

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Caroline Bordin Bastos

**IMPLANTAÇÃO DE JARDINS DE CHUVA COMO TÉCNICA
COMPENSATÓRIA AO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA NA
CIDADE DE SANTA MARIA/RS.**

Santa Maria, RS
2021

Caroline Bordin Bastos

**IMPLANTAÇÃO DE JARDINS DE CHUVA COMO TÉCNICA COMPENSATÓRIA
AO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA NA CIDADE DE SANTA MARIA – RS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheira Civil.**

Orientadora: Prof^ª. Me. Priscila Pacheco Mariani

Santa Maria, RS
2021

Caroline Bordin Bastos

**IMPLANTAÇÃO DE JARDINS DE CHUVA COMO TÉCNICA COMPENSATÓRIA
AO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA NA CIDADE DE SANTA MARIA – RS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil, da Universidade
Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como
requisito parcial para obtenção do título de
Engenheira Civil.

Aprovado em 07 de maio de 2021:



Priscila Pacheco Mariani, Me. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Vanessa Sair, Dra. (UFSM)



Marcelo Luis Kronbauer, Me. (UNISC)

Santa Maria, RS
2021

DEDICATÓRIA

À Aida, pelo amor e cuidado incondicional. Não viste este sonho se concretizar, mas esteves comigo em pensamento constantemente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, por sempre me apoiarem e me incentivarem incondicionalmente. Por me aceitarem do jeito que sou e me amarem imensamente acima de tudo.

Às minhas irmãs de coração, por serem meu maior exemplo de vida, pelos ensinamentos e por tornarem tudo isso possível.

Ao Simon, meu amor e parceiro de vida, por aguentar todas as minhas crises durante esse processo, que não foram poucas. Pela paciência e por ser sempre a pessoa que me incentiva e vê o melhor em mim.

Aos meus amigos, pela compreensão da falta de disponibilidade muitas vezes e pelo apoio e amizade de sempre.

À todas as pessoas que, de alguma maneira, contribuíram para este trabalho, fornecendo dados, ideias ou materiais.

Finalmente, à minha orientadora Priscila, por ministrar seu conhecimento e por toda a dedicação em me orientar, pela paciência e compreensão durante um ano difícil e disponibilidade sempre quando precisei.

Tentar dominar a natureza provavelmente fracassará, mas trazer a natureza de volta à forma como as pessoas organizam a sociedade, administram negócios, projetam cidades e até mesmo como vivemos nossas vidas diárias pode nos dar motivos para ter esperança.

(Mark R. Tercek e Jonathan S. Adams)

RESUMO

IMPLANTAÇÃO DE JARDINS DE CHUVA COMO TÉCNICA COMPENSATÓRIA AO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA DDA CIDADE DE SANTA MARIA – RS.

AUTORA: Caroline Bordin Bastos

ORIENTADORA: Prof^a. Me. Priscila Pacheco Mariani

O processo de urbanização não-planejado do município de Santa Maria/RS incitou a alta frequência de alagamentos e inundações em todo o perímetro da cidade. Áreas antes cobertas por solo permeável, passam a ser substituídas por construções e pavimentos impermeáveis, diminuindo a infiltração da água pluvial no solo e fazendo com que o escoamento superficial atinja volumes significativamente maiores. O sistema de drenagem urbana da cidade, portanto, torna-se insuficiente para conter os picos de vazão consequentes. A proposta dos sistemas de biorretenção consiste em compensar as áreas impermeáveis inevitáveis no cenário atual, através de espaços rebaixados constituídos de vegetação e solo poroso, capazes de infiltrar e filtrar o escoamento pluvial. Por este motivo, apresenta-se neste estudo uma análise sobre a proposta de jardins de chuva no bairro Nossa Senhora das Dores, em Santa Maria/RS. Os jardins foram dimensionados para diferentes tempos de retorno, a fim de definir uma melhor viabilidade de projeto. Embora a capacidade de restaurar os regimes pré-urbanização seja limitada, os sistemas de biorretenção dimensionados podem resultar em uma redução média de 16,26% no volume final escoado para a bacia hidrográfica. Sem significativas dissemelhanças entre os tempos de retorno adotados, conclui-se que há uma maior logicidade em optar por 10 anos como período de retorno. Finalmente, os jardins de chuva são uma ótima alternativa como técnicas compensatórias para auxiliar o sistema de drenagem urbana atual no controle de cheias urbanas.

Palavras-chave: Drenagem urbana. Gestão de recursos hídricos. Sistemas de biorretenção. Jardim de chuva.

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF RAIN GARDENS AS A COMPENSATIVE TECHNIQUE TO THE URBAN DRAINAGE SYSTEM OF THE CITY OF SANTA MARIA – RS.

AUTHOR: Caroline Bordin Bastos
ADVISOR: Prof^ª. Me. Priscila Pacheco Mariani

The process of unplanned urbanization in the city of Santa Maria / RS incited the high frequency of floods and inundations throughout the perimeter of the city. Areas previously covered by permeable soil, are replaced by impermeable buildings and pavements, reducing the infiltration of rainwater into the soil and causing the runoff to reach significantly greater volumes. The city's urban drainage system, therefore, becomes insufficient to contain the consequent flow peaks. The purpose of the bio-retention systems is to compensate the inevitable impervious areas in the current scenario, through lowered spaces consisting of vegetation and porous soil, capable of infiltrating and filtering the rain runoff. For this reason, this study presents an analysis of the proposal for rain gardens in the district of Nossa Senhora das Dores, in Santa Maria / RS. The gardens were designed for different return times, in order to define a better project viability. Although the capacity to restore pre-urbanization regimes is limited, the dimensioned bioretention systems can result in an average reduction of 16.26% in the final volume drained to the hydrographic basin. Without significant differences between the adopted return periods, it is concluded that there is a greater logic in opting for 10 years as the return period. Finally, rain gardens are a great alternative as compensatory techniques to assist the current urban drainage system in controlling urban floods.

Keywords: Urban drainage. Hydric resources management. Bioretention systems. Raingarden.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Placa indicando risco, com base na "Carta de inundações de Belo Horizonte" (2009)	18
Figura 2 – Corktown Common Park Toronto	19
Figura 3 – Balanço Hídrico Pré e Pós-Urbanização	21
Figura 4 – Hidrografia da zona urbana de Santa Maria – RS	24
Figura 5 – Mapa de setorização das microbacias hidrográficas do Arroio Cadena, com relação ao grau de intervenção antrópica	26
Figura 6 – Desenho de um jardim de chuva	28
Figura 7 – Camadas internas de um biofiltro	30
Figura 8 – Mapa dos solos pertencentes às bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena	34
Figura 9 – Curvas adimensionais de distribuição temporal para o Brasil	36
Figura 10 – Padrão de distribuição temporal da precipitação proposto por SCS (1986) para 24 horas de duração	37
Figura 11 – Mapa de localização do bairro Nossa Senhora das Dores, Santa Maria/RS	41
Figura 12 – Regiões de implantação dos jardins de chuva	41
Figura 13 – Mapas-satélite a) Região 3 b) Região 1	48
Figura 14 – Redução da vazão de cada região para 10 e 25 anos	52
Figura 15 – Comparativo de valores do CN	52
Figura 16 – Jardins de chuva da região 3	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores do uso do solo da bacia do hidrográfica do Arroio Cancela para as datas selecionadas	22
Tabela 2 – Principais cursos d'água e eixos de drenagem natural	24
Tabela 3 – Índice de impermeabilidade do solo pela classificação visual do bairro Nossa Senhora das Dores	27
Tabela 4 – Componentes essenciais de um sistema de biorretenção e suas funções.....	30
Tabela 5 – Curva-número representativa.....	33
Tabela 6 – Tempo de retorno para projetos de drenagem urbana	35
Tabela 7 – Áreas correspondentes às regiões dos jardins.....	42
Tabela 8 – Áreas correspondentes ao tipo de uso da cobertura por região	46
Tabela 9 – Valores de CN para cada região	47
Tabela 10 – Valores de largura para cada região dos jardins com CN pré-desenvolvimento ..	49
Tabela 11 – Valores de largura para cada região com CN _p ajustado	50
Tabela 12 – Comparação da vazão existente e vazão projetada.....	50
Tabela 13 – Valores de CN _p para tempo de retorno de 25 anos.....	51
Tabela 14 – Áreas dos jardins de chuva da região 3	55

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- α – Armazenamento necessário para manter o volume de escoamento pré-desenvolvimento
A – Área da bacia
A' – Área de retenção
A_j – Área de cada cobertura de solo
A_R – Área total de cada região
AUS – Austrália
BMPs – *Best Management Practices*
C – Coeficiente de escoamento
CA – Canada
CN_C – curva-número correspondente
CN_j – Curva-número de cada cobertura de solo
EUA – Estados Unidos da América
h – Profundidade da bacia
HSG – *Hydrologic Soil Group*
I – Intensidade da chuva
I_t – Intensidade de projeto de precipitação
LID – *Low Impact Development*
PMSB(SM) – Plano Municipal de Saneamento Básico de Santa Maria
Q – Vazão máxima de escoamento
SCS – *Soil Conservation Service*
t – Duração da chuva
TR – Tempo de Retorno
TR – Tempo de retorno
V – Volume da bacia
V' – Volume inicial
WUSD – *Water Urban Systems Design*
x – Porcentagem reduzida pela evapotranspiração.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo Geral	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1.	SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA	17
2.2	A URBANIZAÇÃO E SEUS EFEITOS NO CICLO HIDROLÓGICO	20
2.3	EVOLUÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA NA CIDADE DE SANTA MARIA/RS	21
2.2.1	Estrutura.....	29
2.2.2	Biofiltração	31
2.2.3	Projeto de um jardim de chuva.....	32
2.2.3.1	Método da Curva-número.....	32
2.2.3.2	Estudo do solo	33
2.2.3.3	Distribuição de chuvas.....	35
2.2.3.4	Método Racional de cálculo de vazões máximas de escoamento	37
2.2.4	Exemplos de eficácia de jardins	38
2.2.4.1	Melbourne, Austrália	38
2.2.4.2	Maryland, EUA	39
3	METODOLOGIA	40
3.1	DIAGNÓSTICO DA ÁREA DE ESTUDO	40
3.2	PROJETO DE UM JARDIM DE CHUVA.....	42
3.2.1	Intensidade de projeto de precipitação	43
3.2.2	Dimensionamento da área requerida	43
3.2.3	Volume de armazenamento necessário para o controle de qualidade da água	44
3.2.4	Volume de armazenamento necessário para o controle das vazões de pico.....	45
3.2.5	Vazões máximas	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
4.1	TEMPO DE RETORNO DE 10 ANOS	48
4.2	TEMPO DE RETORNO DE 25 ANOS	51
5	CONCLUSÕES	56
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
	ANEXO A – GRÁFICO DE ARMAZENAMENTO NECESSÁRIO PARA MANTER O VOLUME DE ESCOAMENTO PARA 4 POLEGADAS (centenas de polegadas)	64
	ANEXO B – GRÁFICO DE ARMAZENAMENTO NECESSÁRIO PARA MANTER O VOLUME DE ESCOAMENTO PARA 5 POLEGADAS (centenas de polegadas)	65

ANEXO C – GRÁFICO DE ARMAZENAMENTO NECESSÁRIO PARA MANTER A TAXA DE ESCOAMENTO DE PICO PRÉ- DESENVOLVIMENTO PARA 4 POLEGADAS (centenas de polegadas)	66
ANEXO D – GRÁFICO DE ARMAZENAMENTO NECESSÁRIO PARA MANTER A TAXA DE ESCOAMENTO DE PICO PRÉ- DESENVOLVIMENTO PARA 5 POLEGADAS (centenas de polegadas)	67

1 INTRODUÇÃO

O escoamento de águas pluviais no meio urbano por meio de condutos enterrados foi, por muitas décadas, o método mais empregado para o transporte de recursos hídricos ao redor do mundo. Este sistema, segundo ASCE (1992), tem como filosofia o escoamento da água precipitada o mais rápido possível para fora da área na qual ela foi gerada. Entretanto, esse princípio de transporte foi se tornando inadequado, na medida em que as cidades cresceram, ocasionado apenas a transferência dos problemas de montante para a jusante, gerando inundações nas regiões mais planas das bacias hidrográficas.

Como decorrência do constante crescimento urbano e do conseqüente aumento do escoamento superficial, ocorre um acréscimo significativo nas vazões escoadas máximas, podendo representar seis vezes a vazão de pré-urbanização (SAATKAMP, 2019). Há de se considerar, portanto, que após cada precipitação a água flui por meio de superfícies impermeáveis coletando poluentes, resíduos urbanos, bactérias, produtos químicos, óleos, entre outros. A água carregada de poluentes, por sua vez, entra nos drenos sem tratamento e escoam diretamente para os corpos hídricos.

Em países desenvolvidos, esse cenário se distancia gradativamente da realidade. Cidades como Melbourne (Austrália), ao longo da década de 90, passaram a considerar o escoamento de águas pluviais como um perigo que põe em risco a saúde humana, iniciando reformas em todo o seu sistema de drenagem e dando início ao projeto *Water Sensitive Urban Design* (WSUD). De maneira geral, este projeto visava uma mudança generalizada no manejo dos recursos hídricos, integrando o ciclo urbano da água com o abastecimento pluvial, as águas residuais e subterrâneas em um contexto de gerenciamento amplo. O planejamento de cidades e vilas é então visto como um todo, tratando todos os fluxos de água como um recurso a ser aproveitado e buscando simular o ciclo hídrico da natureza.

Partindo desta premissa, os jardins de chuva têm como pressuposto restaurar os processos naturais, reinserindo a natureza no meio urbano, de modo a possibilitar a infiltração da água precipitada no solo. Para isso, é projetada uma bacia com inclinação e tamanho pré-definidos, a qual é então preenchida de vegetação nativa. Esta bacia coleta o escoamento pluvial, permitindo que a água se infiltre no solo e recarregue os aquíferos subterrâneos (DUNNET & CLAYDEN, 2007). Este método além de reduzir a velocidade da inserção da

água no solo, também filtra sedimentos e poluentes através das camadas de solo componentes do sistema.

No Brasil, apesar de alguns estudos terem investigado os benefícios dos dispositivos de infiltração e de evapotranspiração, existem poucos dados na literatura sobre dispositivos de biorretenção (FERRÃO, 2018). O estado de São Paulo foi o pioneiro da implementação do sistema no país, construindo, no ano de 2020, mais de 20 mil metros de jardim em distritos como Sé, República, Santa Cecília, Bela Vista, Bom Retiro, Cambuci, Consolação e Liberdade.

Municípios como Santa Maria/RS historicamente sofrem com inundações, principalmente nas áreas com menores declividades e altitudes (FERNANDES E MIOLA, 2013). Em uma pesquisa realizada por Reckziegel (2007), é possível identificar que o município possui um histórico de 20 registros de enchentes e enxurradas no período de 1980 a 2005.

Neste contexto, este presente trabalho apresenta ao município de Santa Maria uma maneira sustentável de captação e filtração do escoamento pluvial, como uma alternativa adicional ao método atual utilizado. Os jardins de chuva podem minimizar os danos causados pelos alagamentos na região central da cidade, retardando o fluxo de águas pluviais e inserindo-as de volta ao solo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Este estudo tem por objetivo avaliar a possibilidade de implantação de um sistema de jardim de chuva, desenvolvido para dar suporte ao sistema de drenagem urbana do município de Santa Maria/RS para o controle do escoamento superficial.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Apresentar ao município de Santa Maria/RS as vantagens da implantação de sistemas de jardins de chuva;
- Dimensionar o sistema para pontos suscetíveis à inundação na área urbana;
- Quantificar a redução de vazão na saída da bacia, gerada pela implantação dos jardins de chuva.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

Os sistemas clássicos de drenagem urbana empregados nas cidades brasileiras estão centrados no princípio do rápido escoamento das águas pluviais. Estes sistemas são compostos por instalações e estruturas de engenharia projetadas para a retenção, o transporte e a disposição final das águas pluviais, visando minimizar os riscos e diminuir os prejuízos causados por inundações. Todavia, como resultado deste sistema, têm-se o aumento do volume de escoamento, a diminuição do tempo de concentração e maior transporte de poluentes (TUCCI, 2003; DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION, 2006).

Uma alternativa para solução desses problemas de drenagem urbana é a implantação de técnicas compensatórias, que tem por objetivo restabelecer as condições naturais do solo, aumentando os processos de infiltração e reduzindo o escoamento superficial. Atualmente, as medidas existentes podem ser classificadas em medidas estruturais e não estruturais.

. As medidas estruturais em um sistema de drenagem urbana podem ser definidas como obras de engenharia projetadas para modificar o curso da água, de modo a reduzir o risco de enchentes através de obras de contenção, retenção ou melhor condução dos escoamentos (CANHOLI, 2014). Estas medidas são então constituídas pelos sistemas de microdrenagem e macrodrenagem.

O sistema de microdrenagem urbana compreende o conjunto de medidas estruturais relacionadas ao afastamento de águas pluviais de lotes e vias públicas, define-se o sistema de microdrenagem urbana. Segundo Gribbin (2014), a microdrenagem é a parte do sistema que inicia nos limites dos lotes e das edificações, o qual recebe as instalações prediais de coleta de águas pluviais, prossegue no escoamento das sarjetas e é coletado pelas bocas de lobo, que direcionam essas águas para as galerias pluviais. Deste modo, neste sistema é possível levar em conta os aspectos mais pontuais de todo o sistema de drenagem, como velocidade de escoamento, seções para escoamento das águas, sedimentos acumulados, e outros, antes do fluxo pluvial chegar ao sistema de macrodrenagem.

Os principais componentes do sistema de microdrenagem são as bocas de lobo, os tubos de ligação e as galerias pluviais; podendo ainda estarem presentes no sistema os poços de visita,

as sarjetas, os sarjetões, os condutos forçados e as estações de bombeamento (NUNES & CARARA, 2017).

Após a canalização por meio dos subsistemas da microdrenagem, as águas pluviais escoam rumo às estruturas de maior dimensão, as quais são conhecidas como o conjunto de macrodrenagem. Este conjunto é responsável pelo curso final das águas, realizado por meio de canais artificiais/naturais ou galerias de grandes dimensões; em alguns casos, a água é conduzida para estruturas de retenção (CANHOLI, 2014).

Um planejamento eficiente de macrodrenagem é, portanto, imprescindível para um bom desenvolvimento urbano. Segundo Fadel e Neto (2016), em áreas já urbanizadas, o mau funcionamento desse sistema é a principal causa das inundações e dos altos custos das galerias de águas pluviais. Quando não há planejamento desse sistema, o escoamento se dá por meio de depressões e pelos canais naturais de forma desordenada, gerando grandes riscos para as propriedades e para a vida humana.

A outra abordagem para o controle de cheias urbanas consiste nas chamadas soluções não estruturais (ações indiretas) que são ferramentas, de modo geral, institucionais, como o zoneamento urbano. Visam propor medidas que, indiretamente contribuem com a redução das vazões a serem drenadas. Fazem parte também, medidas de alerta e que auxiliam a população a conviver com cheias. No Brasil, Belo Horizonte tem sido uma das pioneiras nesta abordagem, informando a população sobre a possibilidade de ocorrência de inundação em certas áreas da cidade (Figura 1) (CZOBI, 2011; SOUZA, 2013).

Figura 1 – Placa indicando risco, com base na "Carta de inundações de Belo Horizonte" (2009)



Fonte: SOUZA (2013).

Segundo Canholi (2014), as ações não estruturais procuram disciplinar a ocupação territorial, o comportamento de consumo das pessoas e as atividades econômicas. O autor afirma que é possível estabelecer um zoneamento por meio das áreas sujeitas a inundações em função do risco e, assim, implantar uma regulamentação adequada para a construção; ou ainda, para eventuais obras de proteção individuais a serem incluídas nas construções existentes.

Dentre estas medidas não-estruturais, também é possível realizar a ocupação de regiões de alto risco de enchente prevendo o uso alternativo dessa área em situações em que ela não estiver inundada. É o caso do Corktown Common Park em Toronto, CA (Figura 2). O parque é uma área em uma planície de inundação que exigiu extensa remediação local e proteção contra inundações, antes que qualquer desenvolvimento pudesse ocorrer. Abaixo da superfície do parque, encontra-se uma estrutura de argila de 4 metros de altura, remodelando a planície. A estrutura, juntamente com a flora nativa de Ontario, protege as *West Don Lands* de potenciais inundações, desviando as águas das enchentes em direção ao lago (ZHANG, 2014).

Figura 2 – Corktown Common Park Toronto



Fonte: traduzido de <<https://www.asla.org>>.

2.2 A URBANIZAÇÃO E SEUS EFEITOS NO CICLO HIDROLÓGICO

Em meados do século XVIII, a Europa enfrentava um período de desenvolvimento tecnológico e industrial que, mais tarde, se espalharia pelo mundo e transformaria todo o sistema de produção. Este período, denominado Revolução Industrial, causou a modernização da sociedade como um todo e, assim, incentivou a transformação de espaços rurais em urbanos. Desde então, a urbanização extraordinária introduziu superfícies impermeáveis, como telhados e estradas, e gerou mudanças topográficas através da alteração, compactação e nivelamento do solo (HESS, 2014; SAATKAMP, 2019).

A água que antes infiltrava e o volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido nas plantas, pelos efeitos da urbanização, passa a escoar através de superfícies impermeáveis, condutos e canais, exigindo maior capacidade de escoamento (TUCCI, 2006).

O autor ainda destaca que estes impactos não só interferem no balanço hídrico, diminuindo as taxas de infiltração e aumentando o escoamento superficial; como também geram caos social, devido a ocorrência de alagamentos, cheias e inundações nas áreas urbanas.

Como solução para os efeitos da urbanização, projetos de desvio da água pluvial iniciaram-se, com o intuito de dirigir rapidamente a água para longe da área urbana, a fim de proteger a vida útil da estrutura e garantir a segurança pública. De maneira simplificada, o problema foi apenas calcular vazões e dimensionar o sistema de transporte da água. A partir daí, o fluxo segue para os canais de esgoto e é descarregado em cursos d'água mais próximos (SOUZA, 2013; HESS, 2014).

A canalização do escoamento e a impermeabilização do solo tiveram como efeito o aumento significativo das vazões máximas. Quanto menor o tempo de concentração, maior o pico de vazão a jusante (CANHOLI, 2014). Segundo Tucci (2003) o aumento relativo das vazões pode ser superior a seis vezes com relação à situação pré-desenvolvimento, fato decorrente da redução da evapotranspiração e do escoamento subterrâneo, bem como a redução do tempo de concentração da bacia (Figura 3).

Figura 3 – Balanço Hídrico Pré e Pós-Urbanização



Fonte: traduzido de MASI (2011).

Para Tucci (1997), à medida que a cidade se urbaniza e o solo consequentemente se impermeabiliza, ocorrem os seguintes impactos:

- Redução da infiltração no solo: o volume que deixa de infiltrar fica na superfície, aumentando o escoamento superficial. Isto também provoca a diminuição do nível do lençol freático por falta de alimentação.
- Redução do tempo de deslocamento: escoamento superficial torna-se mais rápido devido à construção de condutos pluviais. Desta forma, as vazões máximas também aumentam, antecipando seus picos no tempo;
- Redução da evapotranspiração: a substituição da cobertura natural por pavimentos impermeáveis não permite a evapotranspiração das folhagens e do solo.

2.3 EVOLUÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA NA CIDADE DE SANTA MARIA/RS

O Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Santa Maria (2020) destaca que a urbanização da cidade provocou a adaptação da rede de drenagem ao processo de crescimento, em oposição à modelagem correta, que deveria se adaptar às condições naturais de drenagem do terreno.

De fato, com início nas áreas mais elevadas da cidade, o processo de urbanização e desenvolvimento de Santa Maria/RS foi responsável por modificar intensamente a topografia do local e substituir a vegetação por pavimentações, impermeabilizando grande parte do solo naturalmente drenante. A partir daí, o processo avançou até atingir as áreas mais baixas, que seriam consideradas de baixo valor econômico, porém alto valor ambiental (PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA, 2020).

Ao longo da história da cidade, diversas mudanças no cenário local foram ocorrendo. Nos últimos 30 anos, entretanto, a pressão sobre o ambiente natural tornou-se mais intensa, com o aumento significativo da ocupação das áreas ribeirinhas e a incorporação de novas áreas ao espaço urbano. O processo de ocupação desordenada gerou sérios problemas no sistema de drenagem urbana da cidade, especialmente em razão da redução da infiltração da água no solo, que aumentou o escoamento superficial e, por consequência, elevou as ocorrências de alagamentos e de inundações urbanas. (OLIVEIRA et al., 2006; REIS, 2011).

Em 2005, Garcia e Paiva apresentaram um estudo de monitoramento hidrológico da Bacia do Arroio Cancela, Santa Maria/RS e enfatizaram o alto nível de urbanização observado na bacia. Segundo os autores, a área urbana apresentou um crescimento de 17% durante o período de 1980 a 2004, o que gerou um aumento significativo das áreas impermeáveis (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores do uso do solo da bacia do hidrográfica do Arroio Cancela para as datas selecionadas

Data	Vegetação Arbórea (%)	Campo (%)	Urbano (%)	Área Impermeável (%)
1980	17,6	43,4	39,0	11,0
1992	23,0	29,4	47,6	19,0
2004	26,9	17,2	55,9	34,6

Fonte: GARCIA e PAIVA (2006).

De acordo com a Prefeitura Municipal de Santa Maria (2020), em 1979 a cidade teve sua primeira grande ação efetivada em relação ao transporte de águas pluviais, quando a empresa Magna Engenharia LTDA ganhou a concorrência para a elaboração da proposta

técnica para a execução do Programa CURA em Santa Maria. O projeto visava melhorar a qualidade dos serviços urbanos, e, assim, foi criado o primeiro Plano do Sistema de Esgotos Pluviais da cidade. Este projeto permaneceu em vigor até o ano de 1985, quando o crescimento urbano exponencial se tornou significativamente superior ao planejado.

Outra obra de grande importância que vale destacar foi a execução da drenagem e retificação do Arroio Cadena. Realizada na década de 80 e também projetada pela empresa Magna Engenharia LTDA, a obra teve êxito em reduzir substancialmente as inundações na parte baixa da cidade.

Atualmente, o manejo das águas pluviais do município é legislado de acordo com o plano diretor de desenvolvimento territorial de Santa Maria/RS.

O plano diretor de desenvolvimento territorial de Santa Maria/RS, através da Subseção II, aponta os objetivos relacionados ao manejo dos recursos hídricos, citando a importância do desenvolvimento de novas políticas sustentáveis de aproveitamento pluvial, de modo que seja assegurada a proteção e a recuperação dos mananciais que abastecem o município. Em complemento, o plano incentiva a implementação de sistemas de drenagem na área urbana adicionais ao sistema atual, capazes de ampliar a capacidade de infiltração e reduzir a possibilidade de alagamentos, enchentes e inundações.

O plano destaca, sobretudo, a necessidade de garantia do direito da população às condições básicas de armazenamento, regularização, disponibilização e conservação dos recursos hídricos. Atualmente, a cidade de Santa Maria/RS apresenta inúmeras falhas no seu sistema de drenagem em geral, sendo inexistente em diversas porções da cidade e colocando em risco a saúde da população e dos corpos hídricos circundantes.

A cidade de Santa Maria/RS tem grande parte de seu território envolto por nascentes. Estes cursos de água são localizados em sua grande maioria dentro da bacia do Arroio Cadena, sendo este o seu principal rio. O Arroio Cadena nasce e se desenvolve dentro da área urbana da cidade, porém sua rede de drenagem encontra-se bastante modificada, tendo em vista o desvio e a canalização do leito original. Em contribuição ao Cadena, o Arroio Cancela também é de grande importância para o município, uma vez que possui diversas sub-bacias que percorrem o perímetro urbano (REIS, 2011; WOLFF et al., 2016). Na Figura 4 é possível observar a grande densidade de cursos d'água que servem de eixos contribuintes de drenagem das águas pluviais na cidade.

Figura 4 – Hidrografia da zona urbana de Santa Maria – RS



Fonte: Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Santa Maria (2020).

Em complemento aos principais arroios, o município conta ainda com o Arroio Ferreira, a Sanga da Aldeia, a sanga do Hospital e o Rio Vacacaí-Mirim, de extensões demonstradas na Tabela 2. Os arroios e sangas da cidade englobam a maior parte da rede de macrodrenagem, havendo ainda canais artificiais adicionais em algumas regiões (SANTA MARIA, 2020).

Tabela 2 – Principais cursos d'água e eixos de drenagem natural

Cursos d'água	Extensão (m)
Arroio Cadena	21.230
Arroio Cancela	5.762
Arroio Ferreira	18.179
Sanga da Aldeia	23.974
Sanga do Hospital	2.703
Rio Vacacaí Mirim	80.000

Fonte: Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Santa Maria (2020).

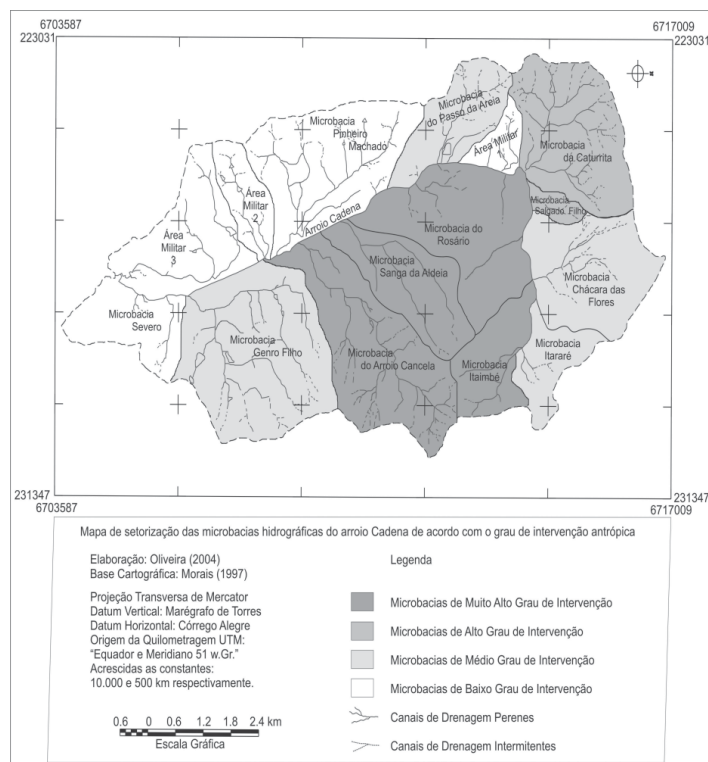
Compreendendo o sistema de microdrenagem da cidade, as tubulações existentes são limitadas, estando presentes apenas nas regiões mais baixas. A grande maioria do escoamento pluvial é conduzido diretamente pelas sarjetas, o que resulta em uma progressiva degradação do pavimento e eventuais transtornos para a população em geral (SANTA MARIA, 2020). A alteração da qualidade da água é também um problema associado ao escoamento superficial da água no perímetro urbano, uma vez que os poluentes presentes na atmosfera e sobre as superfícies urbanas são carregados junto ao escoamento pluvial (FERRÃO, 2018).

A ocorrência de áreas de risco é reconhecida em diversas áreas do município, mas é junto a bacia hidrográfica do Arroio Cadena que ocorrem os maiores problemas. Além dos riscos do próprio arroio, o exutório da bacia situa-se muito próximo dos exutórios das bacias do Arroio Picadinha e Passo das Tropas, o que resulta no somatório das águas em época de cheias (CRISTO et al., 2000; FERNANDES, 2016).

Composta por 15 microbacias hidrográficas, a bacia do Arroio Cadena abrange uma área de mais de 6.000 hectares, compreendendo a maior parte da zona urbana do município. Destas 15 microbacias, 11 delas encontram-se em área urbana e as demais são localizadas em áreas agropecuárias. A área correspondente à estas sub-bacias foi, ao longo dos anos, a mais atingida pela intervenção humana (Figura 5). Dentre elas, estão as microbacias dos arroios Cancela, Sanga da Aldeira (ou Sanga do Hospital), Itambé e do Rosário, localizadas na área central da cidade (OLIVEIRA et al., 2006). O canal principal do arroio Cadena passa por 13 bairros na cidade de Santa Maria/RS, sendo considerado o eixo de drenagem mais importante da cidade (FERRARI, 2018).

A bacia hidrográfica do Arroio Cadena é formada por solos do tipo planossolos e litossolos, apresentando fragilidade ambiental alta e média, respectivamente. Esta fragilidade corresponde à susceptibilidade do meio de sofrer alterações, causadas por processos naturais ou intervenção antrópica. Quanto à declividade da bacia, a área em questão é considerada relativamente plana, o que pode propiciar a ocupação de áreas ribeirinhas (SCHIAVO et al., 2016). Durante períodos extremos de chuva, o leito fluvial utiliza a zona circundante como passagem. Devido à ocupação destas áreas, a capacidade de escoamento do rio é substancialmente reduzida e os danos causados no local são evidentes (PORTO ALEGRE, 2005).

Figura 5 – Mapa de setorização das microbacias hidrográficas do Arroio Cadena, com relação ao grau de intervenção antrópica



Fonte: OLIVEIRA et al. (2006).

Fernandes (2016) realizou um estudo a partir da Modelagem Digital de Terreno (MDT) onde é apresentado um mapeamento de áreas suscetíveis à inundação em Santa Maria. A autora mostra uma baixa capacidade de drenagem na área da sub-bacia do Arroio Cadena, o que faz com que o escoamento contribuinte da bacia leve um maior tempo para chegar à jusante e gera, consequentemente, o aumento de volume de água em suas sub-bacias. O grau de suscetibilidade à inundação calculado pela autora na bacia chega a 59%, sendo considerado de risco médio a altíssimo.

Os múltiplos bairros que a sub-bacia do Arroio Cadena abrange são afetados por esse alto índice de impermeabilidade, com ênfase na região central da cidade. Reis (2011) estimou a área impermeável de 16 bairros localizados no perímetro da sub-bacia através de sistemas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. O autor destacou o bairro Nossa Senhora das Dores, com porcentagem de área impermeável na classificação visual de 87,25%, evidenciando a demasiada redução da vegetação natural (Tabela 3).

Tabela 3 – Índice de impermeabilidade do solo pela classificação visual do bairro Nossa Senhora das Dores

Uso do solo	Área (ha)	Porcentagem
Vegetação	8,08	10,90
Solo exposto	1,37	1,85
Área pública	11,59	15,65
Área privada	53,01	71,60
Total	74,05	100

Fonte: REIS (2011).

2.4 JARDIM DE CHUVA

Ao longo dos anos, o conceito higienista de drenagem urbana, ou seja, o sistema de captação e condução rápida do escoamento pluvial se tornou insuficiente no controle das cheias urbanas. Foi assim que o conceito de drenagem sustentável começou a ser estudado e implantado nas cidades modernas. A nova abordagem das ações baseada no ciclo da água na natureza deu origem aos sistemas de biorretenção (BATTEMARCO et al., 2018).

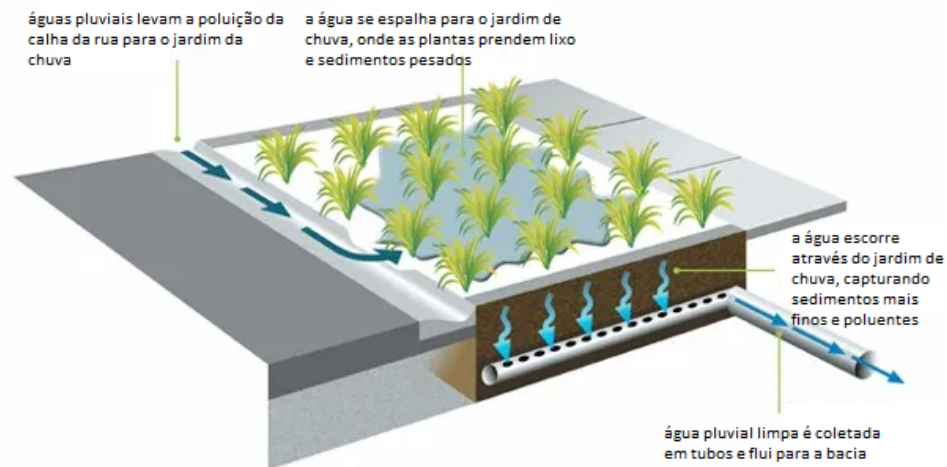
Prince George's County (2007) descreve a biorretenção como um princípio de controle da quantidade e da qualidade da água, utilizando dos princípios da vegetação como meio de infiltração e remoção de poluentes da chuva. Esta prática de uso de sistemas biológicos é capaz de sedimentar, adsorver, filtrar, volatizar, decompor, realizar troca iônica, fitorremediar, biorremediar e armazenar a água. A água agora limpa é escoada para o lençol freático ou conduzida por meio de tubos ou canais para sistemas de drenagem a jusante.

Além dos processos citados, a prática da biorretenção também ajuda no gerenciamento das mudanças na hidrologia causadas pela urbanização. Isso acontece devido à lenta infiltração da água pelo meio filtrante do sistema, diminuindo a taxa de descarga da chuva para o ambiente receptor e reduzindo o volume por meio da evapotranspiração. Desta maneira, é possível simular alguns aspectos hidrológicos pré-desenvolvimento. O planejamento estratégico e distribuído ao longo das áreas urbanas resulta em sub-bacias hidrográficas menores e, conseqüentemente, um maior controle do escoamento na fonte (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2007).

Os jardins de chuva são os sistemas de biorretenção mais conhecidos. Valorizam a desconexão de áreas impermeáveis, dirigindo as águas para si, de forma a contribuir no manejo das águas pluviais em meio urbano e a proporcionar benefícios ambientais, ecológicos, paisagísticos e econômicos (MELO et al., 2014).

Um jardim de chuva pode ser definido como uma bacia levemente inclinada com determinada vegetação, variando de acordo com o tamanho da bacia, o clima e a área geográfica. De baixo investimento e fácil manutenção, o sistema permite o armazenamento da água pluvial temporariamente, sendo lentamente infiltrada no solo ou direcionada para a atmosfera através da evaporação. Desta maneira, é possível reproduzir o ciclo natural de escoamento e filtração da água, reduzindo o seu volume e protegendo a qualidade das águas subterrâneas (Figura 6) (LI E ZHAO, 2008; HESS, 2014; SAATKAMP, 2019).

Figura 6 – Desenho de um jardim de chuva



Fonte: traduzido de <<http://www.urbangardensweb.com>>.

De acordo com Dourado et al. (2020), o sistema tem como processos principais:

- a retenção: armazenamento da água na superfície, permitindo à volta da água no ciclo hidrológico por meio da infiltração e evapotranspiração;
- a infiltração: a água retida retorna ao solo, recarregando os lençóis freáticos e aquíferos;

- a filtração: a passagem de água pelas camadas do sistema permite a remoção de seus poluentes quase que em sua totalidade.

Para Emanuel et al. (2009), os jardins de chuva mantêm as bacias hidrográficas saudáveis, uma vez que filtra os contaminantes antes que possam poluir os corpos hídricos, reduz a ocorrência de alagamentos através da retenção e infiltração e proporciona um habitat benéfico circundante.

2.2.1 Estrutura

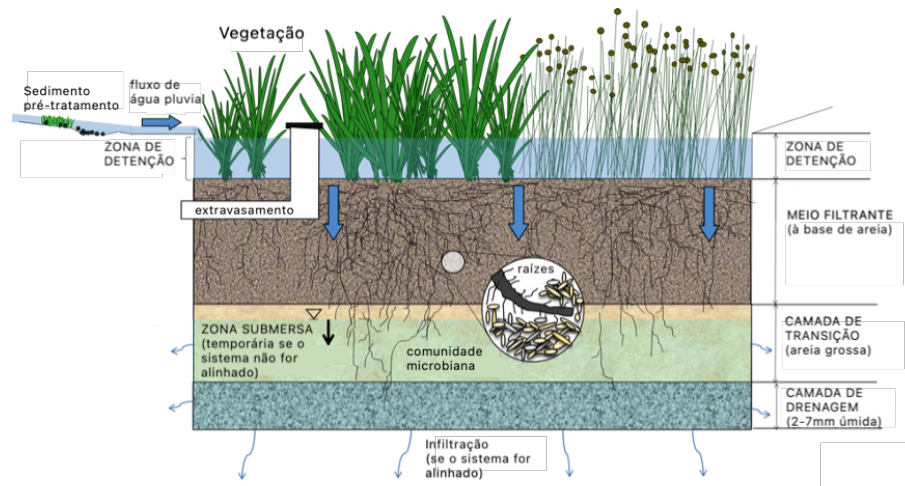
Em geral, a estrutura de um jardim de chuva é projetada de acordo com as condições ambientais do local selecionado. Devido à sua grande flexibilidade e facilidade de construção, é possível utilizar o método tanto em regiões com maior necessidade de escoamento, ou até mesmo em quintais residenciais. O sistema também pode ser associado a outros métodos de gerenciamento estrutural, como estacionamentos com pavimento permeável, valas de infiltração, bem como BMPs de águas pluviais não estruturais (DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION, 2006; SAATKAMP, 2019). Deve-se atentar, entretanto, para áreas de contribuição muito grandes, uma vez que um alto índice pluviométrico pode sobrecarregar a estrutura, estando sujeito ao processo de colmatação ao longo do tempo e impossibilitando o seu funcionamento adequado (OLIVEIRA et al., 2020).

Construído através de um conjunto de camadas, o sistema de biorretenção em questão possui uma ampla gama de processos químicos, físicos e biológicos atuantes (Figura 7). A vegetação, o meio filtrante e a comunidade microbiana desempenham papéis fundamentais na remoção de poluentes, pois a água da chuva entra no sistema e infiltra-se através do meio. Essas camadas compreendem o sistema básico do biofiltro, podendo ser adicionadas camadas complementares de acordo com a necessidade do local. Alguns de seus componentes, portanto, exercem funções chave para o seu desempenho funcional (Tabela 4) (PAYNE et al., 2015; DOURADO & MENDES, 2020).

No jardim, o componente chave para o tratamento da água não é a própria vegetação, mas o solo em si e os microrganismos presentes. As plantas, entretanto, desenvolvem a função de suporte, aumentando a permeabilidade do solo e criando habitats para os microrganismos na superfície de suas raízes. Embora o uso de plantas nativas da região seja fortemente recomendado devido às questões ecológicas, não há nenhum estudo que considere espécies de

plantas melhores que outras no quesito de funcionalidade do jardim (KENNEDY, 1997; DUNNETT e CLAUDEN, 2007).

Figura 7 – Camadas internas de um biofiltro



Fonte: PAYNE et al. (2015).

Tabela 4 – Componentes essenciais de um sistema de biorretenção e suas funções

(continua)

Componentes essenciais	Função
Entrada	Entrega a água pluvial no biofiltro.
Extravasador	Permite que altos fluxos sejam desviados para evitar danos ao sistema.
Zona de detenção	Aumenta a capacidade de tratamento permitindo que a água acumule antes da infiltração.
Vegetação	Desempenha várias funções no tratamento da água por meio de absorção, transformação em formas orgânicas, fornecimento de carbono para micróbios, transpiração que reduz o volume de água pluvial, estabilização da superfície.
Meio filtrante	Fornece a filtração física de partículas, processos físico-químicos de remoção de poluentes como a adsorção, fixação, precipitação. Também facilita o crescimento da vegetação, o que atenua a infiltração da água e reduz a magnitude do hidrograma da vazão.

Camada de transição	Areia grossa – fornece uma camada de ligação para evitar a migração de partículas finas do meio filtrante superior para a camada de drenagem.
Camada de drenagem	Cascalho – permite que o sistema drene, seja para um tubo de coleta e ponto de saída, ou infiltre nos solos circundantes. Também fornece maior porosidade para armazenar temporariamente águas pluviais dentro dos poros.
Desalinhamento	Permite a infiltração nos solos circundantes, seja para todo ou parte do sistema.
Pré-tratamento	Coleta sedimentos grossos e lixo, ajudando a proteger o próprio biofiltro de entupimentos e bloqueios prematuros e facilitando a manutenção.

Fonte: PAYNE et al. (2015).

A composição do solo, entretanto, é essencial para um melhor desempenho na remoção de contaminantes da água. Estudos demonstraram que a mistura areia (61%), silte (16%) e argila (23%) compõem o melhor tipo de solo para a redução geral de poluentes. O manual BMP da Pennsylvania recomenda o solo composto principalmente de areia com uma camada não superior a 10% de argila, permitindo que a água escoe mais rapidamente e remova uma maior quantidade de nutrientes. A taxa de infiltração do solo é geralmente maior em solos que apresentam menor percentual de textura fina, portanto em projetos dependentes de infiltração, recomenda-se uma menor porcentagem de silte e argila. Os solos com maior proporção de argila tendem a reter água por mais tempo, favorecendo a redução da velocidade do escoamento (HESS, 2014).

2.2.2 Biofiltração

Não é de hoje o conhecimento de que o solo e a vegetação são capazes de filtrar a água poluída. Pântanos naturais tratam muitos tipos de contaminação da água, incluindo matéria orgânica (como dejetos animais ou derramamento de óleo) e substâncias inorgânicas, podendo incluir metais pesados tóxicos ou nutrientes. Em áreas urbanas, o escoamento pluvial tende a ter picos de vazão máxima e cargas poluentes significativamente elevados. O aumento de quantidade de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, é gerado através da alteração do

ecossistema local, o que prejudica substancialmente a saúde das águas receptoras (DUNNETT e CLAYDEN, 2007; PAYNE et al., 2015).

Os sistemas de biorretenção têm como uma de suas funções principais remover os contaminantes das águas pluviais. O meio filtrante de areia e argila densa são capazes de captar os poluentes por filtração, adsorção e processamento biológico dos microorganismos presentes no solo e nas plantas. Em sequência, a água é escoada para os lençóis freáticos ou para os sistemas de drenagem projetados (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2007).

Um experimento realizado por Davis et al. (2006) mostrou expressiva redução de nitrogênio (TKN) e fósforo (P) pela biorretenção através de uma simulação do sistema em duas caixas: uma pequena (107 cm de comprimento por 76 cm de largura, com uma profundidade de 61 cm, mais uma borda livre de 15 cm) e uma caixa grande (305 cm de comprimento por 152 cm de largura e uma profundidade de 91 cm, mais uma borda livre de 15 cm). Cada caixa foi composta de solo franco-arenoso com cobertura de 2,5 cm de adubo, e os tubos utilizados nos modelos foram de policloreto de vinila (PVC) com duas profundidades na caixa pequena (18 e 61 cm) e três na caixa grande (25, 56 e 91 cm). Mudanças de zimbro rasteiro de determinados tamanhos foram adicionadas no solo como a vegetação principal.

Davis et al. (2006) puderam observar, através deste estudo, significativa redução de poluentes na água, com 82 e 86% de remoção de nitrogênio e fósforo, respectivamente, na caixa pequena e 97% ou mais de remoção de massa para todos os poluentes na caixa maior. O experimento também foi realizado à uma menor duração e vazão, o que resultou em uma maior redução de contaminantes. Isso ocorre, pois quando um menor volume de água é adicionado no sistema, há maior retenção pelo meio.

2.2.3 Projeto de um jardim de chuva

2.2.3.1 Método da Curva-número

Desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS), do departamento de agricultura dos Estados Unidos, a metodologia da curva-número tem como objetivo principal estimar a transformação da precipitação em escoamento superficial, através do uso do parâmetro adimensional CN (*curve-number*). Este parâmetro consiste na quantificação do grau de escoamento de uma região, tendo em vista a tipologia do solo e o uso de sua cobertura. Em

condições pós-urbanização, ou seja, com um alto índice de impermeabilidade do solo, a chuva tende a escoar em maior quantidade e mais rapidamente pela superfície urbana, causando os inúmeros problemas já citados anteriormente. Deste modo, o método demonstra o dimensionamento da área necessária para compensar essa baixa infiltração da água no solo, através de sistemas de baixo impacto (LID) (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999).

Os valores de CN são compreendidos entre o intervalo de 0 a 100, sendo 0 a representação de uma bacia de condutividade hidráulica infinita e o último, correspondente a bacias totalmente impermeáveis (SOARES et al., 2016). O valor de CN também é influenciado na tipologia de solo da região, sendo cada uma delas classificadas e detalhadas no tópico 2.2.3.2. A curva-número de cada cobertura de solo é adotada segundo a Tabela 5.

Tabela 5 – Curva-número representativa

Uso da terra/cobertura	Curva-número para grupos de solos hidrológicos			
	A	B	C	D
Área impermeável	98	98	98	98
Gramma	39	61	74	80
Bosque (condição razoável)	36	60	73	79
Bosque (condição boa)	30	55	70	77

Fonte: traduzido de PRINCE GEORGE'S COUNTY (1999).

Empregado em muitos países, a metodologia da CN é adequada para o dimensionamento de múltiplas estruturas de controle hídrico, porém destaca-se no projeto de sistemas de retenção e armazenamento temporário, com a finalidade principal de prevenção de cheias urbanas (MOCKUS, 1972).

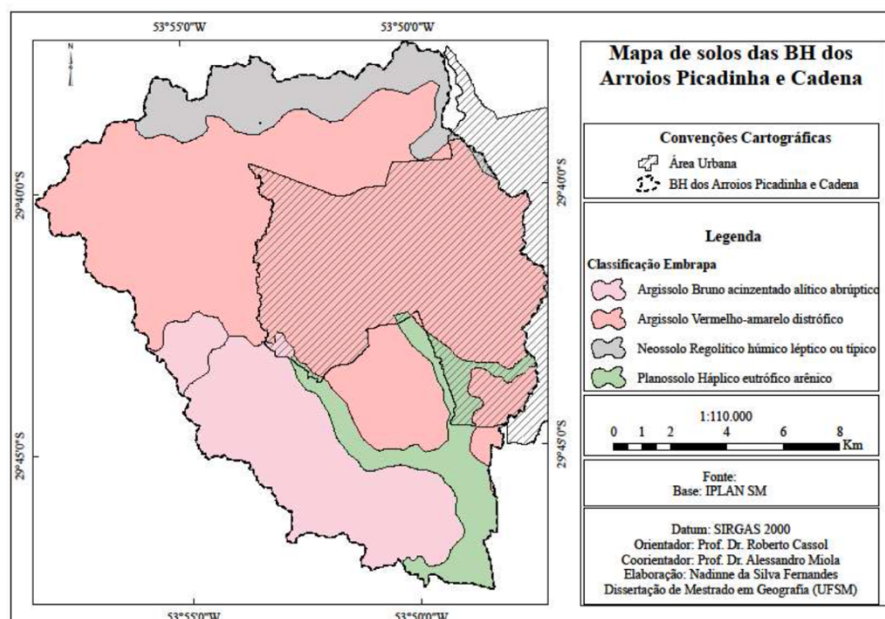
2.2.3.2 Estudo do solo

A análise e classificação do solo circundante é de extrema importância no dimensionamento de projetos de drenagem urbana. O manual de gerenciamento hídrico da Pennsylvania (2006) diferencia os tipos de solos baseado na classificação *Hydrologic Soil Groups* (HSG), sendo estes dos tipos A, B, C e D. Nielsen e Hjelmfelt Jr (1998) definem estes solos como sendo:

- TIPO A – Solos com baixa capacidade de escoamento. Quando totalmente molhados, apresentam alta taxa de infiltração. Taxa mínima de infiltração: $> 7,62$ mm/h (TR-55, 1986).
- TIPO B – Solos com moderada taxa de infiltração quando completamente úmidos. Taxa mínima de infiltração: 3,81 - 7,62 mm/h (TR-55, 1986).
- TIPO C – Solos com taxa de infiltração moderada. O fluxo da água através desse tipo de solo é relativamente lento e podem possuir camadas restritivas. Taxa mínima de infiltração: 1,27 - 3,81 mm/h (TR-55, 1986).
- TIPO D – Solos com alto potencial de escoamento, taxa de infiltração muito lenta quando completamente molhados. Podem possuir camadas restritivas quase impermeáveis. Taxa mínima de infiltração: $< 1,27$ mm/h (TR-55, 1986).

Fernandes (2016) mostra, em sua pesquisa sobre a região de Santa Maria- RS, os solos presentes em torno da bacia do Arroio Cadena (Figura 8). De acordo com a autora, o solo predominante na bacia hidrográfica do Arroio Cadena é o argilossolo vermelho-amarelo distrófico. Estes solos apresentam em geral textura média ou arenosa em sua superfície e podem ser classificados como tipologia B (SARTORI et al., 2005).

Figura 8 – Mapa dos solos pertencentes às bacias hidrográficas dos Arroios Picadinha e Cadena



Fonte: FERNANDES (2016).

2.2.3.3 Distribuição de chuvas

O dimensionamento do sistema de biorretenção vincula-se diretamente aos eventos pluviométricos da região, uma vez que, idealmente, os picos de vazão máxima não devem exceder aos picos pré-desenvolvimento. Os dados históricos relacionados ao estado do Rio Grande do Sul encontram-se disponíveis para análise no Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) e no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Entretanto, Basso (2015) referencia estes dados com impossibilidade de uso, uma vez que apresentam muitas falhas em seu sistema de monitoramento.

Uma prática muito comum em projetos de drenagem urbana, nesse caso, consiste em determinar as relações entre eventos pluviométricos de diferentes durações tomando uma chuva de projeto como referência. Esta chuva depende diretamente do tempo de retorno (TR), ou seja, o período em que um evento pluviométrico tem chance de se repetir. Segundo o plano diretor de drenagem urbana de Porto Alegre/RS (2005), adota-se este TR de acordo com o tipo de projeto de drenagem a ser dimensionado (Tabela 6).

Tabela 6 – Tempo de retorno para projetos de drenagem urbana

Sistema	Característica	Intervalo Tr (anos)	Valor frequente (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: Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre/RS (2005).

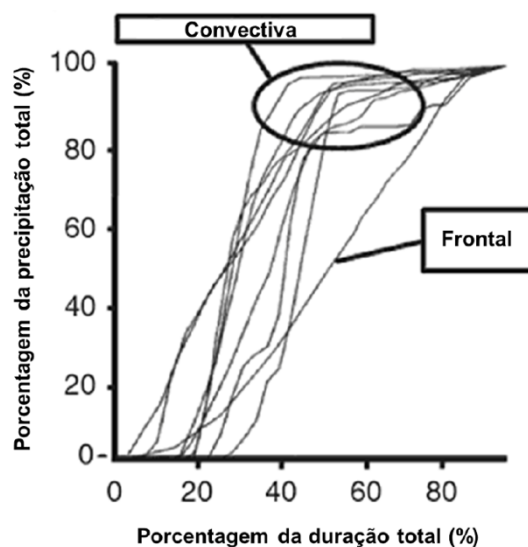
Com relação ao tempo de duração da chuva, Prince George's County (1999) enfatiza a necessidade de 24 horas como período de escolha. O evento pluviométrico de 24 horas é mais

longo que o necessário para determinar os picos de vazão da área, porém, é adequado para determinar os volumes de escoamento de forma segura.

Canholi (2014) destaca a importância de analisar o padrão comportamental das precipitações da região, a fim de assumir os riscos causados por chuvas críticas e sua infiltração no solo. A definição de um hietograma da precipitação é fundamental para obras de retenção e armazenamento, uma vez que influencia diretamente no tempo de infiltração no solo e, conseqüentemente, no controle das inundações.

No Brasil, as precipitações são classificadas de acordo com os mecanismos de sua formação, denominadas frontais, convectivas e orográficas. As chuvas frontais, formadas quando duas massas de diferente temperatura e umidade se colidem, apresentam comportamento de longa duração e baixa intensidade (Figura 9). As chuvas convectivas, por sua vez, ocorrem quando massas de ar relativamente pequenas são aquecidas pelo encontro com a superfície dos continentes e oceanos e elevam-se, condensando o vapor quando em contato com a camada mais alta da atmosfera. Esse tipo de precipitação geralmente é caracterizado por períodos mais curtos de duração e alta intensidade. Por último, as chuvas orográficas são originadas pela ascensão do ar quente quando em choque com barreiras do relevo, sendo manifestadas em média intensidade e grandes durações. Na região Sul, há uma predominância de chuvas frontais (FONTOURA, 2019).

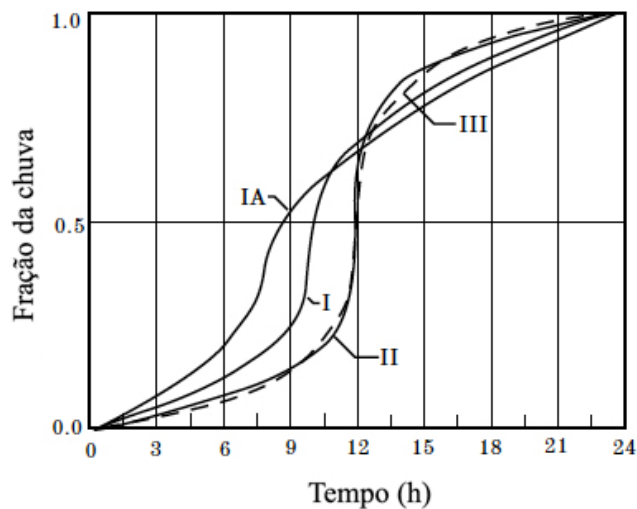
Figura 9 – Curvas adimensionais de distribuição temporal para o Brasil



Fonte: FONTOURA (2019).

Os padrões adimensionais demonstrados pela curva de distribuição temporal permitem a estimativa de chuvas de projeto com diferentes durações. SCS (1986) classifica em quatro tipos de distribuição ao longo de 24 horas (Figura 10), sendo o tipo IA de menor intensidade e o tipo II de maior intensidade.

Figura 10 – Padrão de distribuição temporal da precipitação proposto por SCS (1986) para 24 horas de duração



Fonte: traduzido de SCS (1986).

2.2.3.4 Método Racional de cálculo de vazões máximas de escoamento

O Método Racional é comumente empregado na literatura brasileira para a determinação da vazão máxima de escoamento no dimensionamento de redes de drenagem urbana. Deve-se atentar, contudo, que este método não deve ser empregado em bacias com área superior a 2 km², pois parte do princípio de igualdade do tempo de concentração da bacia e a duração da precipitação máxima de projeto. Não é possível admitir esta igualdade para bacias muito grandes, uma vez que a duração é inversamente proporcional à intensidade da chuva (TASSI et al., 2005).

O cálculo da vazão máxima da bacia permite a análise do impacto que o novo coeficiente de escoamento terá no fluxo da saída da bacia. Deste modo, é calculada a vazão para o CN projetado e o já existente, possibilitando a quantificação da redução na vazão final.

2.2.4 Exemplos de eficácia de jardins

No Brasil, a eficácia de sistemas de biorretenção em geral ainda é pouco abordada pela comunidade científica. Alguns estudos, como Ferreira (2017) e Melo et al. (2014), entretanto, apresentaram resultados satisfatórios. Melo et al. (2014) realizaram uma análise experimental de um jardim de chuva, onde foi dimensionado e instalado um modelo piloto na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). O sistema foi projetado para receber o escoamento advindo de uma fração de um telhado, onde expressou eficiência inclusive para precipitações intensas, com uma taxa de infiltração média de 312 mm/h. A água foi armazenada temporariamente na superfície e infiltrada posteriormente.

Apesar da investigação em campo dos jardins de chuva ser escassa no Brasil, diversos estudos no âmbito global foram publicados, com destaque para Bonneau et al. (2020) em Melbourne (AUS) e Davis (2008) em Maryland (EUA).

2.2.4.1 Melbourne, Austrália

Conhecida como líder em gestão integrada dos recursos hídricos, a cidade de Melbourne mudou significativamente sua abordagem no assunto nas últimas décadas. Uma série de medidas que visam integrar o ciclo hidrológico com o planejamento estratégico urbano foram implantadas. Na Austrália, esta integração é referida como *Water Sensitive Urban Design (WSUD)*, uma política que propõe minimizar os impactos causados pela urbanização. Inicialmente buscando reduzir a carga de nitrogênio na Baía de Port Phillip, diversas zonas úmidas foram construídas ao redor de Melbourne. No entanto, o governo local concluiu ser de extrema importância a gerência dos fluxos pluviais no âmbito geral, desde um controle na fonte até o final do escoamento. Diversos programas foram criados a partir de então, dentre eles, os sistemas de biorretenção (URRUTIAGUER et al., 2010).

A fim de demonstrar a eficácia destes sistemas de biorretenção, Bonneau et al. (2020) realizaram um estudo para analisar o desempenho hidrológico de uma bacia de biorretenção de 1.800 m² (Figura 8), monitorando a bacia por um período de três anos e realizando cálculos de balanço hídrico. A partir do estudo, foi possível concluir os diversos benefícios trazidos para a região através da bacia. Dentre eles, a redução do fornecimento de água contaminada para o riacho à jusante, sendo entre 55 e 65% do escoamento entregue como fluxo tratado. A bacia

também reduziu o volume geral de água liberado para o riacho, com fluxos de pico substancialmente menores.

Apesar dos autores considerarem as bacias de biorretenção limitadas na capacidade de imitar os regimes de fluxo pré-urbanização, o sistema se mostra muito benéfico no manejo de águas pluviais de um modo geral.

2.2.4.2 Maryland, EUA

O estado de Maryland, EUA, foi um dos pioneiros no reconhecimento da importância da gestão adequada dos recursos hídricos no país. Na década de 80, programas foram elaborados com o intuito de controlar o escoamento e mitigar a degradação da qualidade da água. O manual de manejo de águas pluviais de Maryland foi e ainda é muito utilizado na projeção de sistemas de biorretenção, essenciais para a melhoria do gerenciamento hídrico (MARYLAND, 2009).

No campus da universidade de Maryland, foram construídas duas bacias de biorretenção que capturam e tratam o escoamento de aproximadamente 0,24 ha de um estacionamento com cobertura asfáltica. Para analisar os impactos hidrológicos causados pelas bacias, Davis (2008) realizou um monitoramento de fluxo de entrada e saída durante um período próximo a dois anos no local. Como resultado do estudo, o autor verificou uma redução média de 49 e 58% de vazão de pico para as duas bacias. Dentre os eventos monitorados, 18% foram capturados integralmente pela bacia. Finalmente, o autor concluiu que a probabilidade das bacias de atender ou exceder as demandas de desempenho relacionadas à volume, fluxo de pico e atraso de pico foram de 55, 30 e 38%, respectivamente, para a primeira bacia, e 62, 42 e 31% para a segunda.

3 METODOLOGIA

Apesar dos avanços nas pesquisas sobre a implementação de jardins de chuva nas últimas décadas, a ideia ainda é pouco difundida no Brasil. O projeto do sistema varia de acordo com o local, sendo ainda necessário um maior estudo para se obter uma metodologia padrão (MELO, 2011).

Neste caso, o sistema de jardins de chuva foi dimensionado com base no método da curva-número, apresentado por Prince George's County (2007) e formulado pelo *Soil Conservation Service* (SCS), do departamento de Agricultura dos Estados Unidos. Esta metodologia é fundamentada na emulação do regime hidrológico pré-desenvolvimento, ou seja, é a situação da bacia em condições naturais, com superfície permeável e escoamento pluvial sem canalização. Os sistemas de biorretenção são então projetados com a finalidade de auxiliar o sistema de drenagem na infiltração da água, sendo necessária uma análise das condições do solo da região e, posteriormente, o cálculo do fator de escoamento do local.

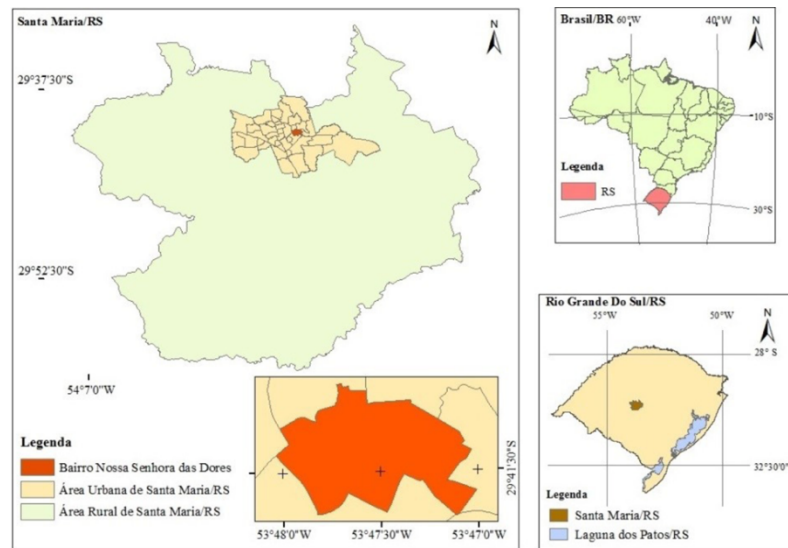
3.1 DIAGNÓSTICO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Santa Maria está localizado no centro do Estado do Rio Grande do Sul, com distância de 291 km da capital Porto Alegre. Segundo o IBGE (2020), a cidade conta com uma área total de 1.779,556 km² e população de 283.677 habitantes.

A bacia hidrográfica do Arroio Cadena representa os maiores riscos causados à inundação no município. Sendo a alta taxa de impermeabilidade da região um dos fatores que desencadeiam esses eventos, Reis (2011) realizou uma estimativa de taxas de impermeabilidade dos bairros localizados no perímetro da bacia, indicando o bairro Nossa Senhora das dores como o mais crítico entre eles. Por este motivo, selecionou-se este bairro como área de estudo sobre a implantação de jardins de chuva.

O bairro Nossa Senhora das Dores é localizado na região central da cidade (Figura 11) e abriga uma área de 108,73 ha (IPLAN, 2020).

Figura 11 – Mapa de localização do bairro Nossa Senhora das Dores, Santa Maria/RS



Fonte: ZIEMANN (2016).

A partir de dados e mapas fornecidos pelo IPLAN (2020), foi possível fazer o levantamento de vazios territoriais do bairro via satélite. As regiões selecionadas para o dimensionamento dos jardins de chuva, portanto, apresentam visivelmente uma maior quantidade destes vazios, tornando viável a implantação dos mesmos (Figura 12).

Figura 12 – Regiões de implantação dos jardins de chuva



Fonte: Google Earth PRO (2021).

As áreas de cada região foram mensuradas a partir do programa Google Earth Pro, bem como as áreas de vazios correspondentes (Tabela 7).

Tabela 7 – Áreas correspondentes às regiões dos jardins

Região	Área (m²)	Área de vazios (m²)
1	57.511	6.659
2	49.931	2.686
3	34.479	6.352
4	25.650	5.573
5	73.386	17.052

Fonte: Autora.

Com relação ao solo das regiões de implantação, Fernandes (2016) afirma que está presente, no entorno da bacia hidrográfica do Arroio Cadena, predominantemente o argilossolo vermelho-amarelo distrófico, que pode ser classificado dentro da tipologia B.

3.2 PROJETO DE UM JARDIM DE CHUVA

Através do método da curva-número, determinou-se, para condições médias de umidade do solo, o coeficiente de escoamento pré e pós-urbanização das regiões selecionadas, seguindo os valores já referenciados na Tabela 5. Deste modo, subdividiu-se cada porção de cobertura correspondente para, então, calcular o CN da região segundo a Equação (1).

$$CN_C = \frac{CN_1A_1 + CN_2A_2 \dots + CN_JA_J}{A_1 + A_2 \dots + A_J} \quad (1)$$

Onde:

CN_C = curva-número correspondente (adimensional);

A_j = área de cada cobertura de solo (m²) e

CN_j = curva-número de cada cobertura de solo (adimensional).

O CN pré-desenvolvimento baseia-se apenas no tipo de solo HSG da região, sendo considerado o local como bosque em condição boa (CN = 55).

3.2.1 Intensidade de projeto de precipitação

A intensidade de projeto de precipitação foi calculada segundo a Equação (2) de Belinazo e Paiva (1991), desenvolvida para a cidade de Santa Maria/RS.

$$I = \frac{807,801 * TR^{0,1443}}{(t + 5,67)^{0,742*TR^{-0,0280}}} \quad (2)$$

Onde:

I = intensidade da chuva (mm/h);

TR = tempo de retorno (anos) e

t = duração da chuva (h).

De acordo com o tipo de projeto a ser dimensionado, é selecionado um valor de tempo de retorno (TR) a fim de garantir a segurança do sistema. De acordo com a Tabela 6, o TR mais usual para projetos de sistemas de macrodrenagem é de 10 anos. No entanto, para fins de análise, o CN foi calculado para 10 e 25 anos.

Considerando a tipologia SCS (1986) como referência para a distribuição das chuvas (Figura 10) e as chuvas frontais como sendo as mais frequentes na região Sul, pode-se admitir o tipo I como característico da área de estudo.

O valor de intensidade de projeto é determinante na seleção de gráficos para a definição da largura de armazenamento (Prince George's County, 1999). Os gráficos utilizados neste presente dimensionamento estão contidos nos Anexos A e B.

3.2.2 Dimensionamento da área requerida

O valor de CN existente e o requerido são utilizados como entrada no gráfico selecionado de acordo com a intensidade pluviométrica. A largura de armazenamento é então conhecida, sendo possível o cálculo da área de retenção necessária a partir da Equação (3).

$$A' = A_R * \frac{\alpha}{h} \quad (3)$$

Onde:

A' = área de retenção

A_R = área total de cada região (m²);

α = armazenamento necessário para manter o volume de escoamento pré-desenvolvimento (cm) e

h = profundidade da bacia (cm).

Devido à alta taxa de impermeabilidade das regiões em estudo, foi utilizada a profundidade máxima recomendada no valor de 6 polegadas (15,24 cm) em todas as áreas, visando aproveitar ao máximo a área disponível.

Uma parcela da água pluvial é ainda reduzida pela evapotranspiração, devendo ser descontada do volume final dimensionado, segundo a Equação (4). Esta porcentagem, no entanto, é um valor mínimo e recomenda-se ser de no máximo 10%. Neste estudo, para fins de arredondamento, foi utilizado o valor de 10%.

$$V = V' * \frac{100 - x}{100} \quad (4)$$

Onde:

V = volume da bacia (m³);

V' = volume inicial (m³) e

x = porcentagem reduzida pela evapotranspiração.

3.2.3 Volume de armazenamento necessário para o controle de qualidade da água

O volume de armazenamento calculado deve atender ao requisito necessário para controle de qualidade da água, ou seja, ser superior ao volume equivalente ao tratamento das primeiras 0,5 polegadas (ou 12,6 mm) de escoamento da área impermeável. Desta maneira, o maior valor entre a largura retirada do gráfico (Anexo A) e a largura de 0,5 polegadas da área impermeável foi considerado.

3.2.4 Volume de armazenamento necessário para o controle das vazões de pico

Em alguns casos, o volume calculado para manter o escoamento em níveis pré-desenvolvimento não é suficiente para controlar as vazões de pico. Neste caso, Prince George's County destaca a importância de projetar sistemas de retenção adicionais, a fim de evitar possíveis transbordamentos no jardim. Este volume mínimo é também calculado de acordo com a Equação (3), porém empregando a largura mínima obtida através dos gráficos contidos nos Anexos C e D.

3.2.5 Vazões máximas

Através do método racional, calculou-se a vazão máxima de escoamento na área da bacia, considerando o CN atual e o CN requerido. O método é apresentado segundo a Equação (5).

$$Q = 0,278 * C * I * A \quad (5)$$

Onde:

Q = vazão máxima de escoamento (m³/s);

C= coeficiente de escoamento (adimensional);

I_t = intensidade de projeto de precipitação (mm/h) e

A = área da bacia (km²).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Cada região selecionada foi subdividida de acordo com a cobertura do solo e o respectivo valor de CN, retirados da Tabela 5. Esta subdivisão é demonstrada na Tabela 8, onde é possível observar a alta taxa de impermeabilidade das regiões através da porcentagem da área e a área correspondente.

Tabela 8 – Áreas correspondentes ao tipo de uso da cobertura por região

Região	Uso da terra/ cobertura	HSG	CN	% da área	Área correspondente (m ²)
1	Área impermeável	B	98	54,7	31.448
	Gramma	B	61	13,9	7.999
	Bosque (condição razoável)	B	60	31,4	18.064
	Área total				57.511
2	Área impermeável	B	98	62,2	31.062
	Gramma	B	61	2,6	1.294
	Bosque (condição razoável)	B	60	35,2	17.575
	Área total				49.931
3	Área impermeável	B	98	82,2	28.356
	Gramma	B	61	15,9	5.470
	Bosque (condição razoável)	B	60	1,9	653
	Área total				34.479
4	Área impermeável	B	98	81,7	20.967
	Gramma	B	61	6,8	1.738
	Bosque (condição razoável)	B	60	11,5	2.945
	Área total				25.650
5	Área impermeável	B	98	56,23	41.265
	Gramma	B	61	14,48	10.629
	Bosque (condição razoável)	B	60	29,29	21.492
	Área total				73.386

Fonte: Autora.

Quando comparadas entre si, algumas das regiões selecionadas possuem quantidades similares de porções impermeáveis. Entretanto, percebe-se que as regiões 3 e 4 se destacam com mais de 80% da área total sendo impermeável. Segundo Souza et al. (2015), uma cidade com condições ideais de manejo de recursos hídricos e preservação ambiental deveria apresentar pelo menos 33% de área permeável, o que configuraria estas regiões como críticas.

Os resultados críticos evidenciam-se ainda mais na Tabela 9, onde é possível verificar o elevado valor de CN representativo de cada região. O parâmetro composto CN indica que mais de 80% da chuva é convertida em escoamento, e, no caso das regiões 3 e 4, mais de 90%.

Tabela 9 – Valores de CN para cada região

REGIÃO	1	2	3	4	5
CN	80,92	83,67	91,41	91,13	81,51

Fonte: Autora.

Pode-se afirmar que a manifestação dos alarmantes valores de impermeabilidade na região mais crítica (região 3) decorre em razão da grande quantidade de edifícios corporativos, que acabam por gerar uma elevada ocupação de áreas destinadas a estacionamentos (Figura 13a). A região, contudo, apresenta uma significativa parcela de vazios urbanos, tornando viável a instalação dos jardins de chuva e promovendo a melhoria das condições do local.

Em contrapartida, a região 1 mostrou-se em condições ideais de preservação do local, uma vez que expressa uma porcentagem permeável que excede 40% da área total. Na Figura 13b é notório a alta porção de bosques em uma zona que aparenta ser majoritariamente residencial, o que condiz com os resultados satisfatórios. As zonas circundantes, entretanto, passam atualmente por processos de reformas, como a duplicação e restauração do trecho urbano da BR-158, o que pode induzir uma maior ocupação da região. É dever das entidades responsáveis, portanto, de atentar-se ao controle ocupacional regional, garantindo a proteção ambiental devida e a preservação apropriada das condições de permeabilidade do solo.

4,2 polegadas). A conversão em polegadas é feita em razão da seleção de gráficos contida no Manual Prince George's County (1999). No gráfico de 4 polegadas (Anexo A) é, então, dada entrada nos valores de CN existente e proposto, a fim de obter-se a largura de armazenamento em centenas de polegadas. Em busca de atingir o CN pré-desenvolvimento de 55, foram dimensionadas as áreas dos jardins conforme a Equação (3) e demonstrado na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores de largura para cada região dos jardins com CN pré-desenvolvimento

Região	Largura (cm)	A (m²)	A vazios (m²)
1	4,1	13.803	6.659
2	4,6	13.481	2.686
3	6,35	12.930	6.352
4	6,35	9.619	5.573
5	4,1	17.943	17.052

Fonte: Autora.

A partir dos valores dimensionados, percebe-se que nenhuma das regiões possui área de vazios suficiente para cobrir a área dos jardins. Esse fato decorre do alto valor de impermeabilidade de todas as regiões do bairro, o que torna impossível atingir o coeficiente pré-urbanização. Desta maneira, apresenta-se o dimensionamento de áreas adequadas à realidade existente do município para que o CN pós-desenvolvimento seja o mais próximo possível do CN pré-desenvolvimento, a fim de se utilizar as áreas de vazios para compensação da alta taxa de impermeabilidade (Tabela 11). Neste contexto, com o dimensionamento adaptado às condições locais, existe apenas disponibilidade de uma média de 50% da área requerida para um CN de 55.

O dimensionamento da região 2 resultou em um volume insuficiente para manter a taxa de escoamento de pico ideal com CN de 80. Deste modo, o CN requerido foi reajustado para 81, a fim de dispensar a implantação de um sistema de retenção adicional. Todas as áreas apresentaram volumes de armazenamento suficiente para o controle de qualidade da água.

Tabela 11 – Valores de largura para cada região com CN_P ajustado

Região	CN_P	CN_P reajustado	Largura (cm)	A (m²)	A vazios (m²)
1	70	-	1,9	6.470	6.659
2	80	81	0,8	2.247	2.686
3	77	-	3	6.206	6.352
4	74	-	3,6	5.387	5.573
5	60	-	3,6	15.411	17.052

Fonte: Autora.

Através dos jardins de chuva dimensionados, a porção permeável de cada região é expandida, permitindo a maior infiltração da água pelo solo e conseqüente redução da vazão máxima na saída da bacia (MELO et al., 2011). Essa redução foi quantificada de acordo com a Equação (5) e indicada na Tabela 12.

Tabela 12 – Comparação da vazão existente e vazão projetada

Região	Vazão existente (m³/s)	Vazão projetada (m³/s)	Redução (%)
1	137,78	127,71	13,49
2	123,69	119,74	3,19
3	93,31	78,6	15,76
4	69,21	56,2	18,8
5	177,11	130,37	26,39

Fonte: Autora.

A porcentagem de redução demonstrada representa a parcela de água pluvial que será infiltrada pelo solo nos jardins de chuva. Observa-se que, na região 2, a redução calculada é pouco significativa. Isso ocorre devido à baixa porção de vazios urbanos na região, fazendo com que se tenha pouco espaço disponível para os jardins e não seja possível uma expressiva redução do CN. Em contraposto, a região 5 apresenta uma considerável porcentagem de redução, em razão de sua área representar uma região residencial e apresentar porção permeável superior à 40%. Se implementados de fato, os jardins de chuva seriam capazes de transformar a região 5 em condições muito próximas às de pré-desenvolvimento.

Souza, Cruz e Tucci (2011) apresentaram um estudo hipotético sobre LIDs e seu impacto hidrológico, por meio da avaliação de células de biorretenção em um evento pluviométrico de 10 anos para um condomínio em Porto Alegre/RS. O método da curva-número composta foi utilizado, sendo comparadas as taxas de escoamento atual, pré-desenvolvimento e requerida. Para uma chuva com duração de 1 hora, o volume de saída da bacia resultou em 16,69 m³ para condições naturais (pré-desenvolvimento), 31,57 m³ para método higienista (atual) e 19,16 m³ em cenários com LIDs. A instalação de sistemas de biorretenção, portanto, expressaria uma redução de aproximadamente 39% no volume de saída da bacia.

No âmbito experimental, Melo et al. (2011) instalou um jardim de chuva piloto com solo do tipo A e monitorou seu comportamento relacionado ao armazenamento, retenção e infiltração da água pluvial. O tipo de solo utilizado permitiu a alta taxa de infiltração observada, quantificada com valor médio de 312 mm/h.

No bairro Nossa Senhora das Dores, entretanto, a taxa de urbanização e consequente impermeabilização do solo é muito elevada. Resultados expressivos como os citados acima só seriam possíveis com uma área de vazios disponível muito maior, onde um cenário ideal seria a utilização de uma média de 27% da região para os sistemas de biorretenção (Tabela 10).

4.2 TEMPO DE RETORNO DE 25 ANOS

Para fins de análise e comparação, o tempo de retorno de 25 anos foi empregado no cálculo da intensidade pluviométrica. Deste modo, resultou-se em 129,04 mm/h (ou 5,1 polegadas) e utilizou-se o gráfico 5 polegadas (Anexo B). A fim de apresentar-se um sistema realista de implementação, foram aproveitados os mesmos vazios urbanos existentes no bairro. Assim, o diferencial de cálculo foi o CN pós-desenvolvimento mensurado e, conseqüentemente, a vazão máxima na saída da bacia (Tabela 13).

Tabela 13 – Valores de CN_P para tempo de retorno de 25 anos

(continua)

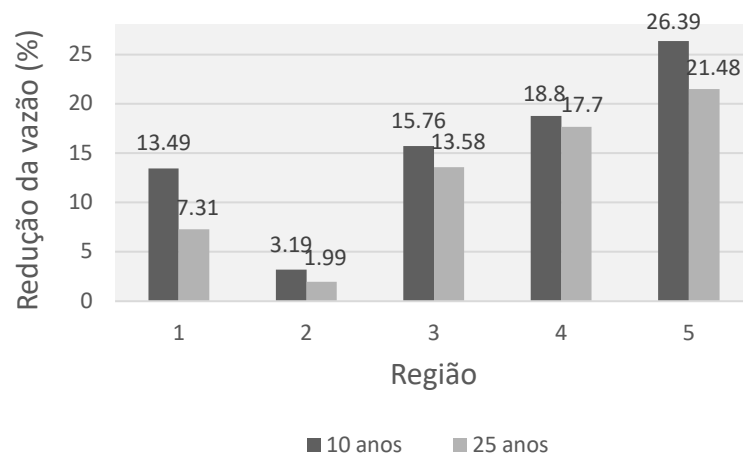
Região	CN _P	CN _P reajustado	Vazão existente (m ³ /s)	Vazão projetada (m ³ /s)	Redução (%)
1	72	75	166,94	154,73	7,31
2	80	82	149,86	146,88	1,99
3	79	-	113,06	97,71	13,58

4	75	-	83,85	69,01	17,70
5	64	-	214,59	168,48	21,48

Fonte: Autora.

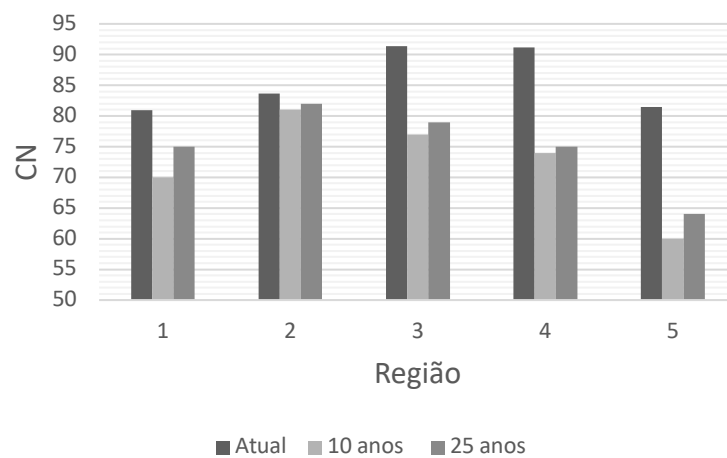
Conforme demonstrado, considerando o tempo de retorno de 25 anos para o projeto, a redução da vazão na saída da área seria ainda menor que a redução para 10 anos (Figura 14), em função da indisponibilidade de área. Em relação ao CN, também observa-se que não há uma mudança significativa com a adoção do TR de 10 ou 25 anos (Figura 15).

Figura 14 – Redução da vazão de cada região para 10 e 25 anos



Fonte: Autora.

Figura 15 – Comparativo de valores do CN



Fonte: Autora.

O dimensionamento de projetos de drenagem urbana com tempo de retorno de 25 anos tende a ser mais seguro e ter maior durabilidade, uma vez que são projetados para receber um volume de precipitação maior. Atualmente, os sistemas de macrodrenagem são projetados para os fluxos de pico de TR de 25 anos; no entanto, no caso de sistemas compensatórios, diversas pesquisas no âmbito mundial demonstram diferenças irrelevantes na redução de vazão para diferentes tempos de retorno. Zhang et al. (2020) realizaram a comparação entre tempos de retorno de 3, 5, 10, 30, 50 e 100 anos, em um estudo realizado no Japão, concluindo que a maior porcentagem de redução de vazão em um cenário com e sem jardins de chuva seria de 3 anos como período de retorno. Embora os tempos de retorno de 10 e 25 anos sejam usuais para projetos de sistemas de macrodrenagem urbana convencionais, os sistemas de biorretenção não exigem um fator de segurança tão alto, de modo que se enquadrem em desenvolvimentos de baixo impacto. Uma vez que os jardins de chuva não visam substituir a rede de drenagem e os espaços disponíveis para a instalação dos mesmos é limitada, eles geralmente são dimensionados para períodos curtos de retorno, como 1 ou 2 (Austrália) e 10 anos (Singapura) (LIM e LU, 2016).

Na Austrália, recursos do WSUD, como jardins de chuva, são adotados em áreas urbanizadas para aumentar o desempenho do sistema de microdrenagem (canos, fossos, meios-fios de estradas e outros caminhos de fluxo terrestre da paisagem urbana). Esses sistemas não se destinam a substituir a rede de drenagem, em vez disso, podem ser adotados em pequenas áreas e são frequentemente empregados (i) para atenuar os fluxos de novas áreas impermeáveis criadas para que a capacidade de drenagem existente não seja excedida, e (ii) para aumentar o desempenho da rede de drenagem existente, que muitas vezes funciona com excesso de capacidade (WONG, 2006).

Neste caso, para as 5 regiões avaliadas neste estudo, pode-se concluir que, com exceção da área 2, a redução no CN (e no fluxo) variou de 13% a 26% para TR de 10 anos, o que estão próximos de e enquadrar nos objetivos de gestão de águas pluviais estabelecidos em Melbourne, AUS.

Na região 2, uma redução de apenas 2 e 3% no CN e na vazão, respectivamente, foi alcançada. Este resultado sugere que o tamanho disponível para o jardim de chuva proposto não é suficiente para proporcionar um benefício significativo. Sob essas circunstâncias, não é recomendado a instalação de jardins nesta região.

Devido à natureza de recondicionamento da área de estudo, uma abordagem de projeto reverso foi realizada, ou seja, a área máxima disponível para os jardins de chuva é fixa e o dimensionamento não é voltado para um período de retorno específico. Deste modo, os valores de CN e fluxo serão diferentes em uma faixa de períodos de retorno, mas a redução de vazão varia muito para diferentes períodos de retorno. Os resultados apresentados apoiam esta suposição com a redução de vazão estimada para o TR de 25 anos sendo ligeiramente inferior aos estimados com o fluxo de TR de 10 anos.

Desta maneira, sugere-se que, para o futuro dimensionamento de jardins de chuva na cidade de Santa Maria/RS, utilize-se o tempo de retorno de 10 anos ou menos para o projeto, a fim de considerar a segurança do sistema, mas simultaneamente contemplar o conceito principal dos sistemas de biorretenção, ou seja, uma alternativa aos métodos convencionais de drenagem urbana com baixo impacto.

4.3 DETALHAMENTO DE UMA REGIÃO

A região 3 foi utilizada como exemplo no detalhamento dos jardins de chuva, demonstrados na Figura 16, com suas devidas áreas apresentadas na Tabela 14.

Figura 16 – Jardins de chuva da região 3



Fonte: Google Earth PRO (2021).

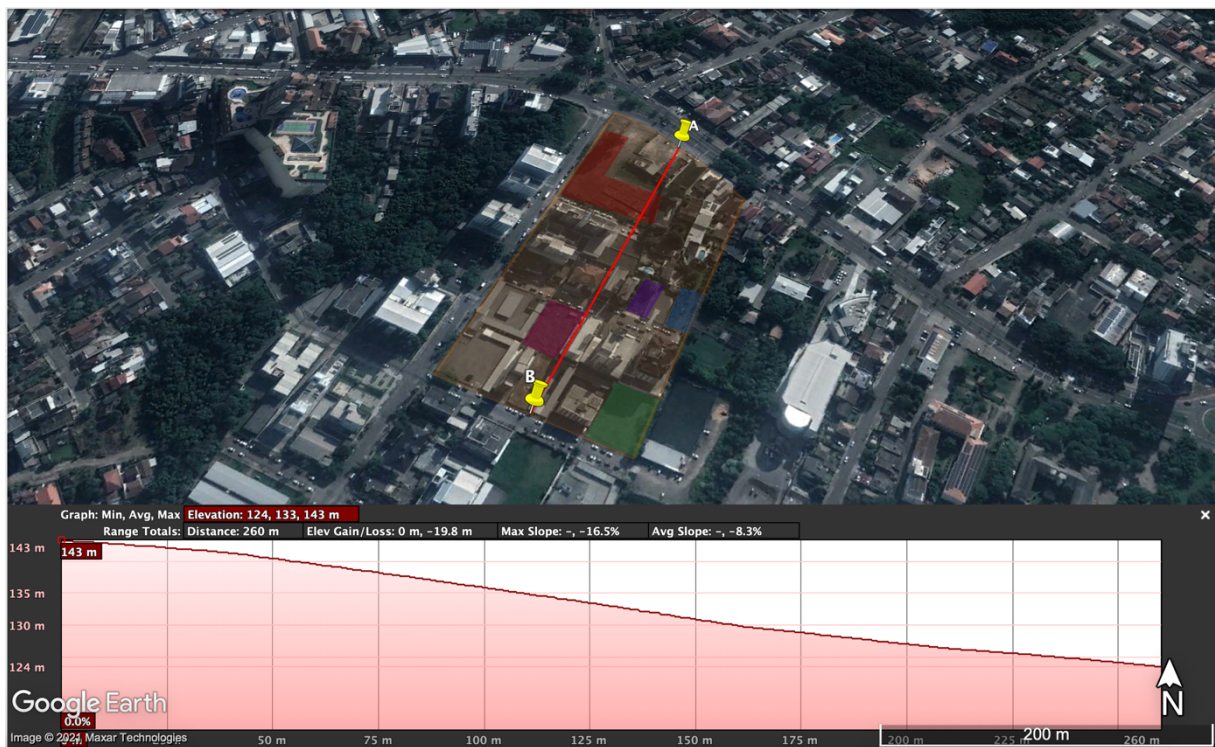
Tabela 14 – Áreas dos jardins de chuva da região 3

Jardim	Área (m ²)
1	1.358
2	1.036
3	523
4	411
5	2.878
TOTAL	6.206

Fonte: Autora.

A região 3 apresenta uma declividade de 14% no sentido A – B (Figura 17) (GOOGLE EARTH PRO, 2021). Desta maneira, o escoamento da área é facilmente coletado pelos jardins.

Figura 17 - Perfil de elevação da região 3



Fonte: Google Earth PRO (2021).

5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento de técnicas alternativas ao sistema de drenagem urbana tradicional é fundamental para um melhor controle e manejo dos recursos hídricos da cidade de Santa Maria/RS. A frequência de alagamentos e inundações causadas pela urbanização desenfreada e pela falta de planejamento da cidade em si, exige a implantação de novas medidas que garantam a saúde da população e dos corpos hídricos, bem como a qualidade de vida da sociedade. Visando atender a essas necessidades urgentes da cidade, apresentou-se neste trabalho um estudo sobre a implementação de sistemas de biorretenção no bairro com maior taxa de impermeabilidade do município.

A proposta deste estudo foi utilizar as áreas com vazios urbanos localizadas no bairro Nossa Senhora das Dores para o emprego de jardins de chuva, visando diminuir o coeficiente de escoamento das áreas selecionadas e buscando recuperar ao máximo as condições pré-desenvolvimento do local. Optou-se pelo método de jardins de chuva em razão de sua fácil instalação e manuseio, além de apresentar desempenho hidrológico comprovado ao redor do mundo, com resultados positivos quando adicionado ao sistema de drenagem tradicional no controle de cheias urbanas.

Com alternativas de diferentes tempos de retorno, a redução da vazão na saída da bacia foi calculada. Tendo em vista que usualmente os tempos de retorno utilizados para projetos de macrodrenagem urbana são entre 10 e 25 anos, foi efetuada uma comparação entre a redução da vazão nos dois períodos, concluindo que, em termos de custo-benefício e viabilidade de instalação, o TR de 10 anos manifestou-se mais funcional.

Embora haja limitações na capacidade de emular as condições naturais, os sistemas analisados reduziram a vazão de escoamento em uma média de 16,26% e, sendo complementares ao sistema de drenagem atual, poderiam resultar na diminuição de eventos críticos de inundação no município. No entanto, a fim de garantir o manejo dos recursos hídricos, é imprescindível a manutenção da rede de drenagem da cidade no âmbito geral.

Outro ponto a ser enfatizado é a potencial capacidade dos jardins na recuperação das áreas verdes na cidade, considerando a deterioração das mesmas atualmente. A inserção de cobertura vegetal na região urbana apresentaria uma melhora significativa na qualidade do ar, bem como dos lençóis freáticos, uma vez que a vegetação em conjunto com o solo filtra a água da chuva e remove boa parte dos poluentes presentes.

Um maior avanço no estudo referente à utilização de jardins de chuva no Brasil faz-se necessário, uma vez que eventos chuvosos críticos são comuns em algumas regiões do país, e as consequências catastróficas são evidentes. Demais técnicas compensatórias também são pouco difundidas no país, o que evidencia a falta de engajamento entre a população, os profissionais envolvidos e os órgãos responsáveis pelo investimento no planejamento urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATTEMARCO, B. P.; YAMAMOTO, L. M. T.; VERÓL A. P.; REGO, A. Q.; VASCONCELLOS, V. M. N.; MIGUEZ, M. G. **Sistemas de espaços livres e drenagem urbana: um exemplo de integração entre o manejo sustentável de águas pluviais e o planejamento urbano.** Paisag. Ambiente: Ensaios, São Paulo, n. 42, p. 55-74. 2018.
- BONNEAU, J.; FLETCHER T. D.; COSTELLOE, J. F.; POELSMA, R. B. J.; BURNS, M. J. The hydrologic, water quality and flow regime performance of a bioretention basin in Melbourne, Australia. **Urban Water Journal.** Melbourne, Australia, 17:4, p. 303-314. 2020.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes.** 2. ed. – São Paulo: Oficina de Textos. 2014.
- CSOBI, A. **Amortecimento superficial nos sistemas de microdrenagem em regiões de baixa declividade.** Tese (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária – Universidade de São Paulo, SP). 173 p. 2011.
- DAVIS, A. P.; P. E.; F. ASCE. Field Performance of Bioretention: Hydrology Impacts. **Journal of Hydrologic Engineering**, Vol. 13. p. 90-95. 2008.
- DAVIS, A. P.; SHOKOUHIAN M.; SHARMA H.; MINAMI C. **Water Quality Improvement through Bioretention Media: Nitrogen and Phosphorus Removal.** Artigo Científico. p. 284-293. 2006.
- DOURADO, L. S.; SILVA, M. A.; MENDES, S. R. S. **Jardim de chuva como técnica compensatória: Um estudo no município de Goiânia.** Artigo Científico (Pontifícia Universidade Católica de Goiás, GO). 11 p. 2020.
- DUNNETT, N.; CLAYDEN, A. **Rain gardens: Managing water sustainably in the garden and designed landscape.** Timber Press, Inc. Portland, Oregon, EUA. 190 p. 2007.
- EMANUEL, R.; GODWIN, D.; Oregon Sea Grant Extension, Oregon State University (OSU); Candace Stoughton; East Multnomah Soil; Water Conservation District. **The Oregon Rain Garden Guide: Landscaping for Clean Water and Healthy Streams.** Corvallis, Oregon. 2009. Disponível em <<https://seagrant.oregonstate.edu/sgpsubs/onlinepubs.html>>.
- FERNANDES, N. da S; MIOLA, A. C. **Geoprocessamento aplicado no mapeamento de áreas com risco de inundação em Santa Maria/RS.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR. 2013.
- FERNANDES, N. **Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação em Santa Maria, RS.** Tese (Mestrado em Geografia – Universidade Federal de Santa Maria, RS). p. 105. 2016.
- FERRÃO, M. S. **Ensaio destrutivo de um modelo em escala de biorretenção.** Tese (Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria, RS). 57 p. 2018.

- FERRARI, J. **Investigação da morfologia original e antropogênica do arroio Cadeca, Santa Maria/RS.** Tese (Mestrado em Geografia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS). 161 p. 2018.
- FERREIRA, L. T. L. M. **Avaliação do funcionamento de um dispositivo de biorretenção: monitoramento e modelagem.** Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento – Universidade Federal de Alagoas, AL). 86 p. 2017.
- FONTOURA, J. R. **Padrões de distribuição temporal das precipitações intensas no Rio Grande do Sul.** Tese (Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria, RS). 242 p. 2019.
- GARCIA, J. I. B.; PAIVA, E. M. C. D. Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia do Arroio Cancela – RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 11, n. 4. p. 99-108. 2006.
- GOMES, T. C. **Crescimento urbano sobre os compartimentos de relevo no município de Santa Maria, RS.** Tese (Mestrado em Geografia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS). p. 157. 2013.
- HESS, A. J. **Monitoring of evapotranspiration and infiltration in Rain Garden designs.** Tese (Mestrado em Engenharia Civil – Villanova University). Pennsylvania, EUA. p. 124. 2014.
- KEMERICH, P. D. C.; MARTINS, S. R.; KOBAYAMA M.; SANTI, A. L.; FLORES, E. B.; BORBA, W. F.; FERNANDES, G. D.; CHERUBIN, M. R. Qualidade da água oriunda do escoamento superficial simulado em bacia hidrográfica. **Ciência e Natura**, vol. 35, núm. 2, p. 136-151. 2013.
- LI, J. Q.; ZHAO, W. W. **Design and Hydrologic Estimation Method of Multipurpose Rain Garden: Beijing Case Study.** International Low Impact Development Conference. Seattle, Washington, EUA. 2008.
- LIM, H. S.; LU, X. X. **Sustainable urban stormwater management in the tropics: An evaluation of Singapore's ABC Waters Program.** *Journal of Hydrology* 538. p. 842-862. 2016.
- MASI, M. **A SWMM-5 Model of a Denitrifying Bioretention System to Estimate Nitrogen Removal From Stormwater Runoff.** Tese (Mestrado em Engenharia da Ciência, University of South Florida, EUA). 143 p. 2011.
- MELO, T. A. T. **Jardim de chuva: Sistema de biorretenção como técnica compensatória no manejo de águas pluviais urbanas.** Tese (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Alagoas, AL). 137 p. 2011.
- MELO, T. A. T.; COUTINHO, A. P.; CABRAL, J. J. S. P.; ANTONINO, A. C. D.; CIRILO, J. A. Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo de águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 147-165. 2014.

- MOCKUS, V. **National Engineering Handbook**. Section 4, chapter 21, Design Hydrographs. 1972. Disponível em <<https://directives.sc.egov.usda.gov>>.
- NIELSEN, R. D.; HJELMFELT, A. T. **Hydrologic soil group assignment**. Proc. Water Resour. Eng. 10, 1297–1302. 1998.
- NUNES, A. P.; CARARA, L. L. **Cadastro das infraestruturas que compõem o sistema de drenagem pluvial: Avenida Pedro Zapelini – Tubarão/SC**. Tese (Graduação em Engenharia Civil – Universidade do Sul de Santa Catarina). SC, 98 p. 2017.
- OLIVEIRA, I. J. L. S.; RABELO, M. B. G.; PATRY, N. C.; LEO, J. R., FERREIRA, J. P. **Benefícios da implantação dos jardins de chuva no meio urbano**. Artigo Científico (XI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, ES). 8 p. 2020.
- PAYNE, E. G. I.; HATT, B. E.; DELETIC A.; DOBBIE M. F.; MCCARTHY D. T.; CHANDRASENA G. I. **Adoption Guidelines for Stormwater Biofiltration Systems - Summary Report**, Melbourne, Australia: Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities. 23 p. 2015.
- PENNSYLVANIA. **Pennsylvania Stormwater Best Management Practices Manual**. 642 p. 2006.
- PREFEITURA MUNICIPL DE PORTO ALEGRE. **Plano Diretor de Drenagem Urbana, Volume IV – Manual de drenagem urbana**. 2005.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA. **Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Santa Maria, Volume III – Sistema de Drenagem Urbana**. 2020.
- PRINCE GEORGE’S COUNTY. **Bioretention Manual**. The Prince George’s County, Maryland, EUA. 206 p. 2007.
- PRINCE GEORGE’S COUNTY. **Low-impact development hydrologic analysis**. Department of Environmental Resources, Maryland, EUA. 39 p. 1999.
- REIS, J. T. **Estimativa da relação densidade habitacional e áreas impermeáveis nos bairros da sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena em Santa Maria- RS**. Artigo Científico (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS). 9 p. 2011.
- SAATKAMP, G. **Jardim de Chuva: Estudo comparativo de um sistema de biorretenção e uma bacia de amortecimento pluvial**. Tese (Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS). 97 p. 2019.
- SARTORI, A.; NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Vol. 10. p. 5-18. 2005.

SCHIAVO, B. N. V.; HENTZ, A. M. K.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria – RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental** – V. 20, n. 1. p. 464 – 474. 2016.

SECRETARIA ESPECIAL DE COMUNICAÇÃO. **Prefeitura constrói jardins de chuva na região central.** Prefeitura municipal de São Paulo, SP. 2020.
Disponível em < <http://www.capital.sp.gov.br>>.

SOARES, M. R. G. J.; FIORI, C. O.; SILVEIRA, C. T.; KAVISKI, E. **Eficiência do método *curve number* de retenção de águas pluviais.** Mercator – Revista de Geografia da UFC, vol. 16, núm. 1, p. 1-16. 2017.

SOUZA, V. C. B.; Gestão da drenagem urbana no Brasil: Desafios para a sustentabilidade. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA).** p. 57-72. 2013.

TASSI, R.; BASTOS, C. A. B.; MIRANDA, T. C. Aspectos metodológicos sobre o método do SCS com auxílio de ferramentas de geoprocessamento no projeto de estruturas de drenagem de uma rodovia. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.7, p.27-37. 2005.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas.** Ministério das Cidades – Global Water Partnership - World Bank – Unesco. 2006.

URRUTIAGER, M.; EDWARDS, P.; CHANDLER, C. **The evolution of a WSUD capacity building program: The role of implementation targets.** NOVATECH, AUS. 2010.

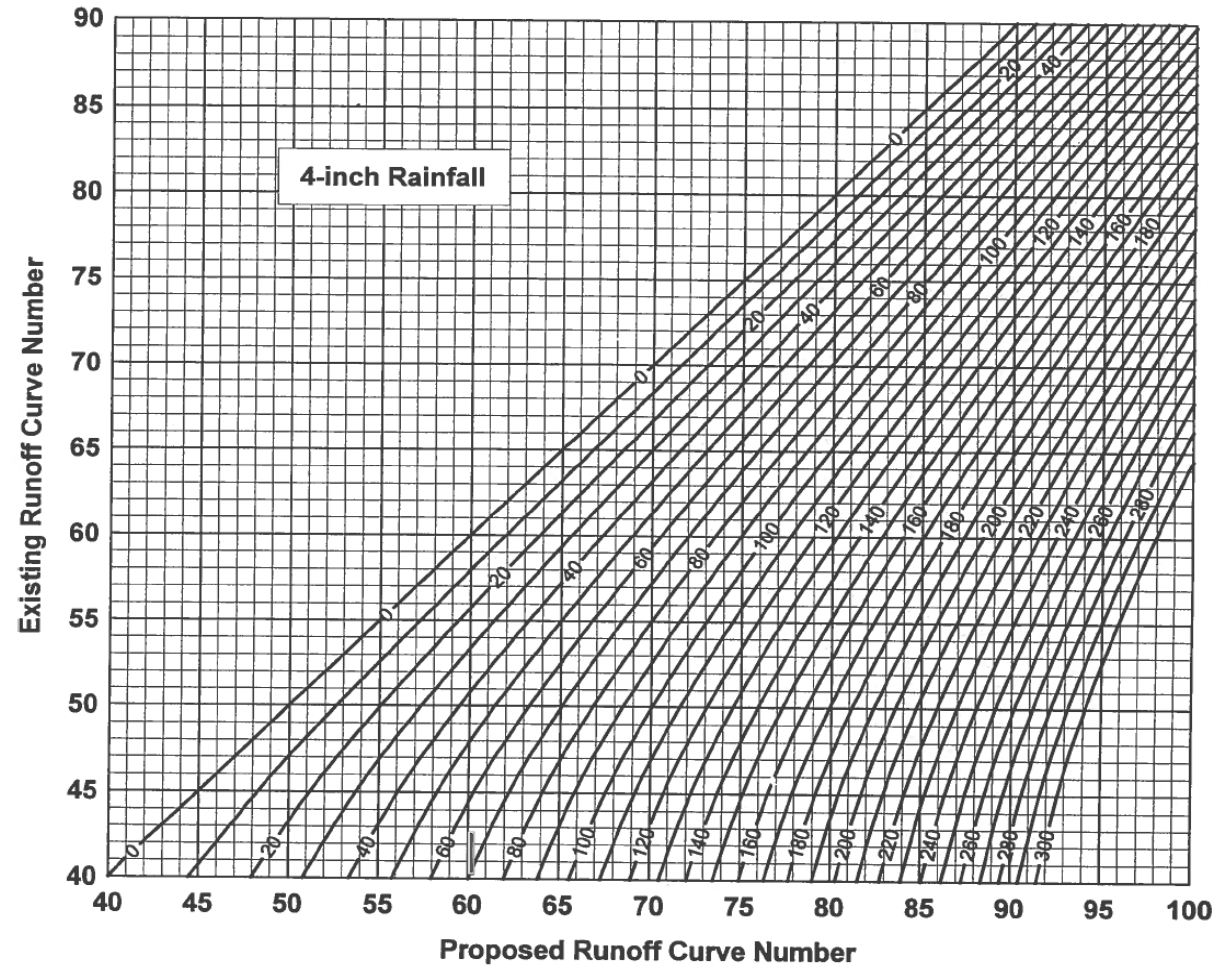
WOLFF, D. B.; GONÇALVES, I. H.; GASTALDINI, M. C. C.; SOUZA, M. M. **Resíduos sólidos em um sistema de drenagem urbana no município de Santa Maria (RS).** Artigo Técnico. Santa Maria, RS, p. 151-158. 2016.

WONG, T. H. F. An Overview of Water Sensitive Urban Design Practices in Australia. **Water Practice & Technology** Vol 1 No 1. 8 p. 2006.

ZHANG, L.; YE, Z.; SHIBATA, S. Assessment of Rain Garden Effects for the Management of Urban Storm Runoff in Japan. **Sustainability, MDPI Journal.** 2020.
Disponível em <www.mdpi.com/journal/sustainability>.

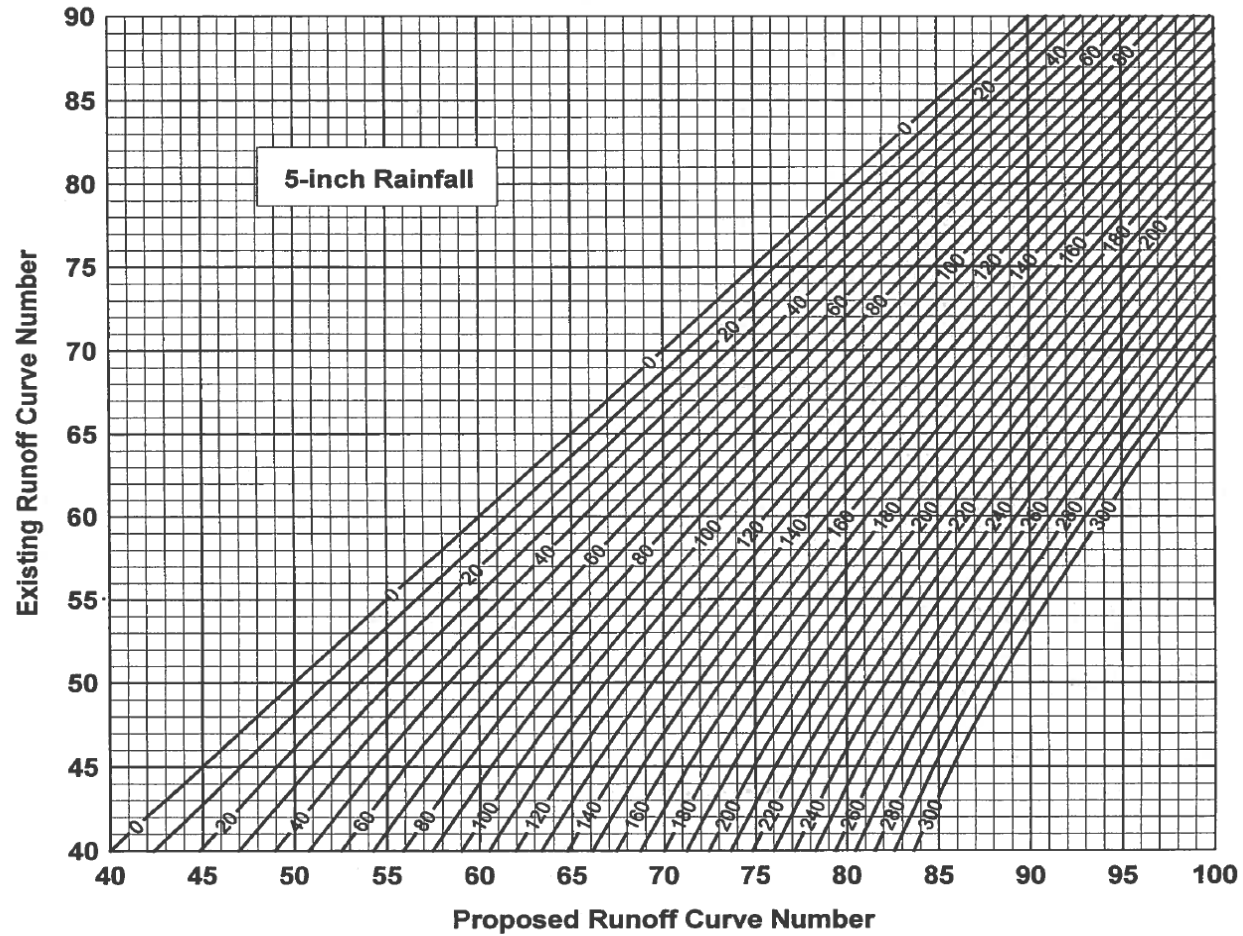
ZHANG, Z. **Landscape Infrastructure Works as Catalyst in Urban Design: A Case Study Exploration of the Corktown Common Park in West Don Lands, Toronto.** Tese (Mestrado em Arquitetura Paisagista – The University of Guelph). Ontario, Canadá, 68 p. 2014.

**ANEXO A – GRÁFICO DE ARMAZENAMENTO NECESSÁRIO PARA MANTER O VOLUME DE ESCOAMENTO
PARA 4 POLEGADAS (centenas de polegadas)**



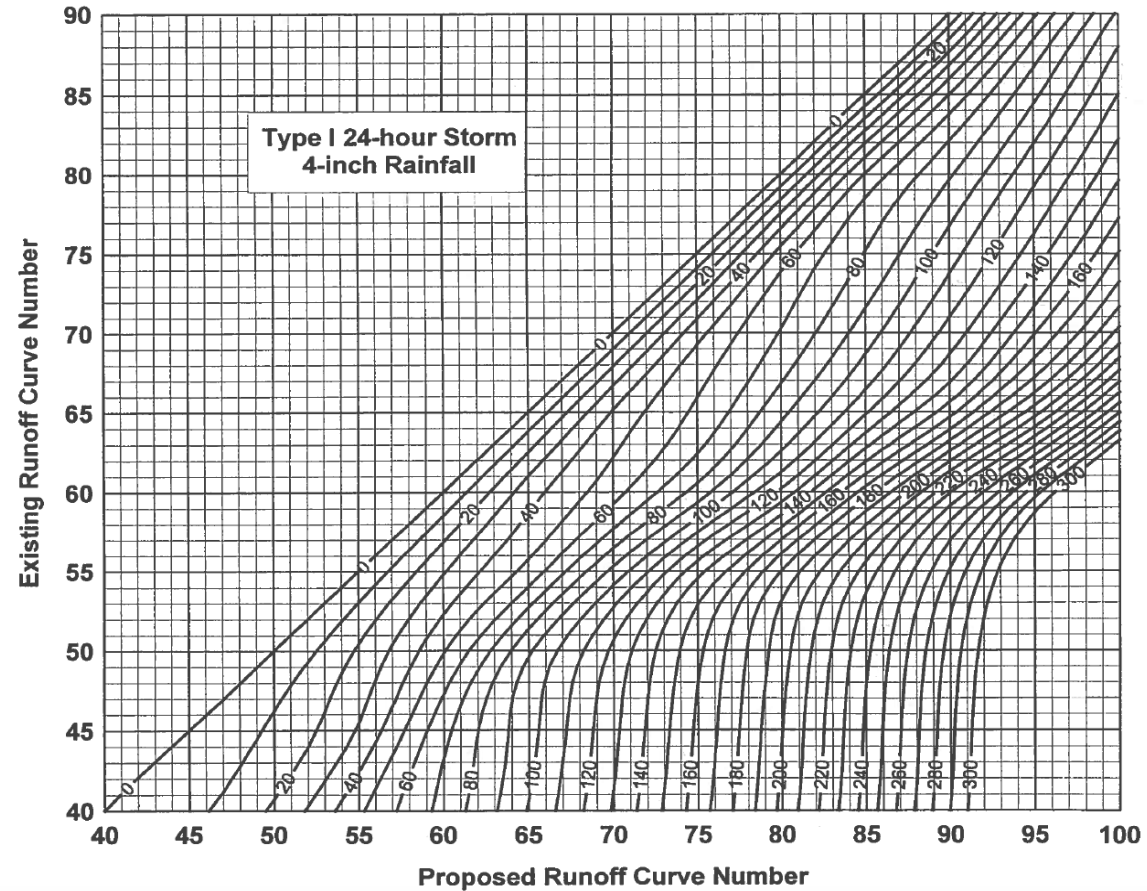
Fonte: PRINCE GEORGE'S COUNTY (1999).

**ANEXO B – GRÁFICO DE ARMAZENAMENTO NECESSÁRIO PARA MANTER O VOLUME DE ESCOAMENTO
PARA 5 POLEGADAS (centenas de polegadas)**



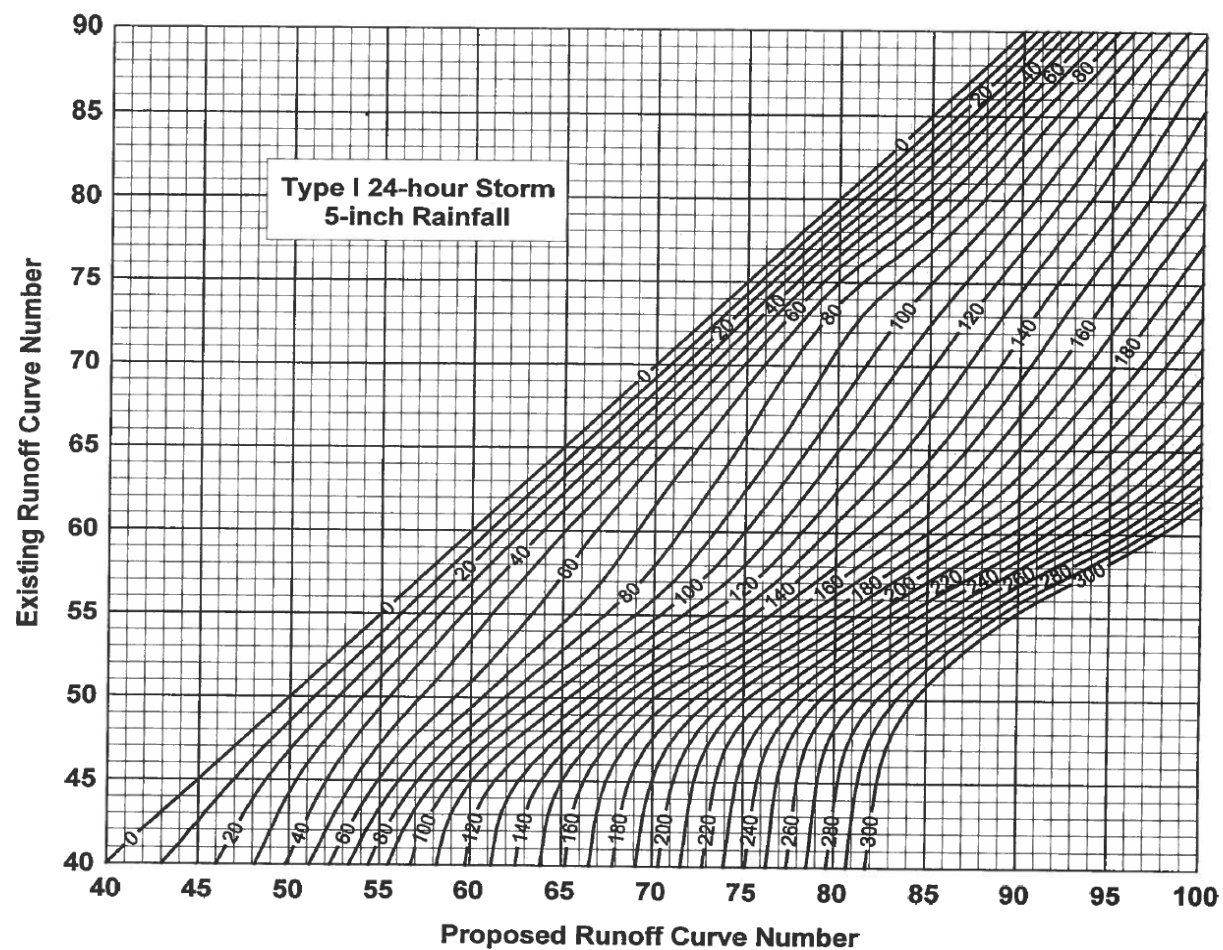
Fonte: PRINCE GEORGE'S COUNTY (1999).

ANEXO C – GRÁFICO DE ARMAZENAMENTO NECESSÁRIO PARA MANTER A TAXA DE ESCOAMENTO DE PICO PRÉ- DESENVOLVIMENTO PARA 4 POLEGADAS (centenas de polegadas)



Fonte: PRINCE GEORGE'S COUNTY (1999).

ANEXO D – GRÁFICO DE ARMAZENAMENTO NECESSÁRIO PARA MANTER A TAXA DE ESCOAMENTO DE PICO PRÉ- DESENVOLVIMENTO PARA 5 POLEGADAS (centenas de polegadas)



Fonte: PRINCE GEORGE'S COUNTY (1999).