



UNICEPLAC

CENTRO UNIVERSITÁRIO

Centro Universitário do Planalto Central Aparecido dos Santos - UNICEPLAC

Curso de Engenharia civil

Trabalho de Conclusão de Curso

**JARDIM DE CHUVA: TÉCNICA COMPENSATÓRIA DE MANEJO DE
ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS PARA UMA MICRORREGIÃO DO
MUNICÍPIO VALPARAÍSO DE GOIÁS (GO)**

Gama-DF

2021

BRUNO JERRY BRANDÃO ROCHA

**JARDIM DE CHUVA: TÉCNICA COMPENSATÓRIA DE MANEJO DE
ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS PARA UMA MICRORREGIÃO DO
MUNICÍPIO VALPARAÍSO DE GOIÁS (GO)**

Monografia apresentada como requisito para
conclusão do curso de Engenharia civil do Centro
Universitário do Planalto Central Aparecido dos
Santos – Uniceplac.

Orientadora: Prof.^a Dra. Aline Carolina da Silva
Nome Completo do Orientador: Aline Carolina da
Silva

Coorientador: MSc. Moana Duarte Lopes

.

Aparecido dos Santos – Uniceplac.

R672j

Rocha, Bruno Jerry Brandao.

Jardim de chuva: técnica compensatória de manejo de águas pluviais urbanas para uma microrregião do município Valparaíso de Goiás (GO). / Bruno Jerry Brandao Rocha. – 2021.

41 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Centro Universitário do Planalto Central Aparecido dos Santos - UNICEPLAC, Curso de Engenharia Civil, Gama-DF, 2021.

Orientação: Profa. Dra. Aline Carolina da Silva.

1. Jardim de chuva. 2. Valparaíso. 3. SWMM. I. Título.

CDU: 624

**JARDIM DE CHUVA: TÉCNICA COMPENSATÓRIA DE MANEJO DE
ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS PARA UMA MICRORREGIÃO DO
MUNICÍPIO VALPARAÍSO DE GOIÁS (GO)**

Monografia apresentada como requisito para
conclusão do curso de Engenharia civil do Centro
Universitário do Planalto Central Aparecido dos
Santos – Uniceplac.

Orientadora: Prof.^a. Dra. Aline Carolina da Silva
Nome Completo do Orientador: Aline Carolina da
Silva

Coorientador: MSc. Moana Duarte Lopes

Gama, 03 de 12 de 2021.

Banca Examinadora

Prof. Nome completo
Orientador

Prof. Nome completo
Examinador

Prof. Nome Completo
Examinador

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos vão primeiramente a Deus, que sempre está comigo e me deu forças e sabedoria para finalizar este trabalho, que toda gloria seja dada a ele.

Segundamente agradeço ao meus pais que sempre me incentivaram a estudar, lutaram para nunca deixar faltar nada, e nunca ouve de faltar nada, me motivaram a não desistir, agradeço também a minha irmã que também acreditou em mim.

Agradeço também a minha esposa, que me entendeu e me apoio em todo esse momento, sempre procurando meios de me ajudar, me incentivou quando estava desanimado e acreditou no meu potencial

Meus agradecimentos também vão para minha amiga Jessyka, que acreditou em me desde o começo, me motivando a ir até o final.

A minha orientadora Aline, que teve bastante paciência comigo, me incentivou a buscar todas as respostas para minhas dúvidas e acreditou que eu poderia chegar até aqui, e por último agradeço a minha coorientadora Moanna, que me passou um pouco de seu conhecimento, e me ajudou com o software SWMM.

RESUMO

A urbanização sem planejamento, gera impactos negativos nos centros urbanos, esses impactos são sentidos em quase todas as cidades brasileiras. Um desses impactos negativos é o aumento do escoamento superficial que leva a um aumento da frequência de desastres naturais como alagamentos, enchentes e enxurradas. No município de Valparaíso de Goiás não é diferente, a cidade sofre todos os anos com alagamentos e enxurradas, intensificadas pelas ações antrópicas. No entanto, o uso de técnicas de drenagem sustentável pode ajudar a reduzir essas problemáticas. Neste sentido, esse estudo objetivou realizar um estudo de viabilidade para a implantação de um jardim de chuva em uma quadra do município de Valparaíso de Goiás. Esse estudo foi feito com o uso de modelagem através do software SWMM. Pôde ser observado uma redução no pico de vazão de 31% e no volume total escoado de 38,8%, valores consideráveis por ser uma técnica de compensação onde o principal objetivo é auxiliar o sistema de drenagem tradicional na captação de águas pluviais.

Palavras-chave: Jardim de chuva. Drenagem urbana. SWMM. Técnica compensatória

ABSTRACT

Urbanization without planning, generates negative impacts in urban centers, these impacts are felt in almost all Brazilian cities. One of these negative impacts is the increase in surface runoff, which leads to an increase in the frequency of natural disasters such as flooding, floods and floods. In the municipality of Valparaiso de Goiás it is no different, the city suffers from flooding and floods every year, intensified by human activities. However, the use of sustainable drainage techniques can help reduce these problems. In this sense, this study aimed to carry out a feasibility study for the implementation of a rain garden in a block in the city of Valparaíso de Goiás. This study was carried out using modeling through the SWMM software. A reduction in the peak flow of 31% and in the total volume drained of 38.8% could be observed, considerable values for being a compensation technique where the main objective is to assist the traditional drainage system in capturing rainwater.

Keywords: Rain garden. Urban drainage. SWMM compensatory technique

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Camadas básicas do jardim de chuva.....	17
Figura 2 - Localização do bairro Parque São Bernardo.....	19
Figura 3 - Localização da quadra 08 no bairro Parque São Bernardo.	20
Figura 4 - Quadra 08 do bairro Parque São Bernardo.	20
Figura 5 - Divisões das sub - Bacias.....	21
Figura 6 - Simulação das sub - bacias no SWMM	21
Figura 7 - Bacia do Rio São Bartolomeu.....	22
Figura 8 - Fluxograma de parâmetros de dimensionamento.....	28
Figura 9 - Camadas do jardim de chuva para a de estudo.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros para equação IDF no município de Valparaíso de Goiás - GO	25
Tabela 2 - Coeficiente de escoamento	26
Tabela 3 - Porosidade efetiva	28
Tabela 4 - chuva de projeto inserida no SWMM.....	29
Tabela 5 - Precipitação efetiva	30
Tabela 6 - Relatório de chuva de projeto após adição do jardim de chuva	32
Tabela 7 - Relatório de chuva de projeto após adição do jardim de chuva	33

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comportamento de escoamento superficial das quadras da bacia do Prado 16

Gráfico 2 - Precipitação anual no município de Valparaíso de Goiás - GO..... 22

Gráfico 3 - Hietograma de projeto..... 29

Gráfico 4 - Hidrograma de projeto para 20 minutos..... 34

Gráfico 5 - Hidrograma de projeto para chuva de 20 minutos e 1:10 hora. 35

SUMÁRIO

RESUMO	4
1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivo geral	12
1.2 Objetivos específicos	12
1.3 Problema	12
1.4 Hipótese	13
1.5 Justificativa	13
2 REVISÃO LITERARIA	13
2.1 Drenagem urbana atual	14
2.2 Drenagem sustentável	14
2.3 Técnicas compensatórias	14
2.4 Desempenho do jardim de chuva	15
2.5 Composição dos jardins de chuva	17
2.6 Modelagem Hidrológica	18
2.7 Software SWMM	18
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	19
3.1 Descrição da área de estudo	19
3.2 Descrição do modelo de trabalho	23
3.3 Dimensionamento do jardim de chuva piloto	24
3.3.1 Vazão de entrada	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
6 REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A procura por condições melhores de vida sempre levou populações a buscarem os grandes centros urbanos, pois a concentração de oportunidades de emprego em indústrias e demais serviços tendem a ocorrer nas imediações desses locais.

No Brasil, desde a industrialização, tem ocorrido uma grande migração das áreas rurais para os centros urbanos sem um planejamento adequado, esse fenômeno levou ao surgimento de diversas problemáticas para o ambiente urbanos. Esse fenômeno levou ao surgimento de diversas problemáticas dentre elas: doenças endêmicas, inclusive as de veiculação hídrica, lixões irregulares, moradias escassas, formação de favelas, serviços de saúde e de educação ineficazes e insuficientes e transportes públicos urbanos precários. (GONÇALVES e SANTOS, 2018).

Outro problema que ocorre frequentemente nas grandes cidades são as inundações, enxurradas e alagamentos nas áreas urbanas. Esses três problemas são ocasionados por diversos fatores, como a falta de conscientização da população em jogar lixo nas ruas, impermeabilização exacerbada do solo, construções em locais de escoamento natural de águas superficiais, ocupação de áreas ribeirinhas, além de fatores relativos a mudanças climáticas (SILVEIRA, 2020).

Segundo Bonzi (2015) a impermeabilização do solo tem uma parcela significativa nos problemas citados acima, em virtude de que antes as águas que ficavam retidas na vegetação e hoje são impossibilitadas de infiltrar por causa da grande cobertura impermeável do solo (asfalto, calçadas, edificações, etc..., cidades que não tiveram um planejamento sustentável estão sujeitas a variáveis problemas com as precipitações. Outro impacto que se pode citar da impermeabilização do solo é que, associado a sistemas convencionais de drenagem urbana (galerias, poços de visita, sarjetas, etc.), pode ocorrer a degradação da qualidade de água escoada coletada e transportada até os rios. Durante a trajetória desse escoamento até o exultório a água acaba carreando detritos poluentes das ruas para a jusante. (SAATKAMP, 2019).

Na maior parte das cidades do Brasil, o manejo de águas e infraestruturas de drenagem urbana não consegue acompanhar o crescimento das áreas urbanas. Com isso os condutos que foram projetados para menores vazões acabam sendo ineficazes e impedindo que o sistema de drenagem suporte a demanda, principalmente em épocas de fortes chuvas (TUCCI, 2003).

Esses problemas, juntamente com a impermeabilização do solo, geram prejuízos não somente para a natureza, mas também prejuízos de ordem econômica e social, inclusive perda de vidas. Pesquisas mostram que cerca de 60% das mortes e 30% dos prejuízos econômicos

são causadas por desastres naturais devido as enchentes (FREEMAN, 1999 *Apud* REZENDE; MIGUEZ; VEROL, 2013). Este cenário mostra o descaso com o saneamento básico no Brasil. Segundo dados do SNIS (2019) apenas 57,3% dos municípios brasileiros possui sistema exclusivo para drenagem de águas pluviais e 22% possui sistema misto (esgotamento junto a drenagem de águas pluviais). Diante desse cenário cabe ressaltar que o saneamento básico é obrigatório no país e é instituído pela Lei Federal nº 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a Política Federal de Saneamento Básico.

Uma das ferramentas que podem ajudar a reduzir a ocorrência dessas problemáticas, são os Planos Diretores Urbanos, que são ferramentas básicas de Política de Desenvolvendo e Expansão Urbana. Esses planos devem conter propostas para um desenvolvimento saudável das cidades incluindo as áreas econômicas, ambientais, de transporte e urbanísticas (SENADO FEDERAL, 2004). No entanto, de maneira geral no Brasil os Planos Diretores não passam de propostas que estão muito longe de serem cumpridas totalmente (MOREIRA, 2008). Com um bom Plano Diretor implementado muitos dos prejuízos citados previamente não aconteceria, uma vez que essas ferramentas oferecem planejamento do uso e ocupação do solo visando, entre outros fatores, a manutenção de áreas permeáveis para a infiltração da água.

Neste contexto, a cidade de Valparaíso de Goiás (GO) não é diferente dos cenários apresentados, a população do município aumentou significativamente a partir do ano 2000, sem o acompanhamento das infraestruturas necessárias (CODEPLAN, 2014). O sistema de drenagem já não suporta a vazão atual, ocasionando vários prejuízos para o município, moradores e transeuntes como alagamentos e enxurradas, trazendo risco para vida da população, prejuízos financeiros para comerciantes, erosões, entre outros.

Contudo, as técnicas compensatórias sustentáveis para amortecimento e escoamento das águas pluviais, vem ganhando cada vez mais espaço, com o objetivo de restabelecer as condições hidrológicas das bacias hidrográficas ocupadas pela urbanização, reter e infiltrar as águas pluviais. As técnicas se dividem em não estruturais e estruturais, como por exemplo os armazenamentos em telhados, asfalto poroso, tanques residências entre outros, que são consideradas técnicas estruturais, a conscientização da população no que se trata de conservação do ciclo hidrológico da água, com palestras seminários e etc... são as técnicas chamadas de não estruturais (SOUSA, 2020).

Os jardins de chuva também se enquadram no quesito técnica compensatória, essa técnica consiste em uma estrutura simplificada, que simula as condições naturais do solo, sua principal função é a de retenção de águas pluviais, para retardar ou evitar os impactos causados pelas intensas precipitações (SAATKAMP, 2019). Nesse sistema as águas são conservadas

sobre sua superfície e depois se infiltram ou evaporam. Concomitantemente se baseia no sistema de biorretenção.

Assim, tendo como base estudos de caso Melo (2014) que apresentam os jardins de chuva como eficazes, com viabilidade financeira e alcance, por poder ser implantado com facilidade e simplicidade, além de possibilitar que a quantidade de água que escoar pelas ruas tenha um pré tratamento, levando água mais limpa para os exultório das bacias hidrográficas e proporciona áreas verdes para a cidade (MELO, 2011). Deste modo, este trabalho buscou encontrar nos jardins de chuva, um auxílio para a captação e amortecimento das águas pluviais na região do Valparaíso de Goiás (GO).

1.1 Objetivo geral

Analisar o efeito no controle do escoamento superficial provocado por um jardim de chuva na quadra 08 do bairro Parque São Bernardo, município de Valparaíso (GO), a partir de simulações feitas no modelo hidrológico SWMM.

1.2 Objetivos específicos

- Compreender a ferramenta jardim de chuva como técnica compensatória de manejo de águas pluviais urbanas;
- Analisar a eficiência de jardins de chuva como dispositivo de infiltração da água no solo e amortecedor do volume de águas para área de estudo e redução da vazão de pico;
- Avaliar através do software SWMM a eficiência da técnica compensatória jardins de chuva, como uma solução para a diminuição do escoamento superficial e vazão de pico da quadra 08 do bairro Parque São Bernardo em Valparaíso de Goiás (GO).
- Dimensionar um jardim de chuva para área de estudo.

1.3 Problema

As fortes chuvas no município de Valparaíso de Goiás (GO) e a falta de drenagem urbana vem trazendo muitos prejuízos para os comerciantes e moradores das áreas afetadas. Esse problema ocorre em decorrência do desenvolvimento urbano acelerado, que vem reduzindo áreas permeáveis e impossibilitando a infiltração natural e dificultando o escoamento

superficial das águas pluviais, impactando em inundações e alagamentos que acabam gerando prejuízos financeiros e de risco a vida.

1.4 Hipótese

O jardim de chuva é contribui para minimizar os problemas de inundações em áreas urbanas, pois além de amortecer a quantidade de água que escoam superficialmente pelas ruas, contribui para infiltração das águas no solo e faz um tratamento inicial dessas águas, quando escoam nas superfícies impermeáveis. (MELO, 2011).

1.5 Justificativa

O jardim de chuva é uma das alternativas viáveis para reduzir os problemas de drenagem urbana, por ser bastante eficiente em cidades de países desenvolvidos como Seattle, Portland, Melbourne, outras (MELO, 2011), além de subdesenvolvidos, por exemplo, algumas cidades do Brasil vêm implantando a técnica sustentável por serem soluções viáveis financeiramente e contribuírem para o aumento de áreas verdes e permeáveis nas cidades.

2 REVISÃO LITERARIA

As inundações urbanas acompanham as cidades desde o surgimentos dos primeiros aglomerados urbanos, esses fenômenos são resultados da combinação de alguns fatores tais como precipitações intensas, geomorfologia, urbanização acelerada e sem planejamento e excesso de impermeabilização do solo, impossibilitando ou dificultando a infiltração da água, tendo assim um maior acúmulo e mais duradouro de água em áreas urbanas (TRAVASSOS, 2012).

Com a crescente urbanização de diversas cidades, houve também o aumento da poluição das águas dos córregos, não somente devido a descarga de esgoto em córregos e rios, mas também pelo aumento da má disposição final de resíduos que acabam sendo carregados pela água escoada até córregos e rios(COLET, 2012).

2.1 Drenagem urbana atual

Além de resíduos sólidos, o sistema atual de drenagem urbana também transporta materiais poluentes para jusante, devido não haver um agente para reter esses materiais que antes da urbanização, de acordo com Ferreira (2013), eram retidos pela vegetação que é capaz de remover ou imobilizar esses contaminantes como metais pesados, pesticidas, entre outros.

O sistema atual de drenagem urbana citado acima, tem o objetivo somente de levar a água escoada para jusante, utilizando galerias pluviais para fazer esse controle de águas e reduzir os impactos causados pelas enchentes. Porém, com o aumento do escoamento superficial, esse tipo de técnicas se tornou uma solução insuficiente no controle quantitativo da água escoada, além de também não atuar no controle qualitativo.(CHRISTOFIDIS; ASSUMPCÃO; KLIGERMAN, 2019).

2.2 Drenagem sustentável

No início da década de 90, foi proposto conceitos de novas estratégias para a drenagem urbana, esses conceitos que são conhecidos hoje como drenagem urbana sustentável, na qual permite melhorar a qualidade da água e tem como ideia principal restaurar o ciclo hidrológico natural, que foi alterado com a urbanização (LOURENÇO, 2014).

Este conceito de drenagem urbana sustentável conhecido também como, LIDs, BMPs, SUDS, leva em consideração aspectos estruturais e não estruturais para minimizar alagamentos e enchentes nas cidades. Os aspectos não estruturais podem se ter como exemplo a educação ambiental e ações de regulamentação de uso e ocupação do solo, já os estruturais são técnicas como, asfalto permeável, telhados verdes, poços de infiltração dentre outras técnicas (LOURENCETTI; GOMES; BRANCO, 2020).

2.3 Técnicas compensatórias

Já os aspectos estruturais são conhecidos como Técnicas compensatórias ou Low Impact Development (LID). Segundo Lourenço (2014), Essas técnicas vêm sendo cada vez mais utilizadas para auxiliar o sistema de drenagem urbana tradicional. Alguns exemplos que podem ser citados são os asfaltos permeáveis, as trincheiras de infiltração e os telhados verde, que são dispositivos que ajudam no manejo sustentável das águas pluviais e tem como objetivo reproduzir a capacidade de infiltração do solo natural. (MELO, 2011).

O jardim de chuva é mais uma das técnicas bastante eficazes para combater os alagamentos, pois utilizam a biorretenção que auxilia na captação de águas superficiais das áreas urbanas através de uma área escavada e preenchida com solos que tenham uma boa permeabilidade e com materiais orgânicos. O principal objetivo dos jardins de chuva é a retenção das águas pluviais por um determinado tempo até que essa água consiga infiltrar no solo. Além dessa finalidade os jardins de chuva utilizam as atividades biológicas de plantas para filtrar a água (MELO, 2011).

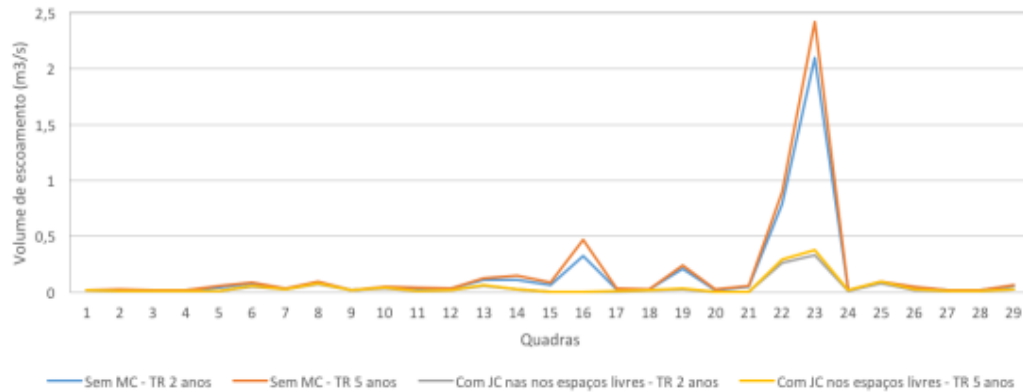
2.3 Desempenho do jardim de chuva

Os autores Reis e Ilha (2014) demonstraram o desempenho do jardim de chuva através de avaliação de desempenho hidrológico em uma área experimental em Porto Alegre. Em seu estudo eles utilizaram uma chuva de projeto de 18 min e um período de retorno de 3 anos, com a vazão de ensaio encontrada, observou-se que o jardim de chuva reteve 60% da chuva de projeto e amorteceu em 22% a vazão de pico esperada.

Já o engenheiro Responsável pela implantação do Jardim de chuva na Praça Universitária no setor Leste universitário em Goiânia (GO) e outros instalados na cidade, em entrevista com os Autores Dourado e Silva (2020), relata a redução do escoamento superficial nas áreas onde houve implantação dos jardins de chuva em 30% a 50%. Caires, Oliveira e Aguiar (2020) fizeram um estudo que objetivou a implementação de jardins de chuva buscando minimizar a probabilidade de ocorrência de inundações e alagamentos na região da Praça dos Jatobás em Montes Claros (MG). Os resultados mostraram que, para uma precipitação com tempo de retorno de 10 anos, os jardins de chuva comportaram com êxito 50% de toda precipitação.

Utilizando o software SWMM, que é um modelo hidrológico dinâmico no qual simula Hidrogramas, resultantes de dados referente a bacia de contribuição e estudada, software que também será utilizado no presente trabalho. A autora Alves (2017) conseguiu como resultado representado no Gráfico 1.

Gráfico 1: Comportamento de escoamento superficial das quadras da bacia do Prado.



Fonte: Alves (2017)

Este gráfico mostra o volume de escoamento referente às quadras da sub bacia do Prado localizada na cidade de Campina Grande – PB, utilizando a técnica compensatória, (no Gráfico 1 a autora utiliza o termo modelo compensatório utilizando a sigla MC), jardim de chuva (JC), e também apresenta o escoamento superficial sem qualquer técnica compensatória, para um tempo de retorno de 2 e 5 anos. Analisando a Figura 1, 19 quadras após a implantação dos jardins de chuva tiveram uma redução no escoamento superficial.

Essa técnica combina camadas de solo arenoso, orgânico e substratos, para a água penetrar no solo, simulando um solo natural antes da urbanização. Recomenda-se que a vegetação que será plantada seja nativa da região para que possa sobreviver em tempos de seca e se adaptar em condições adversas. (BONZI, 2015 apud CELIO et al., 2019).

De acordo com Bonzi, (2015), os jardins de chuva também colaboram para as seguintes funções:

- Ajudam com redução da poluição que é carregada com a água da chuva;
- Aumentam a umidade do ar por meio da evapotranspiração que está ligada ao metabolismo vegetal;
- Podem fazer parte de paisagens maiores como praças, parques ou margens de passeios;

Os meios de drenagem de águas pluviais urbana por jardins de chuva trazem vantagens imprescindíveis para se manter uma estabilidade na base biofísica da cidade, que por consequência traz uma série de benefícios como água mais limpa, ar puro, clima agradável para população e paisagem natural e evita uma série de problemas como inundações, ilhas de calor, poluição atmosférica, baixa umidade do ar, deslizamentos e erosões de terra (BONZI, 2015).

Reforçando o que foi falando acima os jardins de chuva tendem a imitar as condições naturais do meio ambiente, colocando esses processos naturais na cidade, ligado ao tratamento das águas e ao controle de volumes de escoamento superficialmente. Os sistemas não controlam toda a qualidade e quantidade, porém melhoram os valores, para que mesmo que não trate 100%, fiquem dentro de valores positivos (MELO, 2011).

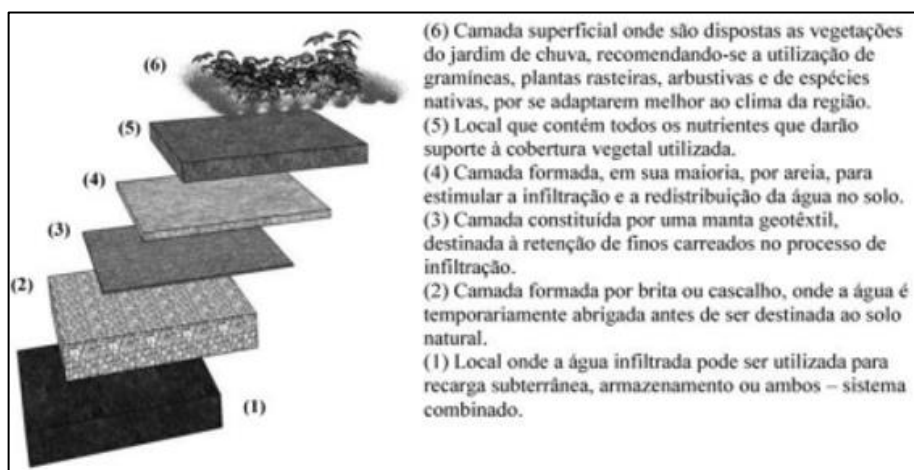
Outra vantagem nos jardins de chuva é sua facilidade de implantação, sendo possível ser coloca-los em áreas reduzidas, varandas, calçadas, quintal ou grandes estacionamentos. Além disso podem colaborar com outras tecnologias de drenagem, como pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração e telhados verdes (ALMEIDA, 2019).

A utilização de jardins de chuva acaba por se tornar atrativas para os moradores e para as pessoas que passam por perto, a população da região passam a frequentá-las, com o objetivo de realizar caminhada, corrida, passeios, esportes, e também podem atrair alguns animais da fauna local (LONDE, MENDES 2014 apud OLIVEIRA et al 2020).

2.5 Composição dos jardins de chuva.

Os jardins de chuva são compostos por camadas que auxiliam na captação, drenagem e armazenamento de águas pluviais vindas das regiões impermeáveis e das precipitações. (SANTOS, 2017). Segundo Melo et al (2014) as camadas dos jardins de chuva são compostas por 6 divisões, essas camadas estão representadas na Figura 1.

Figura 1 - Camadas básicas do jardim de chuva



Fonte: Melo *et al* (2014).

De acordo com Saatkamp (2019) algumas dessas camadas podem variar de acordo com a necessidade de armazenamento e para definir essas camadas são necessárias de algumas

informações tais como a intensidade de precipitação, precipitação efetiva, volume de escoamento, volume de infiltração e volume de armazenamento, Após a coleta dessas informações as dimensões das camadas podem ser calculadas.

2.6 Modelagem Hidrológica

Uma das maneiras mais consagradas para avaliar o processo hidrológico de uma bacia é a modelagem hidrológica, que simula os diversos processos presentes no ciclo hidrológico, como a transformação de chuva em escoamento superficial, simulação de armazenamento de água no solo e nos aquíferos, retenção de poluentes, simulação de técnicas compensatórias, entre outras vantagens (PONTES *et al.*, 2015).

Segundo Souza (2014) os modelos hidrológicos são usados desde 1970 e foram criados principalmente pelo governo dos EUA, desde então surgiram diversos modelos, como por exemplo STORM, DR3M-QUAL, DR3M-QUAL, Wallingford Model, BRASS e o SWMM que será descrito com mais detalhes no próximo tópico.

2.7 Software SWMM

O Storm Water Management Model – SWMM, que foi utilizado neste trabalho, é um software de simulação caracterizado como um modelo dinâmico chuva-vazão que consegue simular o escoamento superficial, através de uma chuva de projeto. O SWMM caracteriza cada bacia como um reservatório retangular não linear com uma certa declividade e largura, o software também permite caracterizar cada sub-bacia individualmente, podendo adicionar diversas características como declividade, porcentagem impermeável, rugosidade, coeficiente de escoamento entre outros parâmetros. (ROSSMAN, 2012).

Através das simulações o SWMM permite buscar as melhores maneiras de reduzir o escoamento superficial de bacias com risco de alagamentos e inundações, o software foi criado pela United States Environmental Protection Agency (USEPA) e traz com eles várias ferramentas que facilita o usuário a inserir os dados de entrada e entender os resultados produzidos nele (ALVES, 2017).

Outra vantagem da utilização do SWMM é a opção de se adicionar estruturas LIDs (Low Impact Development) nas simulações, algumas das técnicas incluídas no modelo são Jardim de chuva, Trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis entre outros, o SWMM permite caracterizar cada LID individualmente com a inserção de parâmetros como, espessuras das

camadas, porosidade dos materiais, rugosidade, declividade, largura do LID entre outras características individuais de cada LID, o SWMM permite adicionar os LID dentro de cada sub-bacia, ou criar uma sub-bacia somente para a técnica compensatória. (FERREIRA, 2017). Além da redução do escoamento superficial o SWMM permite também que a visualização da redução de poluentes encontrado nas águas de escoamento superficial (ROSSMAN, 2012).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Descrição da área de estudo

A cidade de Valparaíso de Goiás está ao norte do estado do Goiás, mais precisamente na divisa entre o Distrito Federal e o estado Goiano. Possui latitude de $-16^{\circ} 4' 7''$ Sul, Longitude: $47^{\circ} 58' 36''$ Oeste. O município está a 1.080 metros em relação ao nível do mar com um clima tropical, e com uma população estimada do município segundo o IBGE (2021) é de 175.720.

A área de estudo foi recortada do bairro Parque São Bernardo (Figura 2). Com longitude de $16^{\circ}03'36.2''$ Sul e longitude $47^{\circ}59'01.8''$ Oeste. O motivo da escolha do bairro são as decorrentes ocorrências de enxurradas nessa região e o conhecimento do autor sobre a região, facilitando a projeção do projeto piloto. O bairro em questão foi o primeiro do município de Valparaíso de Goiás (GO) e fica localizado na divisa entre Santa Maria (DF) e Valparaíso de Goiás (GO).

Figura 2 - Localização do bairro Parque São Bernardo.



Fonte: (Google Earth)

Para a implantação de um projeto piloto de jardim de chuva, foi escolhido uma área que abrange a quadra 08 (Figura 3).

Figura 3 - Localização da quadra 08 no bairro Parque São Bernardo.



Fonte: Google Earth (2021).

Figura 4 - Quadra 08 do bairro Parque São Bernardo.



Fonte: Google Earth (2021).

A área em questão tem um total de 9,530 m², sendo 4,690 m² de área permeável, as áreas compostas pelas quadras 8 são áreas com foco no setor comercial, constituída por feiras, e pavimentos asfáltico a região permeável e composta de solo argiloso com pouca taxa de permeabilidade o que aumenta o escoamento superficial da região.

A declividade do local foi estudada através do software Google Eath Pro que através de um gráfico de nível encontrou uma declividade média de 4,0%. com uma distância linear de 125,46 m, e a diferença de nível do ponto mais alto para o mais baixo e de 7,53 m. Com esses dados também foi possível localizar o sentido do escoamento natural, que tem como direção do Norte para Sul.

A Figura 5 apresenta a divisão das sub-bacias sendo as 3 e 4 bacias permeáveis e as demais impermeável, a área verde localizada na Sub-bacia 5 foi o local escolhido para implementar o jardim de chuva, representado pela cor verde escuro.

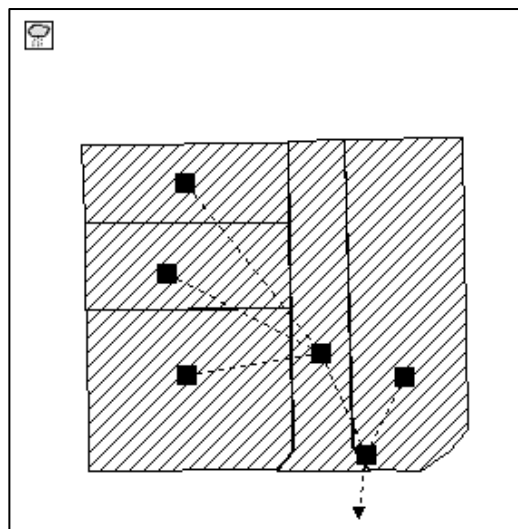
Figura 5 - Divisões das sub - Bacias.



Fonte: Autor (2021) base Google Earth

Para a simulação no software SWMM a necessidade de dividir a área de estudos em sub- bacias, e para cada superfície foi caracterizada uma sub-bacia como demonstrado na Figura 6.

Figura 6 - Simulação das sub-bacias no SWMM .

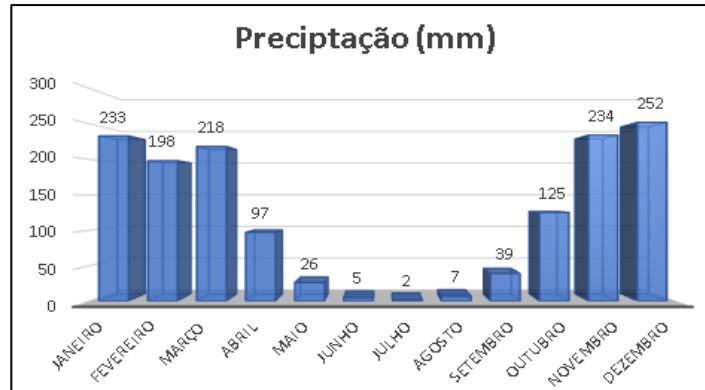


Fonte: Autor (2021) base SWMM.

Onde para cada: ■ representa uma sub- bacia e para: ▼ exultório da bacia e o sentido do escoamento das bacias e definidos por: -----

O município onde se localiza a área de estudo está a 1.080 metros em relação ao nível do mar, possui clima tropical. A pluviosidade média no município é de 1436 mm ao ano, sendo Dezembro o mês com maior intensidade dessas chuvas, com uma média de 22 dias de chuva e pluviosidade média de 252mm como demonstrado no Gráfico 2 (CLIMATE-DATA.ORG, 2019).

Gráfico 2 - Precipitação anual no município de Valparaíso de Goiás - GO.

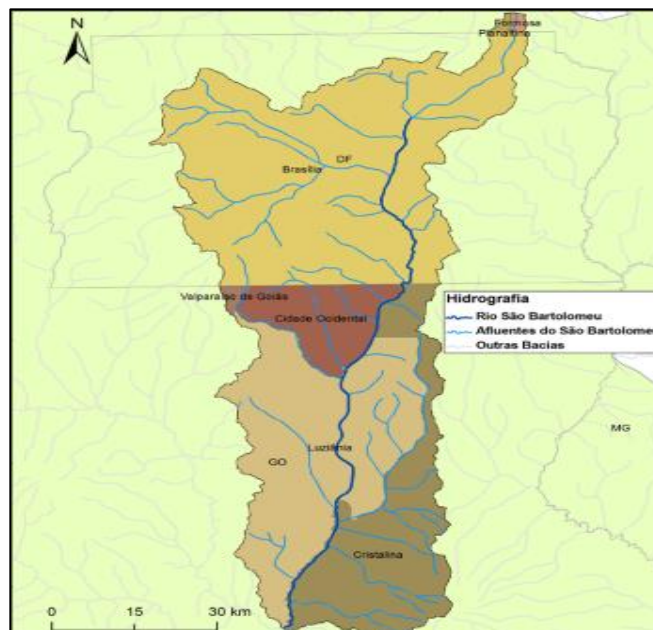


Fonte: Autor (2021) base Climate-Data.Org,.

O Gráfico 2 nos mostra a densidade maior entre os meses de Outubro até Março, em Maio começa reduzir a precipitação na cidade, começando um período sem chuva de 3 a 4 meses.

Valparaíso está localizado dentro da bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu, uma bacia com área total de 5.480 km² sendo 2.670 Km² no Distrito Federal e 2.810 Km² no Goiás (SOUZA *et al.*, 2013).

Figura 7 - Bacia do Rio São Bartolomeu.



Fonte:(SOUZA *et al.*, 2013).

O solo da cidade e de sua maioria solo argiloso, com variação de solo entre latossolos e cambissolos (SOUZA et al., 2013), o que dificulta mais a penetração da água no solo, com uma menor capacidade de infiltração aumentando o volume de escoamento superficial gerando maior possibilidade de ocorrência de alagamentos e enxurradas.

3.2 Descrição do modelo de trabalho

Parte da metodologia deste trabalho foi baseada em estudos de caso de dados secundários qualitativos e quantitativos, onde houve a necessidade de buscas de base secundária, com preferência para estudos de jardins já implantados, fórmulas, eficiência comprovada e comparações de áreas com e sem os jardins de chuva. Assim, foi possível analisar se houve ou não resultados positivos em relação à redução do escoamento superficial e à diminuição do pico de vazão com a implantação da técnica compensatória dos jardins de chuva, sendo também observado os parâmetros necessários para a implantação do mesmo, as vantagens e desvantagens encontradas.

A partir do embasamento realizado por meio de dados secundários, a segunda etapa contou com a utilização do software SWMM para a simulação do jardim de chuva na quadra 08 do Parque São Bernardo em Valparaíso de Goiás (GO). É válido salientar que o SWMM permite simular precipitações e escoamentos em uma sub-bacia, gerando um valor de escoamento superficial, e assim podendo ser feita uma comparação do escoamento e pico de vazão antes e depois da introdução dos jardins de chuva.

O software Storm Water Management Model - SWMM é um software de simulação hidrológica, que através das simulações busca permite que o usuário encontre as melhores maneiras de reduzir o escoamento superficial de bacias com risco de alagamentos e inundações. O SWMM foi criado pela United States Environmental Protection Agency (USEPA) e traz com ele várias ferramentas que facilitam ao usuário inserir os dados de entrada e compreender os resultados produzidos nele (ALVES, 2017).

Outra vantagem da utilização do SWMM é a opção de utilizar LID (Low Impact Development) que são técnicas compensatória, como Jardim de chuva, Trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis entre outros, que o software permite, tais dispositivos quando inseridos no SWMM permite que o software também mostre a redução de poluentes (ROSSMAN, 2012).

3.4 Dimensionamento do jardim de chuva piloto.

Para realização da simulação no SWMM na área proposta para o projeto, foi necessário verificar alguns parâmetros importantes, como as dimensões das áreas impermeáveis para assim poder ser calculado a área dos jardins de chuva. O dimensionamento do jardim de chuva, foi dividido em duas partes, Primeiramente calculou-se a área plana do jardim de chuva, está pode ser calculada de diversas maneiras, por ainda não haver um padrão de execução, o método adotado neste trabalho foi o utilizado pela autora Melo (2011) que se baseia em utilizar uma porcentagem mínima da área impermeável de 5%. A área impermeável deste trabalho corresponde a 4.840 m², e por isso, dimensionou-se um jardim de chuva com 476,5 m² com objetivo de um cálculo mais efetivo foi utilizado 480 m² de área para implantação do jardim de chuva.

Para uma melhor captação do escoamento foi proposto a implantação do jardim de chuva na extremidade esquerda da sub-bacia 5 como demonstrado na Figura 5,

A segunda parte se refere ao dimensionamento da camada de brita do jardim de chuva, para essa etapa foi dividida em três sub etapas: intensidade pluviométrica, volume de entrada e volume de saída.

3.4.1 Intensidade pluviométrica.

Para calcular a intensidade pluviométrica foi utilizado a equação IDF Saatkamp (2019) com os parâmetros A,B,C,D foram retirados da Tabela 1, para a cidade de Valparaíso de Goiás (GO).

Equação 1:

$$I = \frac{294 \times Tr^{0,24}}{(t + 2,4)^{0,63}}$$

Onde:

I = Tempo de concentração (mm/h)

Tr = Tempo de recorrência (anos)

t = Tempo de duração da chuva (min)

Tabela 1 - Parâmetros para equação IDF no município de Valparaíso de Goiás (GO)

CIDADE	ESTADO	A	B	C	D	R2
Valparaíso de Goiás	Goiás	294	0,24	2,4	63	0,995

Fonte: Adaptado Gonçalves (2011).

Alem dos parametros encontrados na Tabela 1, a Equação 1 necessita de um valor de tempo de retorno (Tr) que foi definido de 10 anos por ser o tempo de retorno mais recomendado para projetos de jardins de chuva, (SAATKAMP, 2019). O tempo da chuva de projeto (t) foi estimado a partir do tempo de concentração da bacia, que foi calculado a partir da equação de Schaake (Equação 2).

Equação 2:

$$t_c = 0,0828 \cdot L^{0,24} \cdot S^{-0,16} \cdot A_{imp}^{-0,26}$$

Onde:

t_c = Tempo de concentração (min)

L = comprimento ao longo do escoamento (km)

S = Declividade (m/m)

A = Área impermeável (km²)

Onde para o comprimento ao longo da bacia utilizou 0,13 km e para declividade 0,04 mm, foi encontrado um tempo de concentração de 20 min, para melhor distribuição do tempo no Hidrograma através do bloco alternado , foi utilizado o valor de 22 min.

3.4.1 Vazão de entrada

A vazão de entrada foi calculada através do método racional (Equação 3), utilizada por Caire; Oliveira e Aguiar (2020) esse método é indicado para bacias pequenas com no máximo 2km² (Equação 3).

Equação 3:

$$Q = \frac{C \times I \times A \times 10^{-3}}{3600}$$

Onde:

Q = Vazão de entrada (m³/s);

C = coeficiente de escoamento;

I = intensidade da precipitação (mm/h);

A= área do telhado (m²);

Onde o coeficiente de escoamento foi retirado da Tabela 2.

Tabela 2 - Coeficiente de escoamento

SUPERFÍCIE		CONSIDERAÇÕES	
		INTERVALO	VALOR ESPERADO
Pavimento	asfalto	0,70 – 0,95	0,83
	concreto	0,80 – 0,95	0,88
	calçadas	0,75 – 0,85	0,80
	telhado	0,75 – 0,95	0,85
Cobertura: grama, arenoso	plano (2%)	0,05 – 0,10	0,08
	médio (2 a 7%)	0,10 – 0,15	0,13
	alta (7%)	0,15 – 0,20	0,18
Gramma, solo pesado	plano (2%)	0,13 – 0,17	0,15
	médio (2 a 7%)	0,18 – 0,22	0,20
	declividade alta (7%)	0,25 – 0,35	0,30

Fonte: Melo (2011).

O coeficiente utilizado para vazão de entrada foi de 0,85 considerando a superfície como telhado, levando em consideração o pior cenário.

Após ter o valor de vazão de entrada foi calculado o volume de entrada através da Equação 4 utilizada por Medeiros (2019).

Equação 4:

$$v_E = Q \times t$$

Onde:

v_E = Volume de entrada m³/s

Q = Vazão de entrada

t = tempo (s)

Volume de saída

É o ultimo parâmetro necessario para o cálculo da camada de brita e o cálculo de volume de saída, que é o volume que sai do jardim de chuva e infiltra no solo natural, a equação é representada da seguinte forma:

Equação 5:

$$v_s = A \times I$$

Onde:

v_s = Volume de saída (m³)

A = Área de infiltração (m²)

I = Infiltração acumulada (mm)

A área de infiltração corresponde a área em que a água vai começar a sair do jardim de chuva para o solo natural, e para este estudo foi considerado o pior cenário, onde a infiltração ocorre somente na base do jardim de chuva correspondente á 480m².

Já a taxa de ifiltração, corresponde a lamina de água que infiltra no solo, em relação ao tempo.

Equação 6:

$$I = K \times T^M$$

Onde:

I = infiltração acumulada (mm)

K e M = constantes

T = tempo de infiltração acumulada (min)

K e M são constantes que depende do tipo de solo, os valores adotados dessas contantes nesses estudo foram baseados no teste de infiltração de Junio et al (2020) aonde foi encontrado o k de 1,9643 e o M de 0,8988 para solo argiloso.

Após ser obtidos a intensidade pluviometrica, volume de entrada e de saída a altura da brita foi determinado apartir da Equação 7 utilizada por diversos autores.

Equação 7:

$$H_b = \frac{v_E - v_s(h_A \times b \times L \times \eta_A)}{(b \times L \times \eta_b)}$$

Onde:

H_b = Altura da camada de brita (cm)

v_E = Volume de entrada (m³)

v_s = Volume de saída (m³)

h_A = Altura da camada de areia (cm)

B = Largura do jardim de chuva (m)

L = comprimento (m)

η_A = porosidade da areia

η_b = porosidade da brita

Para melhor locação do jardim de chuva na área escolhida, foi proposto uma largura de 12 m e um comprimento de 40 m.

Os valores de porosidade foram retirados da Tabela 3

Tabela 3 - Porosidade efetiva

Material	Porosidade efetiva (%)
Brita grossa	30
Cascalho de granulometria uniforme	40
Brita graduada (menores que 1/4")	30
Areia	25
Seixo rolado	15-25

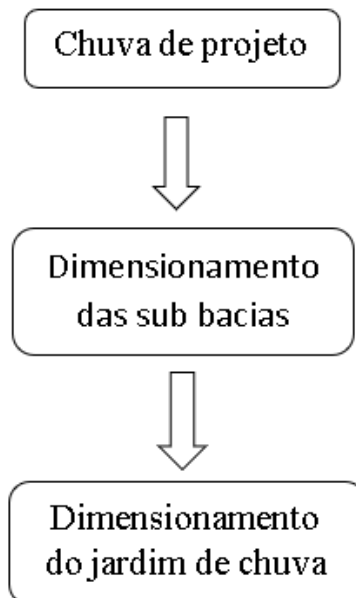
Fonte: Medeiros (2019)

Para brita, foi considerado 30% utilizando a brita grossa, e para a areia o valor de porosidade efetiva foi de 25%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para realizar a simulação no software SWMM alguns parâmetros de dimensionamento foram necessários para a melhor eficiência da simulação, os parâmetros foram divididos em três etapas, demonstradas na Figura 8.

Figura 8 - Fluxograma de parâmetros de dimensionamento.

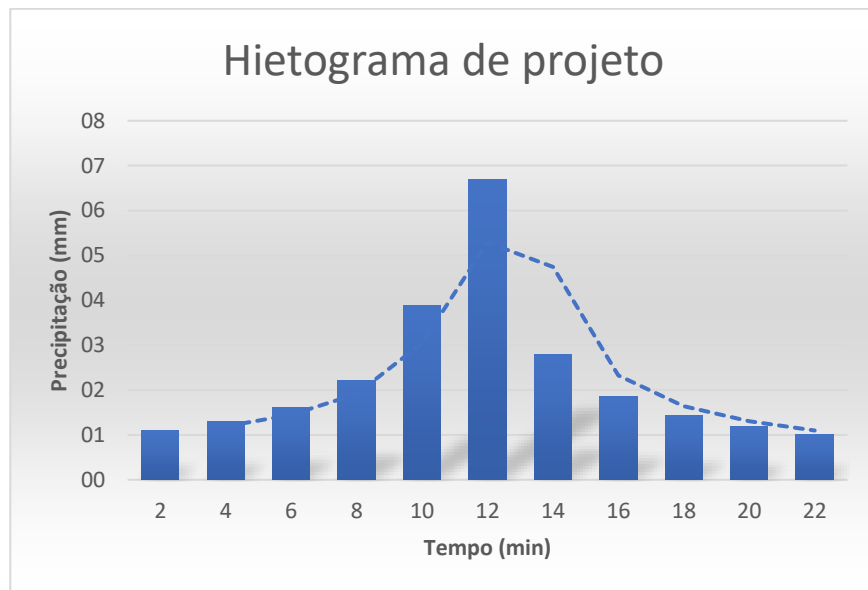


Fonte: Autor (2021).

Para estabelecer a eficiência do jardim de chuva, a primeira etapa foi estabelecer uma chuva de projeto, um dos métodos mais utilizados na hidrologia é através da equação IDF (

intensidade duração frequência), e para isso foi considerado um tempo de retorno de 10 anos que segundo Saatkamp(2019) é o tempo de retorno mais indicado para projetos de jardim de chuva, o próximo parâmetro exigido pela equação IDF é o tempo da chuva de projeto, que para esse estudo foi utilizado 22 minutos, referente ao tempo de concentração da bacia, que através da Equação 2 teve como resultado 20 minutos, porem para a utilização do método de blocos alternados foi definido 22 minutos, para uma melhor distribuição do Hietograma de projeto (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Hietograma de projeto.



Fonte: Autor (2021).

Utilizando a Equação 1 foi possível construir hietograma do Gráfico 3, no qual representa a chuva que foi inserida no software SWMM, conforme demonstra a Tabela 4.

Tabela 4 - chuva de projeto inserida no SWMM

Date (M/D/Y)	Time (H:M)	Value
11/21/2021	00:02	1.1
11/21/2021	00:04	1.3
11/21/2021	00:06	1.6
11/21/2021	00:08	2.2
11/21/2021	00:10	3.9
11/21/2021	00:12	6.7
11/21/2021	00:14	2.8
11/21/2021	00:16	1.9
11/21/2021	00:18	1.4
11/21/2021	00:20	1.2
11/21/2021	00:22	1.0

Fonte: Autor (2021) base SWMM.

A Tabela 4 representa cada valor de precipitação, resultante do tempo adotado após a definição da chuva de projeto, e dos parâmetros das sub-bacias, foi também necessário fazer o cálculo da precipitação efetiva utilizando um tempo de retorno para 10 anos e uma chuva de projeto de 22 min, foi encontrado 68,3 mm/h de precipitação efetiva. Como representado na Tabela 5.

Tabela 5 - Precipitação efetiva

Tempo (min)	Precipitação efetiva (mm)
2	200,9
4	158,7
6	133,7
8	116,8
10	104,6
12	95,2
14	87,7
16	81,6
18	76,4
20	72,1
22	68,3

Fonte: Autor (2021).

Seguindo as etapas para o cálculo da camada de brita foi utilizando a Equação 3, para a vazão de entrada foi encontrado $0,078 \text{ m}^3/\text{s}$, com esse resultado foi possível calcular o volume de entrada que resultou em 103 m^3 .

Para a última constante necessária para dimensionar a espessura da camada de brita, foi utilizado a Equação 5 para volume de saída, porém para este cálculo foi necessário calcular a infiltração acumulada (Equação 6) onde resultou em 31,5 cm, após se obter a infiltração acumulada a equação de volume de saída resultou em 15 m^3 .

Observando o valor de volume de entrada em comparação com o volume de saída, notasse que apenas 14,5% do volume que entrou é infiltrado, esta situação ocorre devido ao tipo de solo, que na região é um solo argiloso, no qual há menos permeabilidade, Medeiros (2019) em seu estudo comparativo no qual foi feito teste de infiltração em solo argiloso observou também a baixa capacidade de infiltração desse tipo de solo, outro fator que contribuiu para a baixa infiltração foi que o cálculo da área de infiltração foi considerado o pior cenário, onde a água infiltra apenas na base do jardim de chuva, não levando em consideração que a uma parcela de infiltração nas laterais do jardim de chuva.

Com todos as contantes calculadas a espessura da camada de brita resultou em 87,8 cm, utilizando a Equação 7 porém para efeito de calculo se utilizou 90 cm para camada de brita.

No SWMM a camada de areia não é considerada, somente a camada de retenção e a camada de substrato, onde foi adotado para o substrato 20 cm, a escolha dessa altura de substrato levou em consideração o utilizados em outros projetos de jardim de chuva.

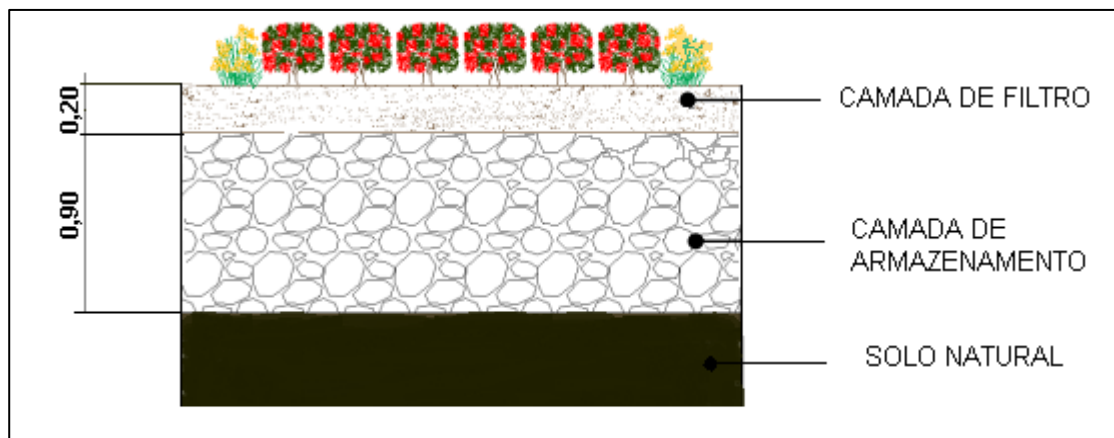
As vegetações sugerida foram selecionadas através do estudo de Silva (2019), onde foi levado em consideração as algumas plantas nativas da região do cerrado como potencial paisagístico, algumas delas são:

- Bromélia reversacantha
- Mimosa setosissima.
- Helicteres saca-rolha.
- Orquídeas.

O jardim nos permite escolher variadas plantas típicas da região, quanto mais vegetação estiver nos jardim, melhor serem os resultados da diminuição dos poluentes presentes nas águas, fazendo assim um pre tratamento das águas pluvias.

A Figura 9 apresentar uma perspectiva do modelo dimensionado do jardim de chuva, que para o SWMM considera o jardim de chuva apenas com duas camadas, porém essa limitação do software não retira a eficiencia da tecnica, já que o jardim de chuva pode varias em ter ou não uma camada de areia, e em outros casos alem da camada de área, tambem utilizam uma manta geltext, já que ainda não existe um padrão construtivo para técnica.(SAATKAMP, 2019).

Figura 9 - Camadas do jardim de chuva para a de estudo.



Fonte: adaptado (MELO, 2011).

Atraves da utilização do software SWMM para modelagem hidrológica, foi projetado o jardim de chuva, na quadra 08 do bairro São Bernardo em Valparaiso de Goiás (GO), para analisar a eficiência do jardim de chuva foi utilizada uma chuva de projeto representada pelo Gráfico 3.

Após a simulação do modelo hidrologico foi comparando o escoamento superficial da bacia sem o jardim de chuva (Tabela 6) e depois com a técnica compensatoria (Tabela 7) tambem foi comparado o pico de vazão antes e depois do jardim atraves do hidrograma de projeto (Gráfico 3)

Tabela 6 - Relatório de chuva de projeto sem adição do jardim de chuva.

Bacias	Total precipitado (mm)	Total acumulado (mm)	total infiltrado(mm)	Total escoado (mm)
Bacia 1	25,11	0	0	23,49
Bacia 2	25,11	0	0	23,5
Bacia 3	25,11	0	15,87	8,84
Bacia 4	25,11	98,6	0	123,12
Bacia 5	25,11	0	16,38	7,83
JC	25,11	319,07	0	342,62

Fonte: autor (2021).

A partir desses valores notasse que nas bacias 1, 2, 4 não há infiltração por se tratar de bacias 100% impermeavel as 1 e 2 se trata de galpões comerciais, já a bacia 4 se tratar de uma área coberta por asfalto, e recebe o escoamento das bacias 1,2 e 3 aumentando o volume de água escoado devido não haver área para a água da precipitação infiltrar, nessas bacias 100 % impermeavel 93,5% de toda precipitação se torna escoamento superficial, e 6,5% são as perdas iniciais consideradas pelo SWMM como armazenamento em depressão, que se refere a abstrações que ocorrem no começo das precipitações por interceptação da vegetação e o acúmulo de água na superfície.

Nas sub-bacias 3 e 5 houve infiltração, respectivamente de 15,87 mm/h e 16,38mm/h, devido se tratar de áreas permeáveis, porém por se tratar de um solo argiloso, há menor permeabilidade fazendo com que ainda haja escoamento superficial.

A sub-bacia JC foi projetada utilizando uma parcela da sub-bacia 5, como demonstrada na Figura 5, aonde devido a declividade do terreno tende a receber maior escoamento, diante a está circunstancia, na primeira simulação essa bacia foi considerada como impermeavel para melhor observação do escoamento total do sistema, essa consideração acarretou em um acrescimo no volume de água escoado no sistema em geral, esse acrescimo de área impermeavel

foi considerado como um pior cenário, no qual foi considerado a impermeabilização dessa área para construção de um estacionamento, nessas condições não houve volume permeado na região.

Na segunda simulação (Tabela 7) o jardim de chuva foi implantado na sub-bacia em questão, para receber o escoamento superficial das demais bacias, a partir da análise dessa sub-bacia foi possível observar o escoamento superficial de todo o sistema.

Tabela 7 - Relatório de chuva de projeto após adição do jardim de chuva

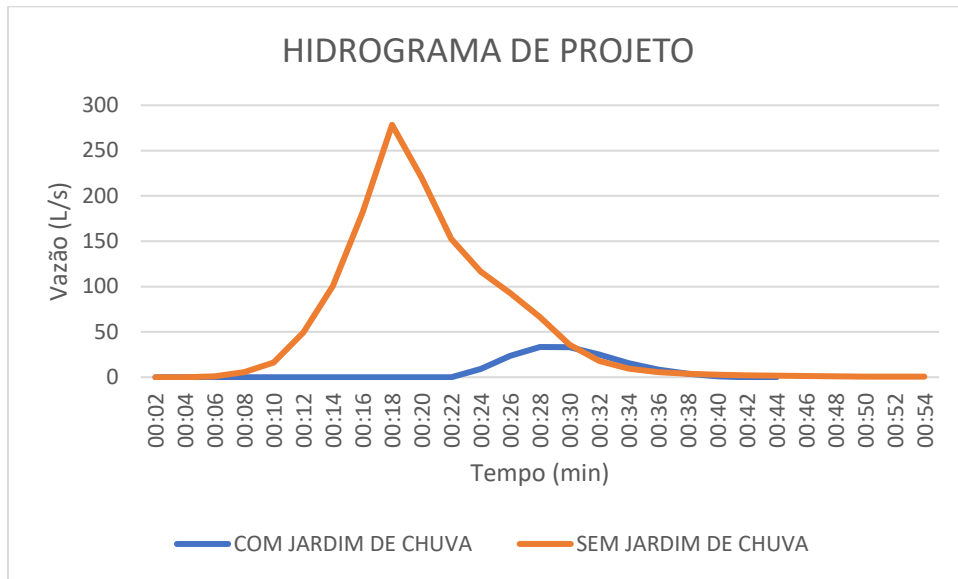
Bacias	Total precipitado (mm)	Total acumulado (mm)	total infiltrado (mm)	Total escoado (mm)
Bacia 1	25,11	0	0	23,49
Bacia 2	25,11	0	0	23,5
Bacia 3	25,11	0	15,87	8,84
Bacia 4	25,11	98,6	0	123,12
Bacia 5	25,11	0	16,38	7,83
JC	25,11	319,07	71,21	38,31

Fonte: Autor (2021) base SWMM.

Após a simulação com o jardim de chuva houve uma redução de 88,82% do escoamento superficial, onde dos 342,62 mm/h escoado apenas 38,31 mm/h não foram retidos pelo jardim de chuva, 209,55 mm/h foram retidos no jardim de chuva e 71,21 mm/h infiltrado, tendo 22,31% apenas infiltrado, essa baixa taxa de infiltração se dá por dois fatores, o primeiro é o tipo de solo, que no caso é um solo argiloso, possui uma pequena taxa de infiltração capaz de aumentar a probabilidade de inundações e enxurradas.

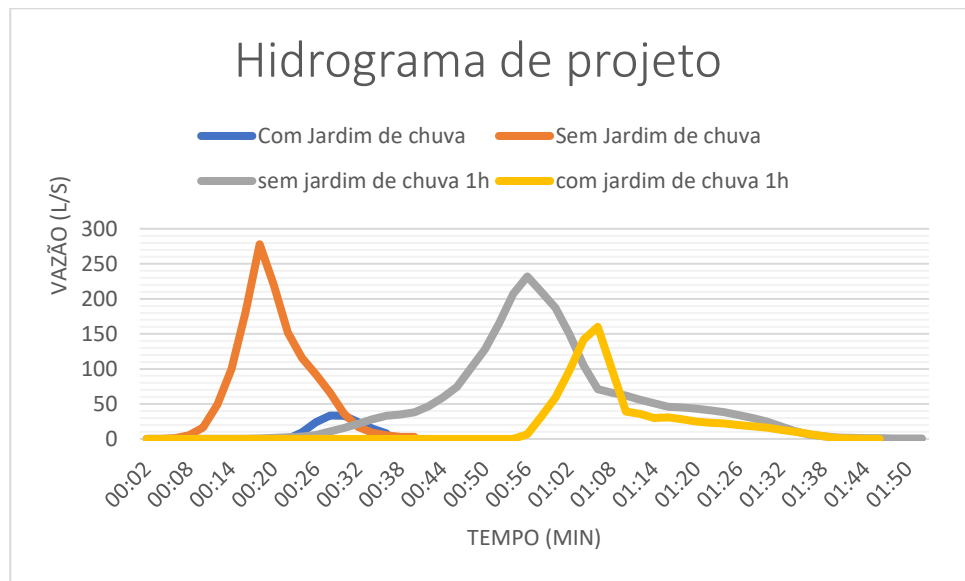
O segundo fator se dá por conta da área permeável escolhida, que para esse trabalho foi escolhido o pior cenário, onde somente a base do jardim irá infiltrar, porém mesmo para o pior cenário já há uma redução no risco de enxurradas, levando em conta que a maior quantidade de escoamento é captada pelo sistema de drenagem da região, outra questão que deve ser levada em conta é a dimensão do projeto atual, onde foi escolhido apenas uma quadra da cidade para fazer a simulação, em proporções maiores a redução do escoamento superficial também é aumentada.

O hidrograma (Gráfico 4) mostra o pico de vazão segundo as condições adotadas neste trabalho.

Gráfico 4 - Hidrograma de projeto para 20 minutos.

Fonte: Autor (2021).

Com a aplicação do jardim de chuva, houve uma redução significativa no pico de vazão, reduzindo vazão máxima em 88,02%. A técnica compensatorio apresentou grande redução nos valores de pico de vazão e de escoamento superficial, valores maiores dos que foram encontrados na revisão literaria, tendo um valor maior para o pico de vazão em comparação com o estudo de Reis e Ilha (2014) onde conseguiram 22% para redução do pico de vazão, entretanto o jardim de chuva foi exposto a uma chuva de 22 minutos, onde quando o jardim começa a extravasar já é o final da precipitação, para uma melhor compreensão dos resultados da técnica compensatória, foi feita uma simulação com duração de 1:10h , para um tempo de retorno de 10 anos, com esse aumento do tempo de chuva ouve uma redução de 38,8%, no escoamento superficial, já no pico de vazão o Gráfico 5 apresenta a diferença do pico de vazão de 1:10 h para 20 minutos com ou sem o jardim de chuva.

Gráfico 5 - Hidrograma de projeto para chuva de 20 minutos e 1:10 hora.

Fonte: Autor (2021).

No segundo Hidrograma, no qual foi projetado para uma chuva de 1:10 h, a uma redução do pico de vazão de 31%, se comparada com o Hidrograma de 20 minutos a uma grande diferença, essa diferença se dá por motivos que quando o jardim extravasa na chuva de 22 minutos, a chuva já está no final, então não há mais precipitação para gerar escoamento apenas o que ainda esco gerando esse leve pico, são devidos das precipitações que caíram mais distante do exutorios dessa bacia.

Já para a chuva de 1:10 h devido a intensidade da chuva ser menor, apenas em 56 minutos o jardim de chuva extravasa, tendo ainda 14 minutos de precipitação gerando assim mais escoamento superficial e por consequência o aumento do pico de vazão, entretanto os valores encontrados para o tempo de duração de 1:10 h são satisfatórios, lembrando que o jardim de chuva tem como objetivo de suporte ao sistema de drenagem convencional, e em comparação com o estudo Reis e Ilha (2014) que utilizando o jardim de chuva, encontraram uma redução de pico de vazão de 22%, o jardim simulado neste estudo está excelente para o auxílio da drenagem urbana.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo consistiu, por meio de uma simulação hidrológica no software SWMM, simular uma solução para as enchentes e enxurradas na quadra 08 do bairro Parque São Bernardo, localizado no município de Valparaíso de Goiás (GO), tendo em vista a redução do escoamento superficial derivado das águas da chuva e reduzir o pico de vazão resultante da

crescente urbanização e impermeabilização do solo. Ao final do estudo, pode-se afirmar que seu objetivo foi concretizado, além da redução significativa do escoamento superficial para uma chuva de projeto de 22 minutos e com um tempo de retorno de 10 anos, também foi feita uma simulação para uma chuva com maior duração, onde se encontrou valores de escoamento superficial e redução de pico de vazão menores. Contudo os valores encontrados no segundo tempo foram os valores esperado para circunstâncias da região.

Observou-se que o jardim de chuva pode cumprir sua principal função, que é auxiliar o sistema de drenagem urbana da região, infiltrando e contendo parte do escoamento superficial, apesar do solo natural da região ser um solo argiloso cuja a taxa de infiltração é inferior a outros tipos de solo, mesmo nessas situações a técnica compensatório se mostrou eficiente.

O jardim de chuva se mostrou uma medida eficiente, não só ao longo dessa simulação, mas também, em outros estudos nos quais autores como Medeiros (2019), que comprovam em seus estudos, sendo capaz de amenizar os problemas decorrentes das chuvas, como enchentes, alagamentos e enxurradas. Outra vantagem da técnica compensatória é que o jardim de chuva além de eficiente no auxílio na drenagem urbana, uma solução econômica se comparada com outras medidas cabíveis.

Contudo apesar da eficiência e simplicidade do jardim de chuva, e uma técnica que não pode ser usada como drenagem principal de uma região, por não ser capaz de reter toda água das precipitações, sendo aconselhável apenas como apoio.

Outras técnicas podem ser implementadas para maior eficiência da drenagem urbana, técnicas como bueiros inteligentes podem evitar entupimentos das bocas de lobo, o reaproveitamento das águas que são precipitadas em cima dos telhados, para uso como lavagem de carro, áreas, para regar plantas entre outras utilidades, além de medidas não convencionais, como palestras sobre o reaproveitamento da água e a conscientização de não jogar lixo em lugares inapropriados.

Os jardins de chuva também podem ser utilizados para uso particular em lotes que sofram com alagamentos, sendo assim o jardim de chuva pode ser implantados pelos moradores em áreas particulares, e pelos governantes em vias públicas, levando vantagens através do jardim de chuva, como aumento das áreas verdes no meio urbano, diminuição das ondas de calor, a retirada de poluentes das águas, levando água mais limpas para os aquíferos e permitindo o cultivo de variadas plantas nativas da região.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA JÚNIOR, Milton Cesar Delgado de; CASTRO, Patrícia Alves Leão de; SANTOS, Gilmar Oliveira. Taxa de infiltração de água no solo em diferentes usos do solo. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 115–121, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v8n2.almeida>. Acesso em: 20 Nov. 2021.

ALVES, Priscila Barros Ramalho. Simulações De Medidas Compensatórias Sustentáveis De Drenagem: Propostas Em Duas Microbacias Urbanas. [s. l.], p. 130, 2017.

BONZI. Andar Sobre Agua Preta a Aplicacao Da Infraestrutura Verde Em Areas Densamente Urbanizadas. [s. l.], n. 16, p. 159, 2015.

CAIRES, Rayanne; OLIVEIRA, Kananda De; AGUIAR, Vanderson. Elaboração de projeto de jardins de chuvas para minimização das enchentes. **Construindo**, [s. l.], v. 12, p. 56–66, 2020.

CHRISTOFIDIS, Demetrios; ASSUMPÇÃO, Rafaela dos Santos Facchetti Vinhaes; KLIGERMAN, Débora Cynamon. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. **Saúde em Debate**, [s. l.], v. 43, n. spe3, p. 94–108, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-11042019s307>. Acesso em: 15 Out. 2021.

CODEPLAN. Valparaíso de Goiás. [s. l.], 2014.

COLET, Karina Marcondes. Avaliação do Impacto da Urbanização sobre o Escoamento Superficial na Bacia do Córrego do Barbado, Cuiabá-MT. [s. l.], p. 151, 2012. Disponível em: <http://200.129.241.80/ppgeea/sistema/dissertacoes/61.pdf>. Acesso em: 20 Nov. 2021.

FERREIRA. MODELAGEM COMPUTACIONAL COM APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE DESENVOLVIMENTO DE BAIXO IMPACTO NA BACIA URBANA DO RIACHO MOXOTÓ NA CIDADE DE RECIFE/PE. **Solid State Ionics**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 1–10, 2017. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167273817305726%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/s41467-017-01772->. Acesso em: 20 Set. 2021.

FERREIRA, Luciana Schwandner. Vegetação em áreas urbanas: Benefícios e custos associados. **Revista LABVERDE**, [s. l.], v. 6, p. 12–36, 2013. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/61502/64413>. Acesso em: 10 Out. 2021.

GONÇALVES, Lidiane. Relações intensidade-duração-frequência com base em estimativas de precipitação por satélite. [s. l.], p. 135, 2011.

GONÇALVES; SANTOS, Eric. Revista de direito urbanístico, cidade e alteridade.

Revista de Direito Urbanístico, Cidade e Alteridade, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 19–38, 2018. Disponível em: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=132449678&site=eds-live>. Acesso em: 15 Abril. 2021.

LOURENÇO, ROSSANA. Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis. [s. l.], p. 1–19, 2014.

MEDEIROS. ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMAS DE DRENAGEM COMPENSATÓRIAS: VALA DE INFILTRAÇÃO E JARDIM DE CHUVA. *Αγαη*, [s. l.], v. 8, n. 5, p. 55, 2019.

MELO, Tássia dos Anjos Tenório de. Jardim da chuva: sistema de biorretenção como técnica compensatória no manejo de águas pluviais urbanas. [s. l.], 2011. Disponível em: <http://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5799>. Acesso em: 17 Abril. 2021.

MELO, Tássia dos Anjos Tenório de *et al.* Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 147–165, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212014000400011>. Acesso em: 17 Abril. 2021.

MOREIRA, H. F. O plano diretor e as funções sociais da cidade. **CPRM - Serviço Geológico do Brasil**, [s. l.], p. 27, 2008.

PONTES, PAULO *et al.* Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões / Hydrologic and hydraulic large-scale modeling with inertial flow routing. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s. l.], v. 20, n. 4, p. 888–904, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n4.p888-904>. Acesso em: 10 Nov. 2021.

REIS, Ricardo Prado Abreu e; ILHA, Marina Sangoi de Oliveira. Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água de chuva: poço de infiltração e jardim de chuva. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 14, n. 2, p. 79–90, 2014.

REZENDE, OSVALDO; MIGUEZ, MARCELO; VEROL, ALINE. Manejo de Águas Urbanas e sua Relação com o Desenvolvimento Urbano em Bases Sustentáveis Integradas? Estudo de Caso dos Rios Pilar-Calombé, em Duque de Caxias/RJ. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 149–163, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v18n2.p149-163>. Acesso em: 06 Set. 2021.

ROSSMAN, Lewis a. Manual do usuário - EPA SWMM 5.0 - Modelo de Gestão de Drenagem Urbana. **Manual, Guia, Norma**, [s. l.], p. 280, 2012.

SAATKAMP, Gabriela de Almeida. Jardim de chuva: estudo comparativo de um sistema de biorretenção de uma bacia de amortecimento pluvial. [s. l.], 2019.

SANTOS. INFRAESTRUTURAS VERDES NO CONTEXTO URBANO: A APLICABILIDADE DO TETO VERDE E JARDIM DE CHUVA NA CIDADE DE SÃO LUÍS-MA. [s. l.], v. 01, n. 718908, p. 718908, 2017.

SENADO FEDERAL. **LEI nº 10.257, de 10 de julho de 2001 - Estatuto da cidade.** [S. l.: s. n.], 2004. ISSN 1098-6596.*E-book*.

SILVA. PLANTAS ORNAMENTAIS DO CERRADO Mayara Wesley da Silva 1 RESUMO. [s. l.], p. 146–152, 2019.

SILVEIRA. Chuvas E Vazões Da Grande Enchente De 1941 Em Porto Alegre / Rs Rains and Flows of the Great Flood of 1941 in Porto Alegre / Rs. [s. l.], n. Mcc, p. 69–90, 2020.

SOUZA, João Paulo *et al.* Mapeamento Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, escala 1:100.000. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, [s. l.], v. 314, p. 1–38, 2013.

SOUZA. MONITORAMENTO E MODELAGEM HIDROLÓGICA DA SUB- BACIA DO LAGO PARANOÁ - BRASÍLIA/DF - E AVALIAÇÃO DE BACIA DE DETENÇÃO. **Modal Sosial Dalam Pendidikan Berkualitas Di Sekolah Dasar Muhammadiyah Muitihan**, [s. l.], n. September, 2014.

TRAVASSOS, Luciana. Urban Flooding: a Social and Environmental Issue. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 88–105, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5585/geas.v1i1.12>. Acesso em: 03 Nov. 2021.

TUCCI, Carlos E. M. Ciência e cultura. **Ciência e Cultura**, [s. l.], v. 55, n. 4, p. 36–37, 2003. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000400020&lng=en&nrm=iso&tlng=pt Acesso em: 2 Set. 2021.