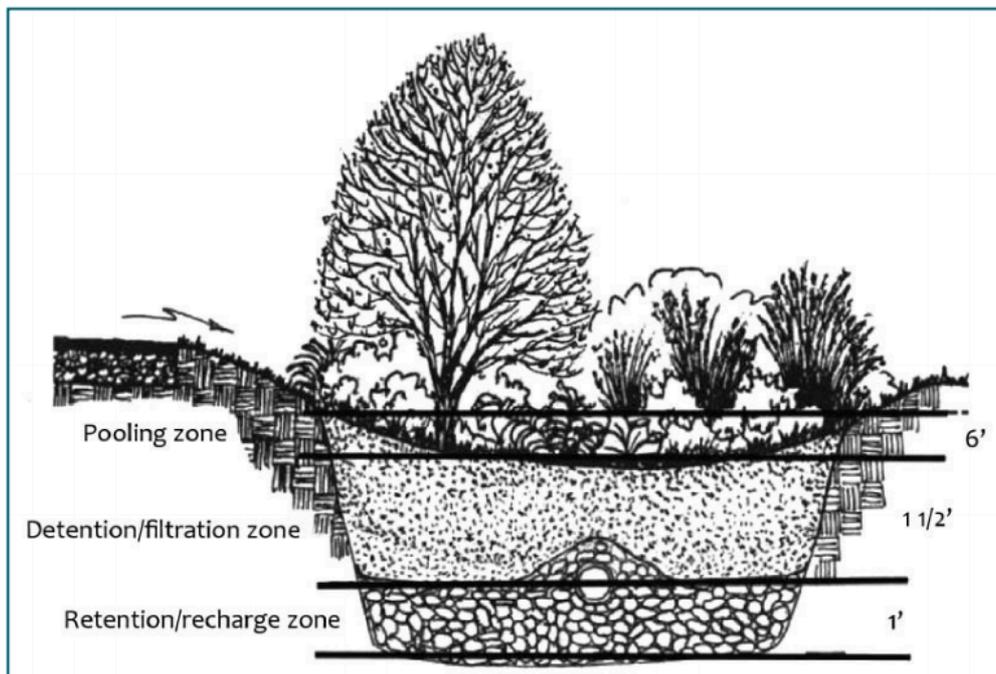
V' = volume do escoamento por metro quadrado;

h = profundidade do jardim.

Por esse método, a profundidade do jardim é fixada em 15 polegadas, sendo essa a altura total do mesmo, considerando-se todas as suas camadas, que são a zona de retenção, a zona de infiltração e a zona de armazenamento (figura 11). A zona de armazenamento de água, que é aquela que fica acima da última camada de solo, deve ter de 6 a 9 polegadas de profundidade,

enquanto a camada de solo tem 1,5 polegadas. A base do jardim de chuva de ser feita utilizando-se cascalhos com diâmetros entre 0,5' e 1,5'. Essa camada-base serve como filtro do jardim, mas ainda aconselha-se o uso de um cano perfurado que sirva como dreno a fim de estender a vida útil da estrutura.

Figura 11 - Sessão típica de um jardim de chuva



(fonte: Prince George's County, traduzido pela autora)

3.5.2 Cenário Internacional

3.5.2.1 Alma Road - Londres

A rua em questão localiza-se em um bairro no qual as águas superficiais descarregam diretamente no curso de água mais próximo. Como resultado, os rios locais sofrem com a má qualidade da água devido à poluição difusa urbana e alto risco de inundações. O principal rio da região é conhecido por sofrer algumas inundações localizadas, o que se deve à natureza impermeável do bairro (aumentado como resultado da expansão urbana) e a falta de espaços verdes, além da ineficácia do sistema de drenagem existente.

Dessa forma, com os objetivos de aliviar o sistema de drenagem existente e melhorar a qualidade da água, foram construídos cinco jardins de chuva ao longo da rua (figura 12). O custo total do projeto foi de 50000 libras e foi financiado por um programa da prefeitura de Londres.

Figura 12 - Alma road com os jardins implantados



(fonte: SUSDRAIN)

Cada jardim de chuva individual tem um padrão diferente de proteção em relação à sua área de contribuição, mas cada jardim de chuva drena aproximadamente uma área de captação de 200 m². O maior deles (figura 13) possui 8m de comprimento e conta com um lastro de brita de 30cm sob uma camada de um solo modificado conforme exigências britânicas. (SUSDRAIN).

Figura 13 - Maior jardim implantado na rua



(fonte: SUSDRAIN)

Quanto à manutenção, como os jardins de chuva estão dentro da via pública, esta é realizada pela equipe da prefeitura. Uma análise geral de custos mostrou que o custo adicional de manutenção dos jardins não é significativo quando comparado aos investimentos de manutenção e limpeza de bueiros e sarjetas. (SUSDRAIN)

Figura 14 - Jardim de chuva na Alma Road



(fonte: SUSDRAIN)

3.5.2.2 Condomínio Buckman Heights - Portland

Composto por duas torres de quatro andares, o condomínio foi inaugurado em 1998 e ocupa uma área de 2 hectares. A construtora e incorporadora decidiu implementar no projeto alguns atributos ambientais, como o compartilhamento de carros e aspectos paisagísticos, como a implantação de jardins de chuva no local. Os edifícios são organizados em torno de um pátio principal (figura 15), no qual se localizam dois grandes jardins de chuva que filtram e absorvem a água proveniente das calhas dos edifícios e das calçadas.

Figura 15 - Dois jardins de chuva implantados nas áreas comuns do condomínio



(fonte: Liptan e Murase, 2002)

Juntos, os dois jardins somam uma área total de 75 m² responsáveis por reter toda a água proveniente dos cerca de dois hectares de implantação. Cada um dos jardins possui uma profundidade média de 15 cm nas bordas, chegando a 45 cm no centro. Quanto à vegetação, se optou pelo plantio de espécies nativas da região e tolerantes à umidade.

De acordo com o projeto, o sistema possui grande eficiência para chuvas de até 23 mm, sendo capaz de drenar toda a água armazenada em até 5 horas. Além disso, por questões de segurança, os projetistas definiram que deveria ser instalado um dispositivo de

transbordamento para o caso de o jardim de chuva não ser capaz de infiltrar toda a água retida a tempo em ocasiões de fortes precipitações (figura 16).

Figura 16 - Tubulação de extravasamento



(fonte: Liptan e Murase, 2002)

Com base em observações visuais, as taxas de infiltração parecem estar aumentando. Se confirmada essa hipótese, a tubulação de escape instalada por questões de segurança poderá ser elevada vários centímetros para permitir que mais escoamento seja infiltrado pelo solo e que ocorra uma maior redução de poluentes. A vegetação parece saudável e está crescendo bem e a poda é feita uma vez por ano no outono para manter a estética. De uma perspectiva funcional, a poda poderia ser reduzida. Não se prevê que fertilizantes ou pesticidas sejam necessários, embora todo o local tenha um sistema de irrigação (LIPTAN e MURASE, 2002).

4 SISTEMA DE DRENAGEM DO EMPREENDIMENTO

Nesse capítulo é apresentado o empreendimento utilizado como base para o estudo comparativo, bem como o sistema de drenagem pluvial projetado e construído de acordo com o Manual de Encargos do DEP-POA.

4.1 ASPECTOS GERAIS

O empreendimento localizado no bairro Rubem Berta, em Porto Alegre, é do tipo residencial, composto por 200 unidades divididas entre 10 torres e 190 vagas de garagem descobertas. A implantação possui uma área total de 21.553,73 m², sendo 8.318,80 m² de área permeável, representando cerca de 40% da área do condomínio.

Figura 17 - Localização do condomínio

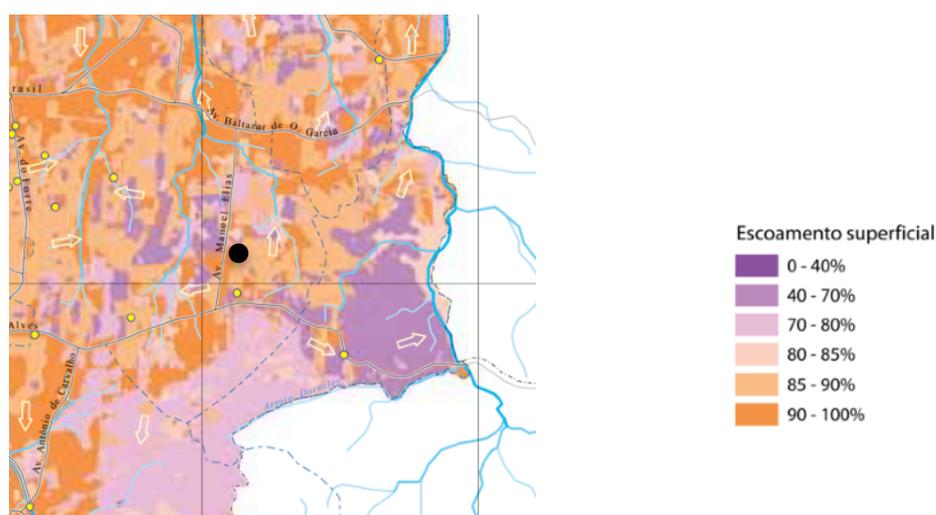


(fonte: Prefeitura de Porto Alegre)

Quanto à hidrologia do local, o condomínio situa-se dentro dos limites da Bacia Hidrográfica do Gravataí, no trecho Baixo Gravataí - Margem Esquerda. Segundo a Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura - RS (DRH/SEMA, 2011), essa sub-bacia tem um tempo de concentração de 4,0 horas e uma densidade de drenagem de 1,229. Além disso, segundo o

Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre, a região em estudo apresenta carência na drenagem, ocasionando em elevadas taxas de escoamento superficial, oscilando entre 80% e 90%, o que representa uma elevada capacidade de gerar escoamento, como pode ser visto na figura 18.

Figura 18 - Escoamento superficial na região do empreendimento



(fonte: Hasenack, 2005)

Esse alto potencial de geração de escoamento superficial se deve em parte às características do solo local. Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999), o solo onde foi construído o condomínio é um Argissolo Vermelho Distrófico. Dessa forma, ao apresentar características argilosas, o solo possui baixas taxas de infiltração, o que colabora com o aumento do escoamento superficial. A figura 19 mostra a configuração argilosa do solo encontrado no local.

Os níveis de escoamento superficial se intensificam conforme o aumento das áreas impermeáveis em detrimento de áreas livres e permeáveis, bem como pela precariedade dos sistemas de micro e macrodrenagem existentes na região do empreendimento. Soma-se a isso a inexistência de fiscalização e manutenção por parte dos órgãos público e a falta de educação ambiental da população, o que sobrecarrega o sistema pela carga excessiva de resíduos sólidos.

Figura 19 - Aspecto argiloso do solo

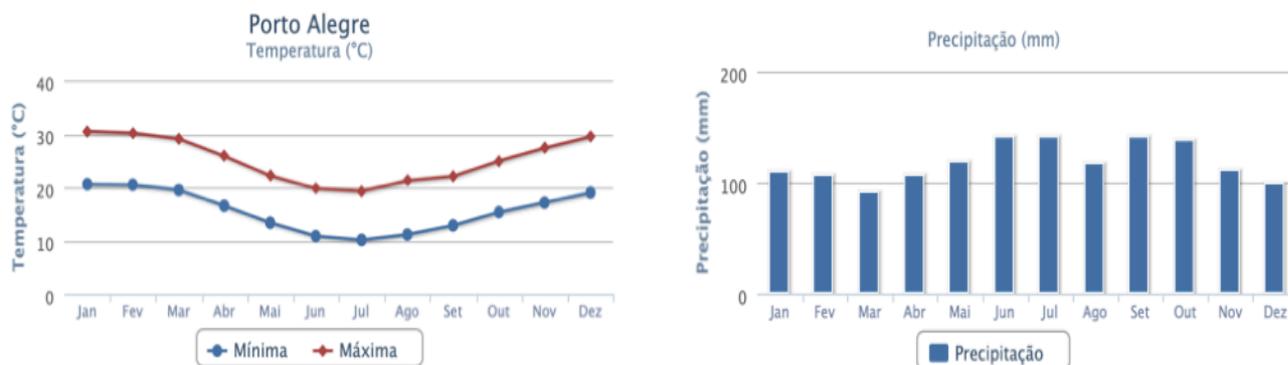


(fonte: elaborada pela autora)

Os níveis de escoamento superficial se intensificam conforme o aumento das áreas impermeáveis em detrimento de áreas livres e permeáveis, bem como pela precariedade dos sistemas de micro e macrodrenagem existentes na região do empreendimento. Soma-se a isso a inexistência de fiscalização e manutenção por parte dos órgãos público e a falta de educação ambiental da população, o que sobrecarrega o sistema pela grande carga de resíduos sólidos.

De acordo com a classificação de Koppen e Geier, o clima de Porto Alegre é considerado subtropical, com verão quente, sendo que a temperatura média do município é de 19,5 C. Existe uma pluviosidade significativa ao longo do ano, uma vez que mesmo o mês mais seco possui elevados níveis de precipitação, superando os 100 mm. A Média histórica de Precipitação Pluviométrica de Porto Alegre é de 1347,4 mm. Contudo, esses dados são provenientes de medições feitas entre os anos de 1961 e 1990. Dados mais recentes apontam que a precipitação média anual de Porto Alegre é de 1416,2 mm (IRGA).

Figura 20 - Temperatura média e precipitação anual de Porto Alegre



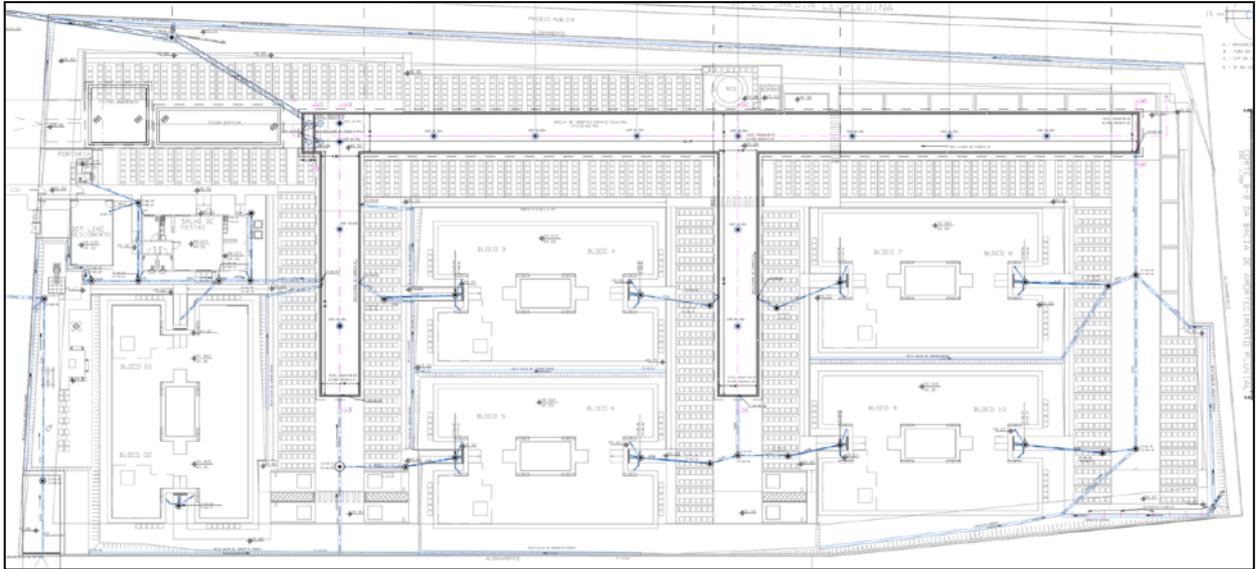
(fonte: Somar Meteorologia)

4.2 RESERVATÓRIO DE AMORTECIMENTO PLUVIAL

O projeto da bacia de amortecimento do condomínio seguiu a metodologia de dimensionamento recomendada pelo Caderno de Encargos do Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (CE-DEP/2005) e pelo Decreto Municipal 18.611/2014 e IN 002/2.016 do DEP-POA.

O reservatório de detenção é do tipo fechado, executado em galeria de concreto armado, foi previamente dimensionado com uma de seção 3,90 x 1,79 m e um volume total de armazenamento de 740,00 m³, mas foi projetado com uma largura de 4,60 m e uma altura variável. Após finalizado, o reservatório se estende por mais de 160 m lineares e armazena um volume total de 818 m³, valor bem superior ao volume necessário calculado de acordo com as diretrizes do DEP. sendo que o volume necessário calculado é de 739,26 m³. O sistema de drenagem pluvial construído ainda conta com cerca de 911 m de tubulações enterradas, calhas e canaletas que conduzem as águas coletadas para a bacia. A figura 21 mostra a disposição do reservatório pluvial no empreendimento.

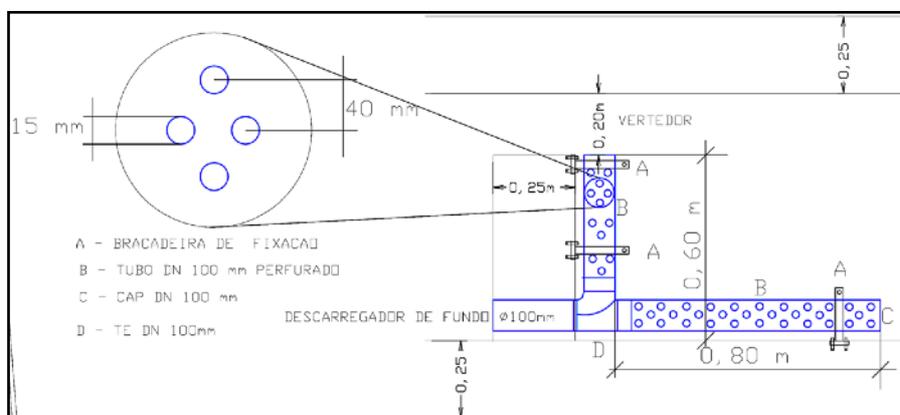
Figura 21 - Projeto de drenagem pluvial



(fonte: fornecido pela construtora)

O diâmetro do orifício de saída foi calculado a fim de projetar uma vazão de saída máxima igual a 20,8 l/s/ha, resultando em um diâmetro comercial de 125 mm. O vertedor de segurança foi calculado para permitir a passagem de toda a vazão de pico afluente do reservatório com período de retorno de quinze anos. Essa vazão foi calculada pelo Método Racional utilizando-se uma equação do posto do IPH, resultando em 566,70 l/s. A largura da soleira adotada para o vertedor foi de 3,82 m para uma lâmina de 20 cm.

Figura 22 - Detalhe do vertedor de saída e descarregador de fundo



(fonte: fornecido pela construtora)

Figura 23 - Descarregador de fundo executado



(fonte: elaborada pela autora)

Para a construção da bacia foram utilizados mais de 800 m³ de concreto, um volume relativamente elevado tanto pelas grandes dimensões da bacia quanto pelas perdas excessivas que ocorriam durante a concretagem, sobretudo pelo incorreto posicionamento das formas. Além disso, como a tampa da bacia de contenção serviu também como ruas para permitir o deslocamento dos automóveis dentro do condomínio, o projeto estrutural da bacia exigiu cerca de 60 toneladas de aço entre vergalhões, treliças e arames.

Após três meses de trabalho contando com uma equipe de 12 funcionários, a bacia pluvial foi finalizada e passou pela vistoria de um auxiliar técnico do Departamento de Esgotos Pluviais de Porto Alegre - DEP. Essa vistoria teve como objetivo verificar se a execução correspondia ao que foi projetado e liberar a mesma para uso.

Figura 24 - Vistoria do DEP para aprovação da bacia de amortecimento



(fonte: elaborada pela autora)

5 PROJETO DOS JARDINS DE CHUVA

Os jardins projetados para o empreendimento foram dimensionados em duas etapas: área e estrutura. Na primeira etapa foram determinadas as dimensões planas dos jardins, ou seja, a metragem quadrada e o formato; já na segunda etapa foram estruturados os perfis dos jardins e de suas camadas internas.

5.1 ÁREA

Conforme mencionado anteriormente, ainda não há nenhum modelo padrão de como projetar um jardim de chuva, sobretudo no Brasil. No presente trabalho a metodologia adotada para o projeto desses jardins se baseia na área das superfícies impermeáveis. Em alguns estudos, o tamanho dos jardins de chuva é dimensionado através de uma proporção de 5% a 20% da superfície impermeável (CHRISTENSEN & SCHMIDT, 2008). Na Nova Zelândia, o tamanho adotado para um jardim da chuva, geralmente é de 5% a 10% das áreas impermeáveis (LI & ZHAO, 2008).

Contudo, como a área impermeável no condomínio totaliza 5.120 m², ficaria inviável construir um jardim de chuva com pelo menos 256 m² de área superficial a fim de atender pelo menos a proporção mínima de 5%. A figura 25 mostra a relação entre as áreas impermeáveis (branco) e permeáveis (verde). Somado a isso, a maior parte da bibliografia consultada para a realização do presente trabalho se propunha a dimensionar ou analisar o desempenho de jardins de chuva com portes de pequeno a médio.

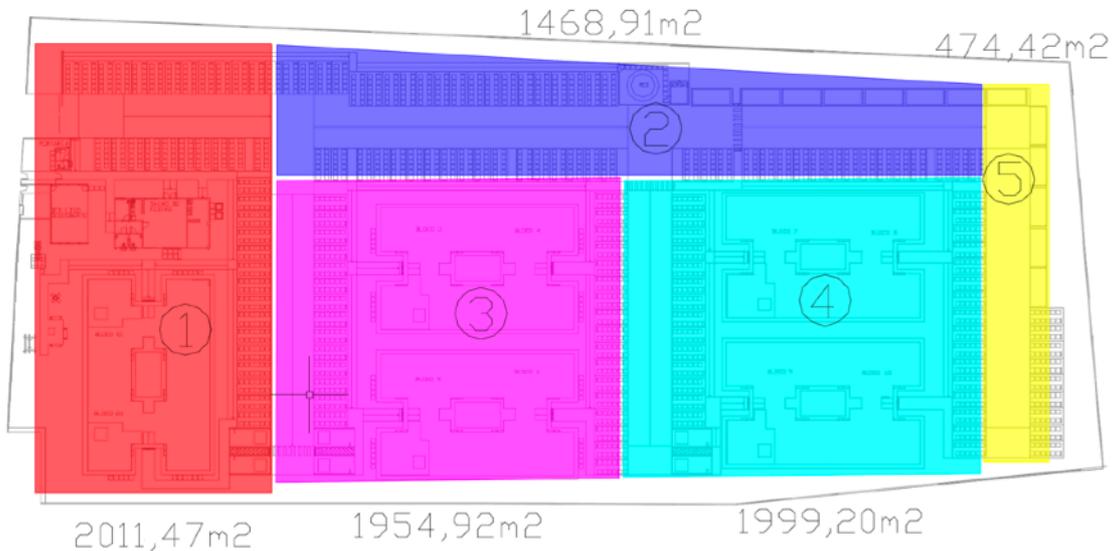
Dessa forma, com a finalidade de projetar os jardins de acordo com os estudos e projetos consultados e apresentados na revisão bibliográfica, o empreendimento foi dividido em cinco zonas. Com essa divisão, as áreas impermeáveis foram consideradas como independentes umas das outras a fim de melhor distribuí-las e calcular as áreas dos jardins de chuva que se fazem necessários, como pode ser visto na figura 26. A divisão das áreas foi feita de forma tal que todas as zonas englobem semelhantes áreas impermeáveis e que respeitem o nível das superfícies a fim de que todo o escoamento seja destinado ao sistema de biorretenção de forma natural.

Figura 25 - Superfícies permeáveis do empreendimento (em verde)



(fonte: elaborada pela autora)

Figura 26 - Área impermeável por zona



(fonte: elaborada pela autora)

Sendo assim, seguindo esse zoneamento proposto, os jardins de chuva foram distribuídos e dimensionados adotando-se uma proporção entre as áreas impermeáveis e do jardim mínima de 10%. A tabela 4 apresenta esses resultados divididos por zona. Mais uma vez pelo fato de o empreendimento possuir muitas superfícies impermeáveis, cada uma das cinco zonas poderá

ter mais de um único jardim de chuva. Na quinta coluna (Área Jardins) é apresentada a área de jardins que deve existir na respectiva zona, não significando que um único jardim possui essa área.

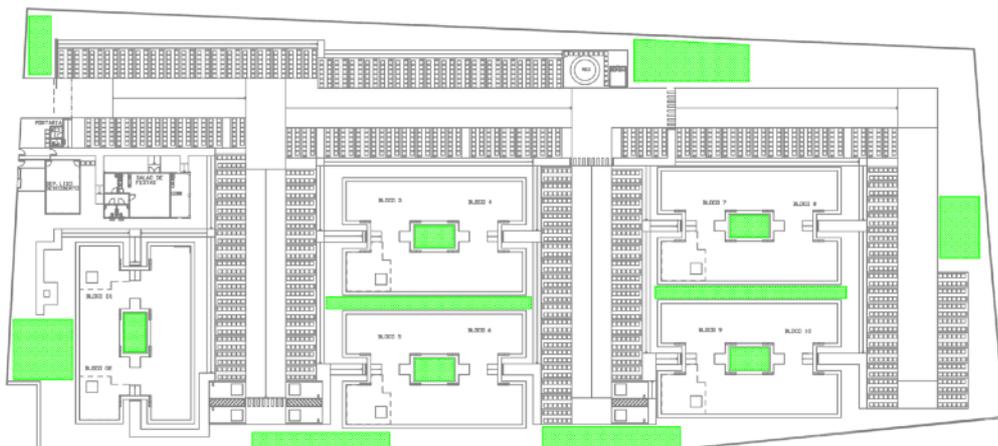
Tabela 4 - Área impermeável por zona e área de biorretenção necessária

ZONA	Área Total (m ²)	Área Impermeável (m ²)	Área Permeável (m ²)	Área Jardins (m ²)	Proporção
1	2011,47	1052,53	958,94	131	12,45%
2	1468,91	830,96	637,95	100	12,03%
3	1954,92	1361,65	593,27	143	10,50%
4	1999,20	1503,8	495,4	156	10,37%
5	474,42	371,67	102,75	55	14,80%

(fonte: elaborada pela autora)

Com base na metragem quadrada de jardim de chuva que cada zona deve ter para conter o escoamento superficial gerado pelas superfícies impermeáveis, foram previstos treze jardins de chuva no empreendimento respeitando os limites físicos e a disposição dos espaços permeáveis, conforme mostrado na figura 27.

Figura 27 - Localização dos jardins de chuva



(fonte: elaborada pela autora)

Dessa forma, a área de cada jardim respeitou tanto o espaço disponível para a sua implantação quanto a proporção mínima de 10:1 adotada. A tabela 5 mostra a área de cada jardim e a respectiva área de contribuição, ou seja a área de superfície impermeável cujo escoamento gerado será detido e armazenado pelo jardim de chuva.

Tabela 5 - Área de Contribuição de cada jardim

Zona	Jardim	Área Jardim (m ²)	Área Contribuição (m ²)
1	1	30	240,96
	2	81	650,60
	3	20	160,64
2	4	100	830,96
3	5	20	190,44
	6	56	533,23
	7	20	190,44
	8	47	447,54
4	9	20	192,79
	10	52	501,27
	11	20	192,79
	12	64	616,94
5	13	55	371,67

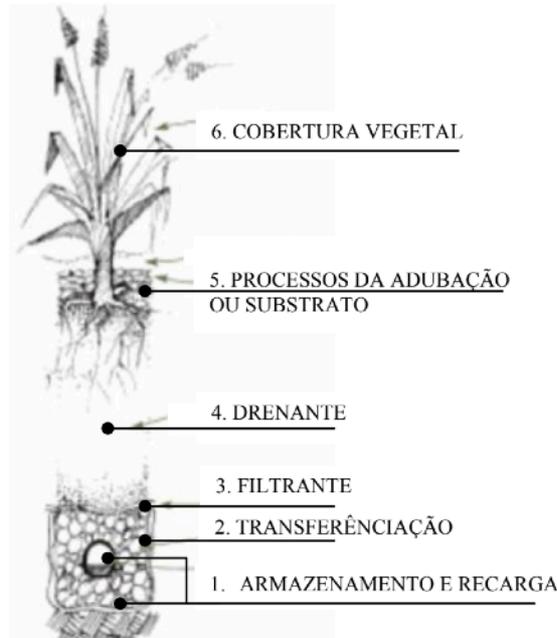
(fonte: elaborada pela autora)

5.2 ESTRUTURA

A estrutura do perfil do jardim varia de acordo com as condições específicas do local e com a necessidade de armazenamento, podendo ser projetada com areia ou brita para aumentar a infiltração. De acordo com o Manual de Drenagem Urbana da Pensilvânia, para solos com baixas taxas de infiltração (menos que 2,5 mm por hora), é aconselhável que, além do desnível do jardim, se construa uma área de biorretenção em camadas contendo zonas drenantes e filtrantes, bem como um tubo perfurado, assim como mostra a figura 28. Apesar de o solo presente na região do empreendimento ter uma taxa de infiltração levemente superior a 2,5 mm/h, por motivos de segurança e eficácia do sistema, serão projetadas

camadas de dreno e filtro, porém sem a presença da tubulação, tendo como base o jardim projetado por Melo (2011).

Figura 28 - Camadas de um jardim de chuva



(fonte: Dunnett e Clayden, 2007)

A evapotranspiração pode reduzir o volume de escoamento armazenado, porém esta foi desconsiderada para o dimensionamento dos jardins de chuva tanto pela dificuldade de calcular suas taxas e pelo fato de que as práticas de projeto consultadas representem apenas a redução do volume de águas pluviais por infiltração.

Para calcular a estrutura e as camadas dos 13 jardins projetados para o empreendimento, se fez necessário seguir uma sequência de etapas de cálculo: intensidades de precipitação, precipitação efetiva, volumes de escoamento, volumes de infiltração, volume de armazenamento, altura das camadas de brita e areia e nível da superfície do jardim. Após a determinação de todos elementos, foi possível criar o perfil de cada um dos jardins de chuva necessários no condomínio.

5.2.1 Intensidade de Precipitação

A intensidade ou velocidade de precipitação é a relação entre a altura pluviométrica e a duração da precipitação, sendo expressa, geralmente, em mm/h ou mm/min. É determinada através da relação intensidade-duração-frequência, a chamada curva IDF.

A curva IDF varia de local para local e pode ser determinada com base em registros históricos de precipitação de pluviógrafos, sendo que a IDF de determinado local fornece a intensidade da chuva (mm/h) para uma dada duração t (horas) e período de retorno T_r (anos) (DEP POA, 2006). Porto Alegre possui dados pluviográficos em vários locais, para os quais foram obtidas as curvas IDF em diferentes estudos e no desenvolvimento do PDDrU. Para o caso do bairro Rubem Berta, onde se localiza o empreendimento, a curva IDF a ser utilizada no cálculo é a da estação Aeroporto.

$$i = \frac{826,8T^{0,143}}{(t + 13,3)^{0,79}} \quad (6)$$

Onde:

T - período de retorno, em anos;

t - duração da chuva, em minutos;

i - é a intensidade de chuva, em mm/h.

Para o presente trabalho, a adoção do tempo de retorno teve como base o Manual de Drenagem de Porto Alegre (Tabela 6). Apesar de o valor frequente de 2 anos para projetos residenciais, foi escolhido um T_r de 5 anos por questões de segurança. A duração da chuva de projeto (t) foi de 15 min, valor também apropriado para projetos de microdrenagem (TUCCI, 2009 apud MELO, 2011).

Mesmo que os tempo de retorno e o tempo de duração tenham sido definidos, o calculo das intensidades de precipitação foi realizado adotando-se diferentes tempos de retorno (2, 5 e 10 anos) e tempos de duração de chuva. Esses valores são apresentados no Apêndice 1.

Tabela 6 - Tempo de retorno para projetos de drenagem urbana

Sistema	Característica	Intervalo Tr (anos)	Valor freqüente (anos)
Microdrenagem	Residencial	2 - 5	2
	Comercial	2 - 5	5
	Áreas de prédios públicos	2 - 5	5
	Aeroporto	5 - 10	5
	Áreas comerciais e Avenidas	5 - 10	10
Macro-drenagem		10 - 25	10
Zoneamento de áreas ribeirinhas		5 - 100	100*

(fonte: DEP POA, 2006)

5.2.2 Precipitação Efetiva

A precipitação efetiva, que origina o escoamento superficial direto (ESD), é a parcela da precipitação total que escoar pela superfície da bacia hidrográfica e foi calculada através do modelo para a determinação da precipitação efetiva do SCS (Soil Conservation Service, atual National Resources Conservation Service), desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América.

$$P_{ef} = \frac{(i - I_a)^2}{i - I_a + S} \quad (7)$$

$$I_a = 0,2.S \quad (8)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (9)$$

Onde:

P_{ef} – precipitação efetiva, no instante t, em mm;

i – precipitação total acumulada, no instante t, em mm;

I_a – perdas iniciais na bacia (retenção superficial, infiltração anterior ao início do escoamento), em mm;

S – índice de armazenamento d'água no solo da bacia, em mm;

CN – número de deflúvio do modelo do SCS;

Esse método apenas pode ser utilizado para o dimensionamento dos jardins de chuva apenas quando $i > I_a$, uma vez que, caso isso não ocorra, a precipitação efetiva P_{ef} será nula, uma vez que não existirá escoamento superficial.

O índice S representa a máxima lâmina d'água que pode ser armazenada no solo durante um dado evento chuvoso. O índice I_a representa as perdas iniciais causadas interação da precipitação com a bacia hidrográfica, originalmente, estimadas em 20% do S (PONCE & HAWKINS, 1996 apud GALBETTI, 2015).

O parâmetro CN depende do tipo do solo e representa as condições hidrologia e de uso e ocupação desse solo, bem como o seu estado anterior de umidade. O CN é adimensional e varia entre 0 e 100, sendo $CN=0$ a representação de uma superfície completamente permeável e $CN=100$ a característica de uma cobertura totalmente impermeável. Ou seja, quanto mais elevado for o valor do parâmetro CN , maior será a geração de escoamento superficial. Dessa forma, é através do CN que se determina a precipitação efetiva para então calcular a necessidade de armazenamento dos jardins de chuva projetados.

Segundo o modelo criado pelo SCS, os solos são reunidos em quatro grupos de acordo com sua capacidade de infiltração e conseqüente produção de escoamento. A cada grupo é atribuída uma letra: A, B, C ou D. Segundo Galbetti (2015) e USDA (2004), os quatro grupos são:

Grupo A - solos com elevadas taxas de infiltração e baixo potencial de escoamento mesmo quando completamente úmidos. Consistem, no geral, de areias ou cascalhos, ambos profundos e excessivamente drenados. Sua composição típica é de menos de 10% de argila e mais de 90% de areia ou cascalho, apresentando principalmente a textura desses materiais. A taxa mínima de infiltração é superior a 7,62 mm/h;

Grupo B - solos com média taxa de infiltração quando completamente úmidos. São solos moderadamente profundos ou profundos, bem drenados e apresentam uma textura variando de moderadamente fina a moderadamente grossa. Sua composição típica apresenta entre 10% a 20% de argila e 50% a 90% de areia. Esse grupo engloba solos que apresentam quantidade

maior que 35% de fragmentos de rochas. A taxa de infiltração encontra-se entre 3,81 e 7,62 mm/h;

Grupo C - solos com alto potencial de escoamento quando completamente úmidos. Apresentam textura moderadamente fina e camadas que dificultam a percolação da água. Sua composição típica é de 20% a 40% de argila e menos de 50% de areia. A taxa mínima de infiltração encontra-se entre 1,27 e 3,81 mm/h;

Grupo D - solos que possuem alto potencial de escoamento e taxa de infiltração extremamente baixa quando completamente úmidos. São solos argilosos com alto potencial de expansão, o que faz com que o movimento da água entre as camadas de solo seja restringido. Pertencem a este grupo solos com grande permanência de lençol freático elevado, com argila dura, com camadas de argila próxima da superfície e solos expansivos agindo como materiais impermeabilizantes próximos da superfície. A taxa mínima de infiltração menor é que 1,27 mm/h.

A tabela 7, tirada de Hasenack et al (2008), mostra resumidamente essa classificação dos solos de acordo com suas taxas de infiltração. Percebe-se que, apesar de as taxas de infiltração tidas como limites para a diferenciação entre os solos serem um pouco distintas das taxas definidas por Galbetti (2015) e USDA (2004), ambas abordagens classificam os solos de maneira semelhante.

Tabela 7 - Tempo de retorno para projetos de drenagem urbana

GHS	Características	Capacidade de Infiltração (mm/h)
A	Solos arenosos, profundos e bem drenados	> 7,6
B	Solos arenosos com pouca argila e solo orgânico	Entre 3,8 e 7,6
C	Solos mais argilosos que o GHS B, com baixa permeabilidade	Entre 1,3 e 3,8
D	Solos com mais argilas pesadas, muito impermeáveis	< 1,3

(fonte: Hasenack, 2008)

Com base nos projetos e relatórios fornecidos pela construtora e nas visitas feitas ao local, estabeleceu-se que o solo presente na região do empreendimento é do tipo C, apresentando características argilosas, tendendo à impermeabilidade e com alto potencial de geração de escoamento durante eventos chuvosos.

Quanto às condições de umidade anteriores ao escoamento, o modelo do SCS apresenta 3 classificações (GALBETTI, 2015):

Tipo I – os solos estão secos e as precipitações acumuladas dos últimos 5 dias não ultrapassam 15 mm;

Tipo II – os solos estão em situação média na época de cheias e as precipitações acumuladas dos últimos 5 dias totalizam entre 15 e 40 mm. Essa condição costuma ser utilizada para determinação de hidrogramas de projetos de drenagem urbana;

Tipo III – os solos estão úmidos com precipitações acumuladas dos últimos 5 dias maiores que 40 mm e condições meteorológicas que não favorecem a evaporação.

Os valores de CN para diferentes usos e ocupações do solo para a condição II, que é a condição adotada no presente trabalho, estão presentes em tabelas no Anexo 2.

Segundo Hasenack et al (2008), “embora os valores do parâmetro CN fornecidos em tabelas gerem, na maioria dos casos, bons ajustes de processos chuva-vazão simulados, é importante salientar que, por terem sido baseados em características de solos americanos”. Por esse fato, os valores de CN fornecidos pelo USDA (2004) podem não adequados às bacias brasileiras. Tassi et al. (2006) calcularam o valor do CN a partir de 159 eventos de precipitação em quatro sub-bacias urbanas de Porto Alegre e mostraram que os valores de CN calibrados pelo modelo SCS foram maiores que os valores de CN utilizados no PDDrU (Plano Diretor de Drenagem Urbana) de Porto Alegre. Esses valores encontram-se no Anexo 3.

Para o cálculo dos jardins de chuva foi utilizada a tabela de CN proposta por Tassi et. al (2006) presente no Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre. No presente trabalho foi adotado um CN igual a 98.

5.2.3 Volume de Entrada

O volume de entrada é a quantidade de escoamento superficial direto (ESD) a ser armazenado pelo jardim de chuva. O valor do volume de entrada para cada jardim foi calculado individualmente tendo como base a área de contribuição de cada um, ou seja, área da cobertura impermeável cujo escoamento gerado será captado e armazenado pelo jardim.

$$VE = P_{ef} \cdot A_c \quad (10)$$

Onde:

VE – volume de entrada, em m³;

P_{ef} – precipitação efetiva, no instante t, em mm;

A_c – área de contribuição, em m²;

A Tabela 8 mostra o volume de escoamento que cada um dos 13 jardins de chuva irá receber.

Tabela 8 - Volume de escoamento retido por cada jardim

Zona	Jardim	Área Jardim (m ²)	Área Contribuição (m ²)	Volume de Entrada (m ³)
1	1	30	240,96	16,37
	2	81	650,60	44,19
	3	20	160,64	10,91
2	4	100	830,96	56,45
3	5	20	190,44	12,94
	6	56	533,23	36,22
	7	20	190,44	12,94
	8	47	447,54	30,40
4	9	20	192,79	13,10
	10	52	501,27	34,05
	11	20	192,79	13,10
	12	64	616,94	41,91
5	13	55	371,67	25,25

(fonte: elaborada pela autora)

A Tabela 8 mostra o volume de escoamento que cada um dos 13 jardins de chuva irá receber. A fim de manter uma uniformidade nas camadas dos jardins, as áreas de contribuição foram estabelecidas principalmente de acordo com a área de cada jardim, evitando assim a existência de jardins muito profundos. Além disso, a determinação das áreas de contribuição também respeitou as curvas de nível do terreno uma vez que, para que o método seja de fato efetivo, o escoamento superficial deve sempre ir em direção aos jardins de chuva.

5.2.4 Volume de saída

O volume de saída do jardim de chuva corresponde tanto à quantidade de água que sai e se infiltra no solo logo abaixo da estrutura quanto ao volume de água liberado pelos processos de evaporação e transpiração. Pela dificuldade em se calcular o volume perdido por evapotranspiração e também pela falta de precisão em apurar esse valor, o volume de saída foi considerado apenas como sendo o volume que infiltra no solo. Sua determinação tem como base o modelo empírico de Kostiakov, que estima a infiltração acumulada através da equação:

$$Iac = k \cdot t^n \quad (11)$$

Onde:

Iac – infiltração acumulada, em mm;

t – tempo, em minutos;

k e n – constantes que dependem do solo e de suas características iniciais;

Para o solo em questão, de características argilosas, adotou-se $k=3,8$ e $n=0,8$. Considerando o tempo de duração da chuva de 15 minutos, obteve-se que 13,9 mm são infiltrados por metro quadrado de jardim. Dessa forma, o volume de saída foi calculado da seguinte maneira:

$$Vs = Iac \cdot Ainf \quad (12)$$

Onde:

VS – volume de saída, em m³;

Iac – infiltração acumulada, em mm;

Ainf – área do jardim, em m²;

A tabela 9 apresenta os volumes de saída encontrados para cada jardim.

Tabela 9 - Volume infiltrado por cada jardim durante o evento chuvoso

Zona	Jardim	Área Jardim (m ²)	Área Contribuição (m ²)	Volume de Saída (m ³)
1	1	30	240,96	0,42
	2	81	650,60	1,13
	3	20	160,64	0,28
2	4	100	830,96	1,39
3	5	20	190,44	0,28
	6	56	533,23	0,78
	7	20	190,44	0,28
	8	47	447,54	0,66
4	9	20	192,79	0,28
	10	52	501,27	0,72
	11	20	192,79	0,28
	12	64	616,94	0,89
5	13	55	371,67	0,77

(fonte: elaborada pela autora)

5.2.5 Volume de armazenamento

O volume de armazenamento corresponde ao volume de água mínimo que cada jardim deve ser capaz de armazenar durante a chuva e após o fim desta. Ele é calculado através da seguinte equação:

$$VA = VE - VS \quad (13)$$

Onde:

VA – volume de armazenamento, em m³;

VE – volume de entrada, em m³;

VS – volume de saída, em m³;

A tabela 10 apresenta os volumes de armazenamento encontrados para cada jardim.

Tabela 10 - Volume de armazenamento de cada jardim

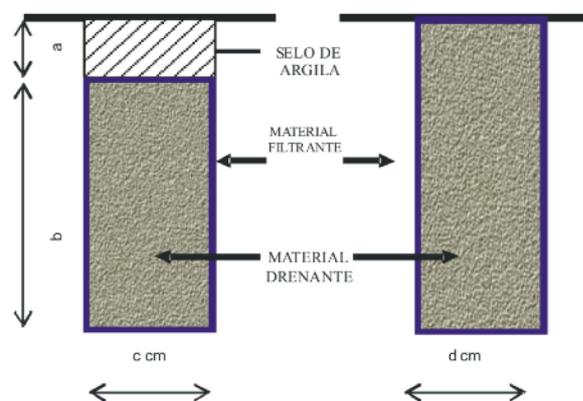
Zona	Jardim	Área Jardim (m ²)	Área Contribuição (m ²)	Volume de Armazenamento (m ³)
1	1	30	240,96	15,95
	2	81	650,60	43,07
	3	20	160,64	10,63
2	4	100	830,96	55,05
3	5	20	190,44	12,66
	6	56	533,23	35,44
	7	20	190,44	12,66
	8	47	447,54	29,75
4	9	20	192,79	12,82
	10	52	501,27	33,33
	11	20	192,79	12,82
	12	64	616,94	41,02
5	13	55	371,67	24,48

(fonte: elaborada pela autora)

5.2.6 Camadas e Materiais

Após a definição dos volumes de armazenamento dos treze jardins de chuva projetados, o passo seguinte foi dimensionar cada uma de suas camadas internas, compostas basicamente por brita e areia. Essa estrutura seguirá o modelo de um dreno cego, que é um “dreno profundo constituído de cava e material de enchimento adequado de forma a possibilitar o fluxo intersticial, desprovido de condutores tubulares” (DNIT 015/2016). A figura 29 representa esse tipo de dreno. As camadas de areia e brita foram determinadas não só para potencializar o movimento da água no sistema, mas também para armazenar as águas infiltradas em caso de chuvas muito intensas ou, caso o solo abaixo da estrutura esteja no estado saturado.

Figura 29 - Perfil de um dreno cego



NOTA: dimensões "a", "b", "c" e "d" conforme orientações do Álbum de Projetos-tipo de Dispositivos de Drenagem ou outras detalhadas no projeto.

(fonte: DNIT, 2006)

Contudo, antes de dimensionar as camadas de brita, areia e analisar a necessidade de instalar uma manta geotêxtil, foi projetado o desnível dos jardins de chuva em relação à superfície. De acordo com o Manual de boas práticas de gestão de águas pluviais da Pensilvânia (PA BMP Manual, 2006), que chama esse desnível de zona de represamento ou alagamento, esse valor deve ser no máximo 15,24 cm, sendo adotado no presente trabalho um valor de 15 cm a fim de facilitar os cálculos e a execução dos jardins de chuva. O manual sugere que esse desnível seja tal que o volume de água armazenado seja infiltrado em até 72 horas. Contudo, pela impossibilidade de se realizarem testes com o solo do empreendimento e tendo em vista que os jardins terão outras camadas inferiores, acredita-se que esse desnível projetado não afetará a eficácia dos jardins.

A Tabela 11 mostra os volumes de água armazenados nas zonas de represamento em cada um dos jardins de chuva projetados.

Tabela 11 - Volume armazenado na zona de desnível do jardim

Zona	Jardim	Área Jardim (m ²)	Volume Desnível (m ³)
1	1	30	4,50
	2	81	12,15
	3	20	3,00
2	4	100	15,00
3	5	20	3,00
	6	56	8,40
	7	20	3,00
	8	47	7,05
4	9	20	3,00
	10	52	7,80
	11	20	3,00
	12	64	9,60
5	13	55	8,25

(fonte: elaborada pela autora)

A camada mais inferior dos jardins de chuva, localizada diretamente sobre o solo natural, será de areia do tipo grossa, com o diâmetro das partículas de 2 mm. Baseado em Davis (1969) e Johnson & Morris (1962) apud Domenico & Schwartz (1998), a porosidade da areia grossa varia entre 31% e 46%. Essa porosidade será utilizada para calcular o volume de água que ficará retida nessa primeira camada através da equação:

$$Vca = B \cdot L \cdot ha \cdot na \quad (14)$$

Onde:

Vca - volume de água contida na camada de areia, em m³;

B e L - dimensões de largura e comprimento da base do dispositivo, em m;

ha - altura da camada de areia, em m;

na - porosidade da areia.

A altura da camada de areia será de 20 cm. A Tabela 12 mostra os volumes de água que serão armazenados nas camadas de areia dos jardins.

Tabela 12 - Volume armazenado na camada de areia

Zona	Jardim	Área Jardim (m ²)	Volume Camada Areia (m ³)
1	1	30	2,34
	2	81	6,32
	3	20	1,56
2	4	100	7,80
3	5	20	1,56
	6	56	4,37
	7	20	1,56
	8	47	3,67
4	9	20	1,56
	10	52	4,06
	11	20	1,56
	12	64	4,99
5	13	55	4,29

(fonte: elaborada pela autora)

Logo acima da camada de areia está localizada a camada de brita, cuja altura foi calculada de acordo com o volume de água que esta deve armazenar através da equação:

$$hb = \frac{Vcb}{B \cdot L \cdot nb} \quad (14)$$

Onde:

hb - altura da camada de brita, em m;

Vcb - volume de água contida na camada de brita, em m³;

B e L - dimensões de largura e comprimento da base do dispositivo, em m;

Nb - porosidade da brita.

A brita utilizada é do tipo 19 e apresenta uma porosidade de 52% (MELO, 2011). A Tabela 13 apresenta os valores do volume e da altura da camada de brita para cada um dos jardins.

Tabela 13 - Volume armazenado na camada de brita e altura de brita necessária

Zona	Jardim	Área Jardim (m ²)	Volume Camada de Brita (m ³)	Altura Camada de Brita (m)
1	1	30	9,11	0,54
	2	81	24,60	0,54
	3	20	6,07	0,54
2	4	100	32,25	0,58
3	5	20	8,10	0,72
	6	56	22,67	0,72
	7	20	8,10	0,72
	8	47	19,03	0,72
4	9	20	8,26	0,74
	10	52	21,47	0,74
	11	20	8,26	0,74
	12	64	26,42	0,74
5	13	55	11,94	0,39

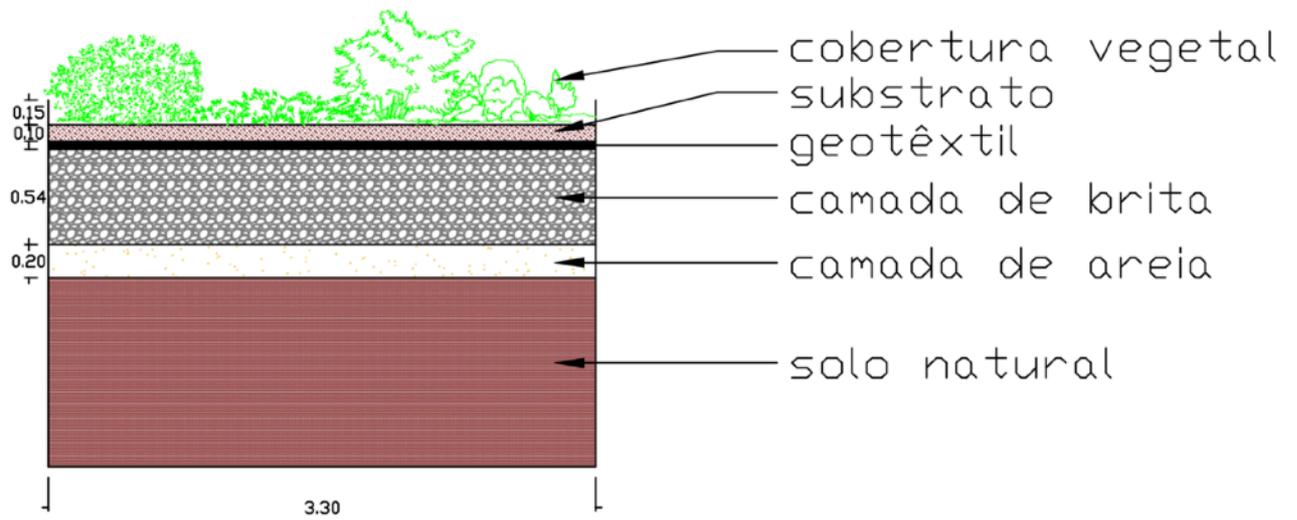
(fonte: elaborada pela autora)

Sobre a camada de brita está localizado o substrato, que conforme o Manual de boas práticas de gestão de águas pluviais da Pensilvânia (PA BMP Manual, 2006), deve ser um solo argiloso capaz de suportar uma cobertura vegetativa saudável, devendo ser alterado com um material orgânico compostado. Um solo orgânico alterado típico é combinado com 20 a 30% de material orgânico (composto) e 70 a 80% de base do solo (preferencialmente solo superficial). Ainda segundo o manual, essa camada de solo deve ter pelo menos 10 cm de altura, valor esse adotado no presente trabalho.

Finalmente, optou-se por instalar uma manta geotêxtil entre o substrato e a camada de brita, a fim de evitar a entrada de partículas finas e elementos contaminantes (SOUZA, 2002).

A Figura 30 mostra o perfil do Jardim de Chuva 1 com cada uma de suas camadas representadas.

Figura 30 - Perfil do jardim 1



(fonte: elaborada pela autora)

6 COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE OS DOIS SISTEMAS

6.1 CUSTOS DE CONSTRUÇÃO

Um estudo com 27 fornecedores de água, conduzido pela organização norte-americana Confiança para Terras Públicas (Trust for Public Land) e pela Associação Americana de Obras Hidráulicas (American Water Works Association), encontrou uma relação entre a cobertura florestal de uma bacia hidrográfica e os custos de tratamento de água e esgoto dessa mesma bacia. De acordo com esse estudo, aproximadamente 50% a 55% da variação nos custos de tratamento de água podem ser explicados pelo percentual de cobertura florestal na área. Os pesquisadores ainda descobriram que, para cada aumento de 10% na cobertura florestal na bacia, os custos de tratamento e produtos químicos diminuíram aproximadamente 20%.

Segundo um artigo publicado pela Agência de Proteção Ambiental do Estados Unidos (US EPA, 2007), os custos de um sistema de drenagem pluvial convencional pode ser reduzido entre 15% e 80% quando no projeto são aplicadas técnicas LID. Deve-se declarar que o uso de técnicas de LID nem sempre pode resultar em custos mais baixos do projeto. Os custos podem ser mais altos devido aos custos de material da planta, preparação do local, alterações do solo, linhas de fundo e conexões com os sistemas municipais de águas pluviais e maior gerenciamento do projeto.

Para fazer o comparativo entre os dois métodos analisados no trabalho (bacia de amortecimento e jardins de chuva), primeiramente foi feita a estimativa total de custos para a execução da bacia de amortecimento e da tubulação de águas pluviais construídas no empreendimento. Ressalta-se que o orçamento apresentado no presente trabalho não necessariamente retrata a realidade, uma vez que não se trata do orçamento oficial elaborado pela construtora. Além disso, as calhas e as tubulações de descida das edificações existentes não foram orçadas, uma vez que essas estruturas ainda se fazem necessárias no sistema de jardins de chuva.

O orçamento para o sistema executado no local encontra-se no anexo xx, no qual podem ser vistos todos os itens levados em consideração para a realização do mesmo. Para esse sistema, estimou-se um gasto total de R\$ 513.468,38, considerando material, mão-de-obra e locação de

veículos e equipamentos. Esse valor não inclui retrabalho ou manutenção. Percebe-se que mais de 70% do custo total para a execução desse sistema é referente à construção da bacia pluvial, sobretudo por conta do grande volume de concreto e armações.

Para o caso dos jardins de chuva, também foi feita uma estimativa de orçamento simplificado considerando os processos de escavação, preenchimento e jardinagem, bem como a mão de obra e a locação de equipamentos. O orçamento detalhado encontra-se no anexo xx, onde podem ser vistos todos os itens levantados.

A construção dos jardins foi orçada em R\$ 78.839,88, um valor quase sete vezes menor que para construir a bacia de amortecimento e toda a tubulação pluvial. Ressalta-se mais uma vez que esses orçamentos não são completamente precisos, mas servem para dar uma noção da economia gerada em substituir o sistema de drenagem pluvial convencional construído no condomínio por um sistema de jardins de chuva.

6.2 CUSTOS DE MANUTENÇÃO

De acordo com um relatório da Agência de Proteção Ambiental do Estados Unidos (US EPA) de 1999, os custos de manutenção de bacias de retenção construídas foram estimados em 3% a 6% dos custos de construção, enquanto os custos de manutenção de áreas de bioretenção foram estimados em 5% a 7% dos custos de construção. No entanto, a manutenção de áreas de biorretenção e valas pode ser realizada como parte da manutenção rotineira da paisagem e não requer equipamentos especializados. A manutenção das bacias, por outro lado, pode envolver equipamentos pesados para remover sedimentos, óleos, lixo e vegetação acumulados.

Diferenças nos requisitos de manutenção também devem ser consideradas na comparação de custos. A Agência de Proteção Ambiental do Estados Unidos (US EPA) identificou várias áreas adicionais que exigirão mais estudos. Benefícios, tais como estética, recreação e valorização dos imóveis não foram monetizados ou levados em consideração no presente projeto. Além disso, são necessárias pesquisas para estimar as reduções de custos que podem ser alcançadas por meio de um melhor desempenho ambiental.

Também são necessárias mais pesquisas para quantificar os benefícios ambientais que podem ser alcançados através do uso de técnicas LID e os custos que podem ser evitados com o uso dessas práticas. Por exemplo, benefícios substanciais a jusante podem ser obtidos através da redução dos fluxos de pico, volumes de descarga e cargas de poluentes descarregados do local.

7 CONCLUSÕES

As soluções tradicionalmente adotadas para os sistemas de drenagem urbana ou visaram o aumento da velocidade dos escoamentos com obras de canalização dos rios, o que acaba transferindo o problema para jusante, ou focaram e captar o escoamento gerado na fonte, fazendo uso de grandes estruturas de contenção. Diante da importância e da necessidade de um desenvolvimento urbano sustentável, sistemas de drenagem de baixo impacto ambiental precisam ser melhor estudadas e exploradas. Dessa forma, foi apresentada nesse artigo uma proposta de manejo de águas pluviais que vai ao encontro das práticas que visam maximizar as superfícies de infiltração a fim de se aproximar das condições de pré-urbanização.

A proposta do trabalho foi dimensionar um conjunto de jardins de chuva, uma estrutura de biorretenção, em um empreendimento residencial a fim de comparar esse sistema sustentável com uma bacia de amortecimento pluvial que foi construído no local. Uma grande vantagem observada na técnica de jardins de chuva está na possibilidade de gerenciar as águas pluviais de maneira integrada às atividades locais, com baixo dano ao ambiente e à saúde da população. Além disso, por ser uma estrutura simples, de fácil construção e manutenção, o sistema ainda apresenta vantagens no sentido financeiro quando comparado à bacia.

Não apenas essas vantagens, o dimensionamento dos jardins de chuva ainda se mostrou bastante flexível, uma vez que essas estruturas de retenção podem ser instaladas em praticamente qualquer área com capacidade de infiltração disponível e pode adotar diversos formatos ou tamanho, dependendo do volume de escoamento a ser retido e infiltrado por cada estrutura. Mesmo que o dimensionamento do sistema de jardins de chuva foi baseado em uma taxa mínima de 10% da área impermeável, valor superior aos 5% proposto por alguns autores (CHRISTENSEN & SCHMIDT, 2008; LI & ZHAO, 2008).

Outro ponto a ser salientado quando se comparam os jardins de chuva a uma bacia de amortecimento é a melhoria na qualidade da água, uma vez que a vegetação presente nos jardins é capaz de reter e eliminar boa parte dos poluentes carregados pelas águas pluviais durante um evento chuvoso.

Dessa forma geral, o jardim de chuva mostra-se como uma excelente alternativa no manejo das águas pluviais urbanas, comprovado pelo seu desempenho hidráulico e hidrológico.

REFERÊNCIAS

- AGRA, S. G. Estudo experimental de micro reservatórios para controle do escoamento superficial. Porto Alegre, 2001. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/3282>>. Acesso em: 16 set.2019.
- BEDAN, Erik S.; CLAUSEN, John C.. Stormwater runoff quality and quantity from traditional and low impact development watersheds. Journal Of The American Water Resources Association, EUA, jul. 2009.
- BRASIL, Ministerio da Integração Nacional de Defesa Civil. Banco de Dados e registros de desastres: sistema integrado de informações sobre desastres – S2ID, 2013
- CANHOLI, A. P. Soluções estruturais não-convencionais em drenagem urbana, 1995. 300p. Tese (doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.
- CHRISTENSEN, D. & SCHMIDT, A. R. (2008) An Approach to Analyze the Hydrologic Effects of Rain Gardens. International Low Impact Development Conference. Seattle, Washington.
- CREDIT VALLEY CONSERVATION (2012). Stormwater Management Criteria. Credit Valley Conservation Authority, Mississauga. 38p.
- CRUZ, M. A. S.; AGRA, S. G. Microrreservatório e chuvas reais. In: SEMINÁRIO DE DRENAGEM URBANA DO MERCOSUL, I; SEMINÁRIO NACIONAL DE DRENAGEM URBANA,V, Porto Alegre, 2001. Soluções para a drenagem urbana em países da América Latina: resumos. Porto Alegre: ABRH, 2001. p.51- 56.
- CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. da. Medidas de controle do escoamento urbano. Controle do escoamento em lotes urbanos com retenção. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. M. Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2000. p.363-382.
- CRUZ, M. S.; TUCCI, C. E. M; SILVEIRA, A. L. L. CONTROLE DO ESCOAMENTO COM DETENÇÃO EM LOTES URBANOS. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 3 n. 4, p. 19-31, out/dez 1998.
- CRUZ, M. A. S.; ARAÚJO, P. R.; SOUZA, V. C. B. Estruturas de controle do escoamento urbano na microdrenagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XIII, Belo Horizonte, 1999. Anais. [S.I.]: ABRH, 1999. 12p.
- DAVIS, Mckenna; NAUMANN, Sandra. Making the Case for Sustainable Urban Drainage Systems as a Nature-Based Solution to Urban Flooding. In: KABISCH, Nadja et al. Nature-based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas: Linkages between Science, Policy and Practice. Alemanha: Springer Open, 2017. p. 123-138.

Defesa Civil - ES. PROCESSOS HIDROLÓGICOS: Inundações, enchentes, enxurradas e alagamentos na geração de áreas de risco. 2017. Disponível em: <<https://defesacivil.es.gov.br/Media/defesacivil/Capacitacao/Material%20Did%C3%A1tico/CBPRG%20-%202017/Processos%20Hidrol%C3%B3gicos.pdf>>. Acesso em: 07 jul. 2019.

Domenico, P.A. and Schwartz, F.W. (1998) Physical and Chemical Hydrogeology. 2 ed. John Wiley & Sons Inc., Nova York.

DORNELLES, Fernando. Aproveitamento de Água de Chuva no Meio Urbano e seu Efeito na Drenagem Pluvial. 2012. 136 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Iph, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

DUNNETT, Nigel; CLAYDEN, Andy. Rain Gardens: Managing water sustainably in the garden and designed landscape. Timber Press, Portland, jan. 2007.

EMBRAPA (Brasil). Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF, 2018.

ESSINGTON, Michael E.. Soil and Water Chemistry: An Integrative Approach, Second Edition. 2. ed. EUA: CRC Press, 2015.

GALBETTI, M. V. Comparação dos modelos hidrológicos presentes no SSD ABC6 aplicados a uma bacia urbana. 2015. 130 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

GALLOWAY, Gerald et al. THE GROWING THREAT OF URBAN FLOODING. EUA: University Of Maryland e Texas A&m University, 2018.

GOERL, R.F.; KOBIYAMA, M. Considerações sobre as Inundações no Brasil. XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa. Anais... Porto Alegre, ABRH, 2005.

HASENACK, Heinrich et al. (Coord.). Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: Geologia, Solos, Drenagem, Vegetação/Ocupação e Paisagem. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008. 84 p.

HESS, Amanda Jean. MONITORING OF EVAPOTRANSPIRATION AND INFILTRATION IN RAIN GARDEN DESIGNS. 2014. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Villanova University, Villanova, 2014.

HOFFMANN, Brigitte et al. Sustainable Urban Drainage Systems: Using rainwater as a resource to create resilient and liveable cities. Copenhagen: State Of Green, 2015.

HOLM, Bobbi A. et al. Stormwater Management: What Stormwater Management Is and Why It Is Important. University of Nebraska–Lincoln Extension, Nebraska, jul. 2014. Disponível em: <<http://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/g2238.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2019.

HOYER, Jacqueline et al. *Water Sensitive Urban Design: Principles and Inspiration for Sustainable Stormwater Management in the City of the Future*. Hamburgo: Hafencity Universität Hamburg, 2011.

HUNT, W. F., HATHAWAY, J. M., WINSTON, R. J., e JADLOCKI, S. J. (2010). Runoff volume reduction by a level spreader–vegetated filter strip system in suburban Charlotte, NC. *Journal of Hydrologic Engineering*. Charlotte, North Carolina.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2011) Sinopse do Censo Demográfico 2010. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 out. 2019.

ISAAC-RICKETTS, Keisha. “A Soil Profile Characterization of a Bioinfiltration BMP. 2008. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Villanova University, Villanova, 2008.

IRGA (Rio Grande do Sul). Médias Climatológicas. Disponível em: <<https://irga.rs.gov.br/medias-climatologicas>>. Acesso em 01 out. 2019.

JENKINS, J., WADZUK, B., WELKER, A. (2010). Fines Accumulation and Distribution in a Storm-Water Rain Garden Nine Years Postconstruction. Dept. of Geography and the Environment, Villanova Univ. Villanova, Pensilvânia.

LI, J. Q. & ZHAO, W. W. (2008) Design and Hydrologic Estimation Method of Multi-purpose Rain Garden: Beijing Case Study. International Low Impact Development Conference. Seattle, Washington.

LIPTAN, Tomas; MURASE, Robert K. *Watergardens as Stormwater Infrastructure in Portland, Oregon*. 2002. Disponível em: <<https://www.portlandoregon.gov/bes/article/41627>>. Acesso em: 21 ago. 2019.

LIPTAN, Thomas W.; SANTEN JUNIOR, J. David. *Sustainable Stormwater Management: A Landscape-Driven Approach to Planning and Design*. Portland: Timber Press, 2017.

LORD, Laura. “Evaluation of Nitrogen Removal and Fate within a Bioinfiltration Stormwater Control Measure. 2013. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Villanova University, Villanova, 2013.

MASCARENAS, F.; MIGUEZ, M.; CAMPOS, R.; D’ALTÉRIO, C. Drenagem urbana na bacia do Rio Trapicheiro, Rio de Janeiro, RJ. In: SEMINÁRIO DE DRENAGEM URBANA DO MERCOSUL, I; SEMINÁRIO NACIONAL DE DRENAGEM URBANA, V, Porto Alegre, 2001. Soluções para a drenagem urbana em países da América Latina: resumos. Porto Alegre: ABRH, 2001. p.111- 116.

MELBOURNE WATER, Melbourne Water- South Eastern Councils. *Water Sensitive Urban Design Guidelines*. Disponível em: <<https://www.melbournewater.com.au/sites/default/files/South-Eastern-councils-WSUD-guidelines.pdf>>. Acesso em 23 jun. 2019.

MELO, Tássia dos Anjos Tenório de. JARDIM DE CHUVA: SISTEMA DE BIORRETENÇÃO COMO TÉCNICA COMPENSATÓRIA NO MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS. 2011. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

MIGUEZ, M.; REZENDE, O.; VERÓL, A. (2015). Drenagem Urbana: Do Projeto Tradicional à Sustentabilidade. Elsevier, Brasil.

NASCIMENTO, N. O. & BAPTISTA, M. B. (2009) Técnicas Compensatórias em Águas Pluviais. In: RIGHETTO, A. M. (coord.). Manejo de Águas Pluviais Urbanas. Rio de Janeiro: ABES. 396p.

O'NEILL, Sara Jane; CAIRNS, Stephanie. New Solutions for Sustainable Stormwater Management in Canada. Toronto: Sustainable Prosperity, 2016.

PARKINSON, J.; MILOGRANA, J.; CAMPOS, L. C. & CAMPOS R. (2003) Drenagem Urbana Sustentável no Brasil, Relatório do Workshop em Goiânia-GO. Patrocinado pelo Department of International Development - DFID, Reino Unido, 2003.

PÉREZ-SÁNCHEZ, Modesto et al. Urban Floods Adaptation and Sustainable Drainage Measures. Fluids - Mdpi. Basel - Suíça, nov. 2017.

PINHEIRO, Karisa. Bases teóricas gerais sobre urbanização no Brasil. Bases Teóricas Gerais Sobre Urbanização no Brasil, Salvador, v. 15, n. 9, p.61-68, jan. 2007.

POMPÊO, Cesar Augusto. DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL. Rbrh - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Florianópolis, v. 5, n. 1, p.15-23, jan/mar. 2000.

PORTO ALEGRE (Município). Constituição (2008). Lei no 10506, de 05 de agosto de 2008. Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas.. Porto Alegre, 05 ago. 2008. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nph-brs?s1=000029949.DOCN.&l=20&u=/netahhtml/sirel/simples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

PRINCE GEORGE'S COUNTY. (2007) Low-Impact Development Hydrologic Analysis. Department of Environmental Resources, Maryland. 45p.

ROCCO, Domenic. (2009). "A Risk-Based Approach for Sizing Stormwater Infiltration BMPs." Watershed Management Program PA DEP Southeast Region. Filadélfia, Pensilvânia.

SABESP (Brasil) (Ed.). Uso Racional da Água. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=137>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

SEMA (Rio Grande do Sul). Processo de Planejamento da Bacia do Rio Gravataí - Identificação e Consolidação das Informações Existentes. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/g010-bacia-hidrografica-do-rio-gravatai>>. Acesso em: 24 set. 2019.

- SHARKEY, Lucas John. THE PERFORMANCE OF BIORETENTION AREAS IN NORTH CAROLINA: A STUDY OF WATER QUALITY, WATER QUANTITY, AND SOIL MEDIA. 2006. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agricultural Engineering, North Carolina State University, Raleigh, 2006.
- SILVA, J. A. da. Direito Urbanístico Brasileiro. 2a ed. rev. At. 2a tiragem. São Paulo MALHEIROS EDITORES, 1997, 421p.
- SOUZA, V. C. B. (2002) Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- SOUZA, Christopher Freire; CRUZ, Marcus Aurélio Soares; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. Rbrh – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p.9-18, maio 2012.
- SUSDRAIN. Disponível em: <<https://www.susdrain.org>>. Acesso em: 03 jun. 2019.
- TASSI, R. Efeito dos microrreservatórios de lote sobre a macrodrenagem urbana, 2002. 142p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.
- Trust for Public Land and American Water Works Association. *Protecting the Source* (San Francisco, CA: Trust for Public Land, 2004).
- TUCCI, C. E. M. Regulamentação da drenagem urbana no Brasil. Rega, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p.29-42, jan. 2016.
- TUCCI, Carlos E. M. Água no meio urbano. In: Água Doce. 1997.
- TUCCI, C. E. M. (2006) Gestão de Águas Pluviais Urbanas. Saneamento para todos, v. 4. Brasília: Ministério das Cidades. 194p.
- TUCCI, C. E. M.; PORTO R. L.; BARROS M. T. Drenagem Urbana. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 1995. ISBN 85-7025- 364-8
- TUCCI, C.E. M. & BERTONI, J. C. Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. ISBN: 85-88686-07-4
- TUCCI, C.E.M. 1993 . Hidrologia. Ed. da Universidade/UFRGS/ABRH. Porto Alegre.
- TUCCI, C. E. M.; ARAÚJO, P. R.& GOLDENFUM, J. A. (2000) Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

UGEDA JUNIOR, José Carlos. Urbanização brasileira, planejamento urbano e planejamento da paisagem. Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2008.

UNIVERSITY OF ARKANSAS, Community Design Center. Low Impact Development a design manual for urban areas. 230p. Little Rock, 2010.

US GLOBAL CHANGE RESEARCH PROGRAM. Climate Science Special Report. 2017. Disponível em: <<https://science2017.globalchange.gov>>. Acesso em: 26 set. 2019.

USDA – United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall. In: National Engineering Handbook. Washington: NRCS, 2004. cap 10.

WOODS BALLARD, B et al. The SuDS Manual. Londres: Ciria, 2015.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. Norma DNIT 015/2006. Drenagem - Drenos Subterrâneos - Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-servicos-es/dnit015_2006_es.pdf>. Acesso em 27 out. 2019.

_____. Departamento de Esgotos Pluviais. Caderno de Encargos do DEP. Porto Alegre, 2004. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?p_secao=77>. Acesso em: 30 mar. 2019.

_____. Departamento de Esgotos Pluviais. Plano Diretor de Drenagem Urbana: manual de drenagem urbana. Porto Alegre, 2005. v. VI. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manualdedrenagem.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2019.

_____. Secretaria de Planejamento Municipal. Decreto n. 15.371, de 17 de novembro de 2006. Regulamenta o controle de drenagem urbana. Porto Alegre, 2006. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nph-brs?s1=000028692.DOCN.&l=20&u=/netahtml/sirel/simples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

_____. Secretaria de Planejamento Municipal. Lei n. 10.506, de 05 de agosto de 2008. Instituiu programa de conservação, uso racional e reaproveitamento de águas. Porto Alegre, 2008a. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nph-brs?s1=000029949.DOCN.&l=20&u=%2Fmetahtml%2Fsirel%2Fsimples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

ANEXO 1 – INTENSIDADES E ALTURAS DE PRECIPITAÇÃO

T (min)	INTENSIDADE (mm/h)			T (h)	ALTURA (mm)		
	TR (anos)				TR (anos)		
	2	5	10		2	5	10
0	118,082	134,614	148,641	0,000	0,000	0,000	0,000
5	91,768	104,616	115,516	0,083	7,647	8,718	9,626
10	75,826	86,441	95,448	0,167	12,638	14,407	15,908
15	65,030	74,135	81,859	0,250	16,258	18,534	20,465
20	57,187	65,193	71,986	0,333	19,062	21,731	23,995
25	51,204	58,372	64,454	0,417	21,335	24,322	26,856
30	46,473	52,979	58,500	0,500	23,237	26,490	29,250
35	42,629	48,598	53,661	0,583	24,867	28,349	31,302
40	39,438	44,959	49,644	0,667	26,292	29,973	33,096
45	36,741	41,885	46,249	0,750	27,556	31,413	34,687
50	34,429	39,249	43,338	0,833	28,690	32,707	36,115
55	32,422	36,961	40,812	0,917	29,720	33,881	37,411
60	30,662	34,954	38,596	1,000	30,662	34,954	38,596
65	29,104	33,179	36,636	1,083	31,530	35,944	39,689
70	27,715	31,595	34,888	1,167	32,334	36,861	40,702
75	26,468	30,173	33,317	1,250	33,085	37,717	41,647
80	25,341	28,889	31,899	1,333	33,788	38,518	42,532
85	24,317	27,721	30,610	1,417	34,449	39,272	43,364
90	23,382	26,656	29,433	1,500	35,074	39,984	44,150
95	22,525	25,679	28,355	1,583	35,665	40,658	44,895
100	21,736	24,779	27,361	1,667	36,227	41,299	45,602

ANEXO 2 – VALORES DE CN PARA DIFERENTES TIPOS DE USO DO SOLO (USDA, 2004)

Cover description	Average percent impervious area ¹	CN for hydrologic soil group			
		A	B	C	D
Fully developed urban areas (vegetation established)					
Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.)					
Poor condition (grass cover < 50%)		68	79	86	89
Fair condition (grass cover 50% to 75%)		49	69	79	84
Good condition (grass cover > 75%)		39	61	74	80
Impervious areas:					
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way).		98	98	98	98
Streets and roads:					
Paved; curbs and storm sewers (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Paved; open ditches (including right-of-way)		83	89	92	93
Gravel (including right-of-way)		76	85	89	91
Dirt (including right-of-way)		72	82	87	89
Western desert urban areas:					
Natural desert landscaping (pervious areas only)		63	77	85	88
Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1- to 2-inch sand or gravel mulch and basin borders)		96	96	96	96
Urban districts:					
Commercial and business	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Residential districts by average lot size:					
1/8 acre or less (town houses)	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
2 acres	12	46	65	77	82
Developing urban areas					
Newly graded areas (pervious areas only no vegetation)		77	86	91	94

¹ The average percent impervious area shown was used to develop the composite CN's. Other assumptions are as follows: impervious areas are directly connected to the drainage system, impervious areas have a CN of 98, and pervious areas are considered equivalent to open space in good hydrologic condition.

**ANEXO 3 – VALORES DE CN PARA BACIAS URBANAS (DEP-POA,
2006)**

Tabela H.1 - Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas

Utilização ou cobertura do solo	A	B	C	D
Zonas cultivadas: sem conservação do solo	72	81	88	91
com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições	68	79	86	89
Baldios em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais: cobertura ruim	45	66	77	83
Cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
com relva de 50 a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios	89	92	94	95
Zonas industriais	81	88	91	93
Zonas residenciais				
lotes de (m2) % média impermeável				
<500 65	77	85	90	92
1000 38	61	75	83	87
1300 30	57	72	81	86
2000 25	54	70	80	85
4000 20	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, Arruamentos e estradas:	98	98	98	98
asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
paralelepípedos	76	85	89	91
Terra	72	82	87	89

ANEXO 4 – ORÇAMENTO DA BACIA DE AMORTECIMENTO PLUVIAL

Obra		3001 - ORÇAMENTO			
Unidade construtiva	4 - HABITAÇÃO				
Tipo de obra	1 - Construção Civil				
Endereço da obra	Porto Alegre/RS				
Versão do orçamento					
BDI	0,00 %	Encargos sociais	0,00 %		
Preços expressos em	RS (REAL)	Preços corrigidos pelo			
Código	Descrição	Un.	Quantidade orçada	Preço unitário	Preço total
01	ORÇAMENTO				513.468,38
01.001	INFRA-ESTRUTURA				
1.001.001	Bacia de detenção				377.215,24
01.001.001.001	Escavação Mec. de valas mat. 1 cat. até 1,5 m	m3	721,8600	20,5843	14.858,98
01.001.001.002	Reaterro de Valas e Compactação	m3	110,0000	15,1281	1.664,09
01.001.001.003	Bota-Fora	m3	611,8600	14,7621	9.032,34
01.001.001.004	Material para Aterro	m3	60,0000	36,3374	2.180,24
01.001.001.005	Lona plástica	m2	420,0000	0,8000	336,00
01.001.001.006	Compensado e Madeira Forma	m2	495,0000	34,0171	16.838,46
01.001.001.007	Armaduras	kg	11.320,0000	4,9306	55.814,39
01.001.001.008	Mão de Obra Corte e Dobra de Aço	kg	11.320,0000	0,4707	5.328,32
01.001.001.009	Lastro de Concreto Magro	m3	8,7100	327,8353	2.855,45
01.001.001.010	Concreto Usinado	m3	282,3000	292,7324	82.638,36
01.001.001.011	Bombeamento de Concreto Estrutural	m3	282,3000	37,7974	10.670,21
01.001.001.012	Mão de Obra (Concreto, Ferro e Forma)	m3	282,3000	619,9022	174.998,39
01.002	REDES				
01.002.001	Rede Pluvial				136.253,14
01.002.001.001	Escavação Mec. de valas mat. 1 cat. até 1,5 m	m3	310,0000	20,5843	6.381,13
01.002.001.002	Reaterro de Valas e Compactação	m3	190,0000	15,1281	2.874,34
01.002.001.003	Bota-Fora	m3	58,0000	14,7621	856,20
01.002.001.005	Tubulações - Rede Pluvial	m	365,0000	26,4032	9.637,17
01.002.001.006	Mão de Obra instalação Tubulações - Rede Pluvial	m	365,0000	22,9593	8.380,14
01.002.001.007	Tubulações de Concreto - Rede Pluvial	m	365,0000	29,7704	10.866,20
01.002.001.008	Mão de Obra instalação Tubulações de Concreto - Rede Pluvial	m	365,0000	37,9062	13.835,76
01.002.001.009	Dreno Pluvial	m	22,0000	36,6426	806,14
01.002.001.010	Caixas de Inspeção	vb	45,0000	818,3140	36.824,13
01.002.001.011	Caixilho para Tampa das Caixas de Rede Pluvial	un	45,0000	631,3819	28.412,19
01.002.001.012	Conexões	vb	1,0000	17.379,7400	17.379,74

ANEXO 5 – ORÇAMENTO DO SISTEMA DE JARDINS DE CHUVA

Obra: 3001 - ORÇAMENTO					
Unidade construtiva: 4 - HABITAÇÃO					
Tipo de obra: 1 - Construção Civil					
Endereço da obra: Porto Alegre/RS					
Versão do orçamento:			Data base:		
BDI: 0,00 %			Encargos sociais: 0,00 %		
Preços expressos em: R\$ (REAL)			Preços corrigidos pelo:		
Código	Descrição	Un.	Quantidade orçada	Preço unitário	Preço total
01	ORÇAMENTO				78.839,88
01.001	INFRA-ESTRUTURA				
1.001.001	Jardim de Chuva				78.839,88
01.001.001.001	Escavação Mec. de valas mat. 1 cat. até 1,5 m	m3	573,1100	20,5843	11.797,07
01.001.001.003	Bota-Fora	m3	573,1100	14,7621	8.460,31
01.001.001.004	Brita	m3	370,0000	51,9000	19.203,00
01.001.001.005	Areia	m3	117,0000	0,8000	93,60
01.001.001.006	Manta Geotêxtil	m2	495,0000	3,4400	1.702,80
1.001.001.007	Solo Orgânico	m3	49,5000	29,0000	1.435,50
1.001.001.008	Vegetação	m2	495,0000	12,6000	6.237,00
1.001.001.009	Mão de Obra Escavação	m3	573,0000	18,7000	10.715,10
01.001.001.010	Mão de Obra Jardinagem	m3	573,0000	33,5000	19.195,50