



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIAS E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL

LUMA GABRIELA FONSECA ALVES

ADEQUABILIDADE E MODELAGEM DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA
SUSTENTÁVEL NA PERSPECTIVA DO ASSENTAMENTO PRECÁRIO

CAMPINA GRANDE – PB

2021

LUMA GABRIELA FONSECA ALVES

**ADEQUABILIDADE E MODELAGEM DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA
SUSTENTÁVEL NA PERSPECTIVA DO ASSENTAMENTO PRECÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado durante o curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande como requisito parcial de obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Orientador: Prof. Carlos de Oliveira Galvão
– UFCG**

**Coorientador: Prof. Demóstenes Andrade de
Moraes - UFCG**

CAMPINA GRANDE – PB

2021

LUMA GABRIELA FONSECA ALVES

**ADEQUABILIDADE E MODELAGEM DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA
SUSTENTÁVEL NA PERSPECTIVA DO ASSENTAMENTO PRECÁRIO**

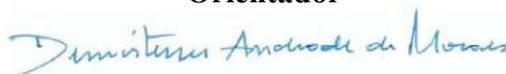
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado durante o curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande como requisito parcial de obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 20 de maio de 2021

BANCA EXAMINADORA



Carlos de Oliveira Galvão
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador



Demóstenes Andrade de Moraes
Universidade Federal de Campina Grande
Coorientador



Janiro Costa Rêgo
Universidade Federal de Campina Grande
Examinador Interno



Ellen Emerich Carulli
Universidade Federal do ABC
Examinador Externo

Em memória do professor Eduardo Eneas de Figueiredo,
com o qual tive meu primeiro contato com o estudo da
Drenagem Urbana.

AGRADECIMENTOS

À pessoa mais importante da minha vida, Viviana, minha mãe, minha maior incentivadora, meu exemplo de resiliência, dedicação e autodisciplina. Obrigada mamãe, pelo amor mais puro que existe. Ao meu pai, Lula, pelo esforço de sempre querer se fazer presente.

À minha irmã, primas e primos, tios e tias e vô, por me conhecerem tanto e por acreditarem em mim mais do que eu mesma (apesar de me considerarem a caçula eterna da família!). Obrigada pelas melhores lembranças e memórias. Com vocês aprendo todos os dias (desde 1999). E claro, aos membros de quatro patas da família, Plutinho e Amélie, por fazerem a minha vida tão mais leve e simples, quebrando qualquer clima de estresse.

Ao meu Orientador, Carlos Galvão, por ser essa pessoa ímpar que tive a sorte de conhecer e a honra de trabalhar junto. Obrigada prof. por me abrir as portas ao mundo da pesquisa de uma forma tão leve e acolhedora e por me fazer superar meus próprios limites. Ao meu Coorientador, Demóstenes Andrade, pela confiança, disponibilidade e partilha de conhecimento de uma área que me enche os olhos.

Às minhas amigas de infância, em especial à Luana e Day, que perduram até hoje e que conseguem me despertar o mais profundo estado de nostalgia quando olho as fotos eternizadas naquela antiga câmera digital prata modelo de 2010 (O tempo corre!). E às minhas amigas da juventude, Gabi, Geovanna, Gustavo, Hamilton, Mateus, Milena, Teresa e Vinícius, que me permitiram evoluir tanto junto com eles. Quero viver ainda muitas coisas boas com vocês!

À todos os professores do curso de Engenharia Civil, por todo acolhimento, paciência e generosidade nesses quase 5 anos de jornada.

À todos os integrantes do grupo de pesquisa “A dimensão ambiental e as infraestruturas de drenagem na urbanização de favelas” por todas as conversas e contribuições diretas para que este trabalho chegasse em seu resultado final.

Obrigadaaa!!!

“Aproxime-se, então verás. ”

(Matt Shultz)

RESUMO

Em cidades de países em desenvolvimento, é frequente a formação de assentamentos densos, precários e de ocupação irregular. Nessas áreas, a ocorrência de eventos de chuva intensa e a constante impermeabilização do solo, geram grandes volumes de escoamento, que podem vir a alagar vias, casas e equipamentos urbanos. Entretanto, soluções de drenagem urbana adotadas em programas de governo que visam revitalizar e formalizar essas áreas, comumente empregam obras centralizadas, pautadas no princípio higienista. É neste contexto que os Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS) surgem como uma alternativa ao controle do escoamento pluvial, com o intuito de reduzir a vulnerabilidade a alagamento na bacia, beneficiando vertentes urbanas, sociais e ambientais. Este estudo simula dispositivos SUDS (pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração, sistemas de biorretenção e sistemas de captação de água de chuva) na bacia da Ramadinha, em Campina Grande-PB, que é constituída por assentamentos precários e cuja intervenção em drenagem urbana foi financiada pelo Programa de Aceleração do Crescimento – Urbanização de Assentamentos Precários (PAC-UAP). São identificadas diferentes configurações e componentes urbanos ao longo da bacia de modo a localizar áreas passíveis ao recebimento das SUDS selecionadas. Em seguida, diferentes cenários com a aplicação dessas medidas, aplicadas em áreas públicas e privadas, são simulados para um evento de chuva intensa, utilizando o software de simulação hidráulico/hidrológica SWMM – Storm Water Management Model. Com a simulação, foi observada a distribuição espacial dos pontos de alagamentos e a redução do volume total alagado em cada configuração urbana para cada cenário, bem como o impacto desses acontecimentos no acesso aos componentes urbanos que fazem parte do dia a dia da comunidade. Os resultados mostraram que as medidas SUDS aplicadas apenas em locais públicos não são capazes de mitigar por completo os pontos de alagamento ao longo da bacia. Porém, as reduzidas possibilidades de implementação de SUDS nesses locais, foram compensadas pela eficácia das mesmas quando alocadas em áreas privadas. Tais fatos mostram que um dos elementos chaves para a mitigação da vulnerabilidade ao alagamento em áreas densas e consolidadas, é a integração das medidas SUDS com o engajamento da comunidade local no processo de planejamento e tomada de decisões.

Palavras-chave: Assentamentos precários, SUDS, configurações urbanas, drenagem urbana, modelo de simulação, alagamento

ABSTRACT

In cities in the developing world, dense, precarious, and informal settlements are common. In these areas, the occurrence of intense rainfall and the increased impervious surfaces have led to disastrous flash floods, harassing roads, houses and public facilities. However, the main urban drainage solutions adopted by the government, in order to improve these areas, frequently focuses in highly centralized drainage systems based on the 19th-century sanitary philosophy. Sustainable urban drainage systems (SUDS) are an alternative to enhance stormwater management and runoff control, providing benefits related to social and environmental domains. This study simulates SUDS techniques (permeable pavements, infiltration trenches, biorretention systems and rainwater harvesting systems) at the Ramadinha catchment, located in the city of Campina Grande. This catchment is composed of precarious settlements and received urban drainage interventions financed by the government program PAC-UAP. We identify different spatial urban components and configurations throughout the Ramadinha catchment in order to target strategic locations for SUDS implementation. We also present a modeling framework of SUDS implementation, using the Storm Water Management Model (SWMM) to simulate different SUDS scenarios, introduced both in public and private areas. During the simulation, it was observed the spatial distribution of flooding hotspots and the decreasing of the total flooding volume in the urban configurations, for each scenario. Besides, it was analyzed the impact of flooding in the access to public facilities necessary to the community daily life. The results demonstrate that SUDS measures implemented in public spaces are not enough to completely avoid flooding in the denser parts of the catchment. In such cases, measures must be implemented in private lots due to the reduced amount of available public spaces. Such evidence shows that one of the key elements for flash floods management in consolidated dense and precarious urban settlements is the integration between SUDS measures and the mobilization and engagement of local inhabitants in planning and decision-making.

Key-words: Precarious settlements, SUDS, urban configuration, urban drainage systems, simulation model, flash floods.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diferença da configuração urbana entre áreas formais e informais	20
Figura 2: Efeito da urbanização no ciclo hidrológico em diferentes situações de ocupação da bacia	24
Figura 3: Hidrograma do escoamento superficial em diferentes cenários de urbanização	28
Figura 4: Espaço público com SUDS multifuncional.....	30
Figura 5: Paisagem urbana com SUDS multifuncional	30
Figura 6: Técnicas SUDS para diferentes componentes urbanos	31
Figura 7: Esquema de uma trincheira de infiltração	32
Figura 8: Trincheira de infiltração adjacente à via e calçada.....	33
Figura 9: Exemplo de uma seção de um sistema de biorretenção	34
Figura 10: Sistema de biorretenção integrado à paisagem urbana	35
Figura 11: Esquema de pavimento permeável intertravado.....	37
Figura 12: Pavimento permeável em um local de passagem de pessoas	37
Figura 13: Esquema de captação de água da chuva	39
Figura 14: Tanque coletor de água da chuva	39
Figura 15: Esquema representativo do funcionamento das LIDs no SWMM	41
Figura 16: Fluxograma dos procedimentos adotados na pesquisa	42
Figura 17: Área de estudo.....	44
Figura 18: Renda média por setor censitário	45
Figura 19: Declividade da bacia	46
Figura 20: Situação de pré e pós urbanização da bacia da Ramadinha.....	47
Figura 21: Uso e ocupação do solo da bacia.....	48
Figura 22: Tipos de vias na bacia em relação ao tipo	49
Figura 23: Tipos de calçadas ao longo da bacia	50
Figura 24: Configurações Urbanas da Bacia	51
Figura 25: Configuração Urbana 1	52
Figura 26: Configuração Urbana 2	53
Figura 27: Configuração Urbana 3	54
Figura 28: Configuração Urbana 4	55
Figura 29: Elementos de macro e microdrenagem implementados na Bacia	56
Figura 30: Casas e estabelecimentos sem recuo da via	57
Figura 31: Casas com barreiras, ruas e casas alagadas e danificadas durante eventos de chuva	57
Figura 32: Cenários de simulação	61
Figura 33: Direção do escoamento	62
Figura 34: Discretização e topologia da bacia	63
Figura 35: Evento de chuva analisado	64
Figura 36: Metodologia de definição de quando ocorre alagamento no modelo	65
Figura 37: Declividade média de cada sub-bacia	66
Figura 38: Porcentagem impermeável para cada sub-bacia.....	67
Figura 39: Mapeamento da adequabilidade da bacia ao recebimento dos pavimentos permeáveis.....	74
Figura 40: Porcentagem de área adequada ao recebimento dos pavimentos permeáveis em áreas públicas e privadas	75
Figura 41: Mapeamento da adequabilidade da bacia ao recebimento das trincheiras de infiltração	77
Figura 42: Porcentagem de área adequada ao recebimento das trincheiras de infiltração em áreas públicas.....	78
Figura 43: Mapeamento da adequabilidade da bacia ao recebimento dos sistemas de Biorretenção	79
Figura 44: Porcentagem de área adequada ao recebimento dos Sistemas de Biorretenção em áreas públicas e privadas	80
Figura 45: Mapeamento da adequabilidade da bacia ao recebimento dos tanques coletores de água de chuva	81
Figura 46: Porcentagem de área adequada ao recebimento dos tanques coletores de água de chuva em áreas privadas.....	82
Figura 47: Pontos de alagamento no Cenário atual	83
Figura 48: Gráfico do volume de alagamento do cenário atual	84
Figura 49: Pontos de alagamento no Cenário 1	85
Figura 50: Gráfico do volume de alagamento do cenário 1 em relação ao cenário atual	85
Figura 51: Pontos de alagamento no Cenário 2	87
Figura 52: Gráfico do volume de alagamento do cenário 2 em relação aos cenários anteriores	87
Figura 53: Pontos de alagamento no Cenário 3	88
Figura 54: Gráfico do volume de alagamento do cenário 3 em relação aos cenários anteriores	88

Figura 55: Pontos de alagamento no Cenário 4	90
Figura 56: Gráfico do volume de alagamento do cenário 4 em relação aos cenários anteriores	90
Figura 57: Gráfico do volume de alagamento do cenário 4 em relação aos cenários anteriores	92
Figura 58: Gráfico do volume de alagamento do cenário 5 em relação aos cenários anteriores	92
Figura 59: Pontos de alagamento do Cenário 6	93
Figura 60: Gráfico do volume de alagamento do cenário 6 em relação aos cenários anteriores	94
Figura 61: Impacto do alagamento no acesso aos equipamentos públicos da bacia	96
Figura 62: Impacto do alagamento na articulação da bacia com o entorno	97
Figura 63: Impacto do alagamento no acesso às paradas de ônibus da bacia	98
Figura 64: Programa minha árvore atuando na bacia da Ramadinha	100

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Vantagens e desvantagens das trincheiras de infiltração	33
Quadro 2: Prós e contras dos sistemas de biorretenção	36
Quadro 3: Vantagens e desvantagens dos pavimentos permeáveis	38
Quadro 4: Variáveis de alocação para cada técnica SUDS.....	60
Quadro 5: Classificação hidrológica dos solos	68
Quadro 6: Camadas de entrada das SUDS no SWMM	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de CN para cada tipo de solo.....	69
Tabela 2: Características dos condutos inseridos no modelo.....	70
Tabela 3: Capacidade de armazenamento em depressão para as áreas permeáveis e impermeáveis.....	70
Tabela 4: Coef. de Rugosidade de manning para as áreas permeáveis e impermeáveis da sub-bacia.....	71
Tabela 5: Coeficiente de rugosidade de manning para os condutos	71
Tabela 6: Parametrização das SUDS	72

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	14
CAPÍTULO 2 - APORTE TEÓRICO	18
2.1. O PAC - UAP E SUAS INTERVENÇÕES NA DRENAGEM URBANA	18
2.2. CONFIGURAÇÃO URBANA E ESPECIFICIDADES DOS ASSENTAMENTOS PRECÁRIOS.....	20
2.3. CONCEITOS HIDROLÓGICOS	21
2.3.1. Chuvas Intensas	21
2.3.2. Bacia hidrográfica como unidade de estudo	22
2.3.3. Influência da urbanização nos desastres ambientais e consequentes impactos nos assentamentos precários.....	23
2.4. SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA: DIFERENTES CONCEPÇÕES	26
2.4.1. A Drenagem Convencional.....	27
2.4.2. A Drenagem Urbana Sustentável.....	27
2.5. STORM WATER MANAGEMENT - SWMM	40
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA.....	41
3.1. A ÁREA DE ESTUDO.....	43
3.1.1. Aspectos gerais	44
3.1.2. Configurações Urbanas da bacia	50
3.1.3. Intervenção atual de drenagem e falhas persistentes	55
3.2. INTEGRAÇÃO DAS SUDS À ÁREA DE ESTUDO	58
3.2.1. Seleção das SUDS a serem simuladas	58
3.2.2. Processo de mapeamento da adequabilidade das SUDS no espaço urbano da bacia.....	59
3.3. DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO.....	60
3.4. PROCESSO DE SIMULAÇÃO HIDRÁULICO/HIDROLÓGICA	61
3.4.1. Discretização e topologia da bacia.....	62
3.4.2. Evento de chuva intensa	63
3.4.3. Quando ocorre alagamento no modelo?	64
3.4.4. Parametrização	65
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	73
4.1. ADEQUABILIDADE DA BACIA À IMPLEMENTAÇÃO DE SUDS	73
4.1.1. Pavimentos Permeáveis (P.P)	73
4.1.2. Trincheiras de Infiltração (T.I)	76

4.1.3.	Sistemas de Biorretenção (S.B)	78
4.1.4.	Sistemas de captação de água de chuva (S.C.A.C).....	81
4.1.	RESULTADOS DA SIMULAÇÃO	82
4.1.1.	Alagamento no Cenário Atual	83
4.1.2.	Alagamento no Cenário 1	84
4.1.3.	Alagamento no Cenário 2	86
4.1.4.	Alagamento no Cenário 3	88
4.1.5.	Alagamento no Cenário 4	89
4.1.6.	Alagamento no Cenário 5	91
4.1.7.	Alagamento no Cenário 6	93
4.2.	IMPACTO DO ALAGAMENTO E DA APLICAÇÃO DE SUDS NA VIDA URBANA	95
4.2.1.	Acesso à equipamentos públicos	95
4.2.2.	Integração da bacia com o entorno	96
4.2.3.	Acesso aos pontos de ônibus	97
4.3.	ABORDAGENS PARA AÇÕES DE INTERVENÇÃO.....	98
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....		102
CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		105
APÊNDICE A - IMPACTO DA URBANIZAÇÃO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM BACIA OCUPADA POR ASSENTAMENTOS PRECÁRIOS EM CAMPINA GRANDE		112
APÊNDICE B - AVALIAÇÃO INTEGRADA DAS SOLUÇÕES DE DRENAGEM URBANA EM ASSENTAMENTO PRECÁRIO		122
APÊNDICE C - MODELLING AND ASSESSMENT OF SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS IN DENSE PRECARIOUS SETTLEMENTS SUBJECT TO FLASH FLOODS.....		142
APÊNDICE D - A SOCIO-ECOLOGICAL ROBUSTNESS APPROACH FOR EVALUATION OF URBAN GREEN INFRASTRUCTURE EFFECTIVENESS IN A DENSE PRECARIOUS SETTLEMENT		157

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

O crescimento urbano acelerado e desordenado, com as constantes modificações do uso e ocupação do solo das bacias urbanas, tem gerado grandes manchas de solo impermeabilizado nas cidades. Essa realidade, combinada à insuficiência e precariedade das infraestruturas de drenagem, e na ocasião dos eventos hidrológicos de alta intensidade, pode acarretar significativos volumes de escoamento superficial, sobrecarregando os sistemas de drenagem presentes na região e aumentando a susceptibilidade a inundações e alagamentos (SINGH, 2011). Tais fatos, elevam a vulnerabilidade socioambiental da bacia e impactam negativamente a qualidade de vida de algumas comunidades. Ademais, vias são inundadas, comprometendo a mobilidade, dificultando o acesso à facilitadores urbanos e alagando casas (JIUSTO & KENNEY, 2015);

Em assentamentos precários, decorrentes da ocupação desigual e desordenada do solo, frequentemente renegados as áreas ambientalmente frágeis do município (CITIES ALLIANCE, 2014), os transtornos causados pelo alagamento tornam-se ainda mais evidentes. A susceptibilidade a alagamentos e inundações agrava-se pela vulnerabilidade socioeconômica e a capacidade limitada para lidar com o desastre, que está refletida na precariedade do acesso à infraestrutura básica e nos padrões de alto adensamento urbano sem prévio planejamento (UN-HABITAT, 2003).

Para contornar estes problemas, desde os anos 1970, vêm sendo implementados programas de desenvolvimento e urbanização que visam recuperar e regularizar essas áreas. Em 2007, foi criado o Programa de Aceleração do Crescimento para a promoção do desenvolvimento econômico a partir da implantação de infraestruturas urbanas. Uma de suas modalidades, a Urbanização de Assentamentos Precários, visa financiar, dentre outros elementos da infraestrutura urbana, grandes obras de drenagem no intuito de mitigar os problemas advindos com alagamentos e inundações em áreas de ocupação precária (BRITO, 2015).

Observa-se, no entanto, que nos projetos do PAC-UAP, de modo predominante, foram priorizadas obras de drenagem emergidas na ideologia higienista do século XIX, cuja prioridade é o escoamento das águas precipitadas de forma mais rápida possível a partir de grandes obras de canalização dos rios e galerias de concreto. Essas soluções de drenagem convencionais, por transferirem as vazões para a jusante, acabam por agravar o problema de inundação neste local

(SILVEIRA, 2002) e nem sempre mitigam por completo os problemas de alagamento advindo com as chuvas intensas em todos os locais da bacia.

Além disso, nota-se uma insistência em implementar intervenções que se adequam bem às áreas de traçados e parcelamentos regulares, mas não necessariamente se adequarão ao espaço informal e mais adensados dos assentamentos precários. Nestas áreas, as intervenções são obrigadas a ocorrer em situações já existentes, precárias, irregulares e em constante mudança, requerendo, assim, soluções que consigam se adaptar de forma cuidadosa e eficiente às suas particularidades sociais, ambientais e ocupacionais (JIUSTO & KENNEY, 2015).

Neste contexto, novas abordagens em drenagem urbana, como os Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS), vêm sendo pensadas no intuito de capturar escoamento pelo processo de interceptação, infiltração e retenção, fazendo com que o ciclo hidrológico se aproxime de suas condições de pré-urbanização (SLETTTO, 2019; FLETCHER, 2015). Além disso, por poderem ser aplicadas de forma descentralizada e em uma escala local, os SUDS permitem que a comunidade possa exercer um dos papéis principais do processo de planejamento e tomada de decisões. Como resultado, as técnicas SUDS podem ajudar a melhorar a paisagem urbana e reduzir a vulnerabilidade a alagamento na bacia, unindo benefícios relacionados aos aspectos urbanos, sociais e ambientais (FLETCHER, 2015).

Uma gama de dispositivos SUDS, como sistemas de biorretenção, pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração e sistemas de armazenamento de água de chuva, pode ser implementada na paisagem urbana da bacia. No entanto, de acordo com Silveira (2002), tal visão moderna da drenagem urbana é passível a ser aplicada em áreas já consolidadas e de alto adensamento, se for possível aproveitar os espaços ainda disponíveis e/ou subutilizados da bacia. Daí a importância de desenvolver projetos que envolvam SUDS baseados no contexto ao qual a bacia e sua comunidade constituinte está inserida (ARIZA, 2019).

Nos últimos anos, pesquisas vêm sendo feitas para identificar áreas em potencial e modelar a implementação das medidas sustentáveis, utilizando a análise das variáveis físicas, urbanas e socioeconômicas de áreas urbanas já consolidadas. Ariza (2019) concluiu que, para a cidade de Bogotá, a área construída é de extrema importância para o gerenciamento do escoamento pluvial nos lugares privados, devido a disponibilidade reduzida de espaços públicos. Dando maior ênfase aos assentamentos precários e comunidades marginalizadas, Garcia-Cuerva (2018), em estudo para a bacia Walnut Creek Wetland em Carolina do Norte,

percebeu que sistemas de biorretenção aplicados de forma descentralizada (em lotes de particulares), atingiram maiores porcentagens de redução no volume de escoamento e vazão de pico da bacia se comparado à soluções centralizadas (em grandes áreas públicas), enfatizando a importância do engajamento da comunidade nas intervenções que envolvem SUDS.

Todavia, modelar eventos de chuva-vazão para identificar áreas susceptíveis ao alagamento e analisar a efetividade de técnicas SUDS em áreas adensadas e informais é um desafio de proporções consideráveis. É necessário um grande nível de detalhe e cuidadosa observação espacial, devido aos padrões únicos de ocupação e uso do solo, à divergência do que está estabelecido no código de obras e a escassez de dados. Por isso fez-se necessário neste trabalho, o uso de modelos hidráulico/hidrológicos e técnicas de geoprocessamento que permitem grande nível de detalhamento, de modo a representar com assertividade as características de ocupação dos assentamentos precários.

Este trabalho soma-se aos esforços das atividades realizadas pelo núcleo UFCG dentro da rede de pesquisa: “*A dimensão ambiental e as infraestruturas de drenagem na urbanização de favelas: concepções de projeto, formas de produção das redes e especificidades dos assentamentos precários*”, associada ao INCT Observatório das Metrôpoles e que envolve o estudo de caso de cinco cidades do país: Curitiba (UTFPR), São Paulo (UFABC), Recife (UFPE), Belém (UFPA) e Campina Grande (UFCG). Esta última com um dos enfoques na bacia da Ramadinha, que abrange uma área da cidade constituída por assentamentos precários e cuja drenagem urbana recebeu intervenção do PAC-UAP.

O principal objetivo desta pesquisa é, portanto, analisar a adequabilidade e modelar dispositivos SUDS na bacia da Ramadinha. Para tanto, visa-se levar em consideração as diferentes configurações e componentes da paisagem urbana e avaliar os efeitos dessa implementação na redução do alagamento, através da composição de diferentes cenários simulados para um evento de chuva intensa.

São objetivos específicos da pesquisa:

- Selecionar os SUDS que possuam características adequadas a serem implantadas na área de estudo, levando em consideração o levantamento de informações da literatura, as condições urbanas e socioeconômicas e a possibilidade de simulação do modelo.

- Delinear configurações e componentes urbanos que influenciem na alocação de cada SUDS selecionada para estudo, de modo a mapear a adequabilidade da área de estudo ao recebimento destas técnicas;
- Avaliar cenários com e sem a implementação de SUDS quanto às suas capacidades de sanar a vulnerabilidade ao alagamento, gerado para um evento de chuva intensa;
- Analisar a distribuição espacial da vulnerabilidade ao alagamento e seus impactos na vida urbana da bacia, nos cenários de pré e pós implementação de SUDS;
- Indicar abordagens para ações de intervenção necessárias para integrar as técnicas SUDS na paisagem urbana;

O trabalho estrutura-se em 5 capítulos. No Capítulo 1, é introduzido a relevância da pesquisa e destacado seu objetivo. No Capítulo 2, o aporte teórico sintetiza referências da literatura estudadas durante o processo de concepção da pesquisa. No Capítulo 3, a área de estudo e as ferramentas computacionais utilizadas são apresentadas, seguida da metodologia e processos necessários até se obter os produtos e resultados expostos no Capítulo 4. O Capítulo 5 conclui o trabalho e recomenda possíveis próximos estudos que podem ser realizados para a área.

CAPÍTULO 2 - APORTE TEÓRICO

2.1. O PAC - UAP E SUAS INTERVENÇÕES NA DRENAGEM URBANA

O programa de aceleração do crescimento (PAC) é um programa do Governo Federal Brasileiro, anunciado em janeiro de 2007, que consiste na aplicação de uma série de medidas com o intuito de promover o desenvolvimento econômico, o aumento do emprego e a melhoria das condições de vida dos cidadãos brasileiros, através de investimentos em setores estruturantes do Brasil. O programa foi projetado em duas partes, PAC 1 (2007 a 2010) e PAC 2 (2010 a 2014). (RODRIGUES, 2008).

Ainda na primeira fase do PAC, foi lançada a modalidade Urbanização de Assentamentos Precários (PAC-UAP), marcando, com isso, um novo momento da política de urbanização de assentamentos precários no país, que, de acordo com o Ministério das Cidades (BRASIL,2010, p.9) são:

Territórios urbanos com dimensões e tipologias variadas, habitados, majoritariamente, por famílias de baixa renda e caracterizados por uma ou mais das peculiaridades seguintes: i) irregularidade fundiária e/ou urbanística; ii) deficiência de infraestrutura; iii) ocupação de áreas sujeitas a alagamentos, deslizamentos ou outros tipos de risco; iv) altos níveis de densidade dos assentamentos e das edificações combinados à precariedade construtiva das unidades habitacionais; v) insuficiência dos serviços públicos em geral, principalmente de saneamento, educação e saúde. (BRASIL,2010, p.9).

O PAC-UAP, através da parceria entre governos estaduais e municipais com governo federal, financia obras de infraestrutura, drenagem, equipamentos sociais, construção de novas moradias, requalificação habitacional, trabalho social, regularização fundiária, abastecimento de água, esgotamento sanitário, iluminação pública, entre outros investimentos, visando ‘formalizar’ os assentamentos precários formados durante a história de urbanização do Brasil. É através desse programa, que o governo destina recursos de montantes significantes para uma política de urbanização de favelas (BRITO, 2015).

Como já exposto anteriormente, uma das obras primordiais nas intervenções do PAC diz respeito às soluções de drenagem e manejo de águas pluviais em concomitância com projetos urbanísticos. Estas obras de drenagem são um dos elementos estruturadores da urbanização, afetando consideravelmente áreas urbanas, pois se relacionam com características sociais e geográficas de ocupação de bacias hidrográficas urbanizadas. Porém, um fator que deve ser levado em consideração, no que tange à intervenção da drenagem urbana em assentamentos precários desenvolvidos pelo PAC-UAP, é a realidade dos projetos produzidos que, por muitas vezes, apresentam incompatibilidade com a área real de intervenção, havendo,

com isso, um aumento significativo na imprevisibilidade durante a execução da obra. Soma-se a isto, ainda, o fato de nem sempre estas intervenções estarem baseadas em um planejamento integrado com as demais infraestruturas urbanas e as questões sociais, ambientais e urbanísticas.

Deste modo, como grande parte dos assentamentos precários está localizada em áreas com graves problemas ambientais, susceptíveis à alagamentos e inundações, com alta densidade populacional e infraestrutura de má qualidade desde a sua concepção. É notório que a execução de obras de saneamento e drenagem adquiram um nível alto de complexidade, uma vez que se torna necessário intervir na ocupação da bacia, fazendo com que uma parcela significativa da população residente tenha que ser removida de suas habitações, para viabilizar a construção das obras de infraestrutura e para eliminá-las da situação de risco na qual estão sendo submetidas. Essas famílias deveriam ser reassentadas para locais próximos, adequados e seguros. De acordo com o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB, 2013 apud SCHIMITT et. al. p. 780):

A drenagem urbana, quase sempre tratada como um serviço complementar das secretarias municipais de obras, fora restringida a redes e condutos coletores de águas pluviais, ainda hoje sem a necessária articulação com a dinâmica urbana de uso e ocupação do solo, [...] Dos quatro componentes do setor de saneamento, os serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas são os que apresentam maior carência de políticas e organização institucional. A urbanização acelerada e caótica, com a falta de disciplinamento do uso e ocupação do solo, inclusive das áreas de inundação natural dos rios urbanos, e, ainda, a falta de investimentos em drenagem das águas pluviais, resultou no aumento das inundações nos centros urbanos de maneira dramática. (PLANSAB, 2013 apud SCHIMITT et. al. p. 780)

Nota-se, portanto, inclusive em obras concebidas pelo PAC, uma predominância de soluções de drenagem urbana, baseadas em soluções conservadoras e em medidas estruturais¹ em detrimento das não estruturais² e da articulação com outras dimensões. Além disso, como o planejamento urbano acontece quase que prioritariamente para a região ocupada pela população de média e alta renda (TUCCI,2008), a cidade acaba dividindo-se em espaços formais³ e informais⁴, sendo que para estes últimos, ainda estão distantes as soluções integradas que levam em conta as dimensões ambientais, urbanísticas, sociais e infraestruturais do local de intervenção, mesmo através de programas que são voltados especificamente para estas áreas.

¹ As **medidas estruturais** estão diretamente relacionadas à construção de obras de engenharia (CANHOLLI,2014).

² As **medidas não estruturais** são aquelas que não dependem de obras para reduzir os danos e consequências das inundações, como normas, programas, regulamentos e disciplinamento do uso e ocupação do solo em cada cidade (CANHOLI,2014).

³ É na **Cidade Formal** onde está concentrada a maior parte dos investimentos públicos e o foco do planejamento urbano (ALENCAR,2014).

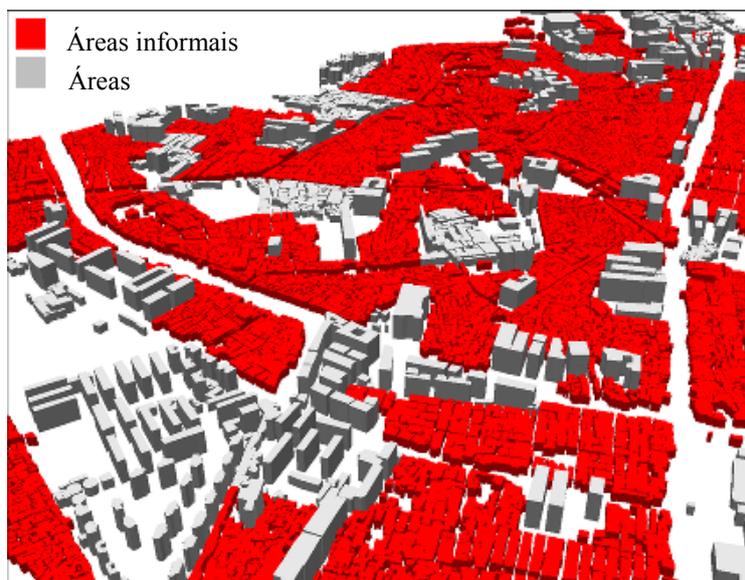
⁴ A **Cidade Informal** é a antítese da cidade formal, se desenvolve na ilegalidade urbana e possui acentuadas diferenças socioambientais (ALENCAR,2014).

2.2. CONFIGURAÇÃO URBANA E ESPECIFICIDADES DOS ASSENTAMENTOS PRECÁRIOS

As complexas e inúmeras transformações no espaço urbano ao longo do tempo, transformou-o em uma malha constituída por diferentes padrões e configurações espaciais (STOKES, 2019). Estas diferentes formas urbanas, afetam distintamente os diversos espaços que constituem a cidade (GIL, 2012 apud. PALME, 2020). Deste modo, é perceptível que centros, periferias, áreas urbanamente consolidadas e não consolidadas, possuem diferentes arranjos de disposição e disponibilidade dos componentes urbanos, como a densidade das áreas construídas, (residenciais, comerciais e institucionais), vias e espaços abertos públicos e privados.

Tais delimitações e limites imaginários ou não entre as configurações urbanas da cidade, também podem vir acompanhado por uma segregação que, além do mundo físico interfere no aspecto social dos envolvidos naquele espaço (LEGEBY, 2013). Assim, formas orgânicas, amorfas, altamente adensadas com ocupações por vezes improvisados e ilegais são características inerentes dos assentamentos precários, diferindo das formas regulares e planejadas de outras partes da cidade, como mostra a Figura 1.

Figura 1 Diferença da configuração urbana entre áreas formais e informais



Fonte: Taubenböck (2019)

Assentamentos precários, no entanto, não são homogêneos ao longo do seu território e a abordagem utilizada para o mapeamento dessas áreas ainda é um desafio frente à falta de informações, padronização e registro dos seus espaços urbanos. O sensoriamento remoto é a

ferramenta mais utilizada atualmente para identificar os padrões urbanos ao longo desses assentamentos, porém a interpretação das suas imagens produto ainda pode levar a certas imprecisões de resultados (TAUBENBÖCK, 2015).

Com a observação do potencial e das deficiências relacionadas a cada configuração urbana, principalmente as que englobam os assentamentos precários, se torna possível analisar se as medidas e intervenções realizadas nestes locais agem mais como integradores ou segregadores no processo de igualdade social e ambiental das diversas partes da cidade. Além disso, a observação desses padrões pode explicar como o ambiente urbano e o acesso a seus componentes pode afetar a relação da comunidade com o seu próprio espaço de convivência e com o seu entorno (LEGEBY, 2013).

2.3. CONCEITOS HIDROLÓGICOS

2.3.1. Chuvas Intensas

As diversas atividades antrópicas no meio ambiente alteram de forma considerável o estado natural da atmosfera terrestre, o que provoca uma mudança no balanço de energia, impactando os elementos climáticos, tais como temperatura do ar e precipitação. Segundo Joseph et. al. (2013), identificar as tendências anuais e sazonais de precipitação e vazão, auxilia no entendimento das mudanças climáticas globais, sendo, portanto, imprescindível para o desenvolvimento de modelos hidrológicos. Modelos estes que são essenciais no planejamento e gestão da água nas áreas urbanas, especialmente no que diz respeito à concepção e gestão de sistemas de drenagem.

Como consequência dessa mudança climática, nota-se, de forma cada vez mais frequente, a ocorrência das chamadas chuvas intensas, ou chuvas extremas, que são caracterizadas por sua distribuição irregular, tanto no tempo quanto no espaço (ARAÚJO et. al, 2008). Minuzzi e Sediya (2004) apud. Sena (2009) consideram as chuvas com altura pluviométrica maior que 50 mm/dia como chuvas intensas, porém, outros autores aumentam este limite para mais que 60 mm/dia (GONÇALVES, 2003; ZANELLA ET. AL 2009; SILVA 2014 apud SENA, 2019).

Modelar chuvas intensas é de extrema importância para entender os efeitos ocasionados pelas mesmas, facilitando o controle do escoamento superficial em áreas urbanas. Para isso, é necessário o conhecimento de alguns parâmetros que caracterizam este tipo de precipitação, tais como a altura pluviométrica, intensidade, duração e frequência da chuva, além

do estudo da quantificação do escoamento superficial, caracterizado pela vazão, e do espaço onde todas estas interações ocorrem, representado pela bacia hidrográfica, bem como dos parâmetros que a definem.

A **Altura pluviométrica (h)**, dada em mm, é a quantidade de água precipitada por unidade de área horizontal, medida pela altura que a água atingira se se mantivesse no local sem evaporar, escoar ou infiltrar, dá-se o nome de altura pluviométrica (GARCEZ,1974). A **Duração (t)** do fenômeno precipitação, dada em minutos ou horas, é o intervalo de tempo contado entre o seu início e fim. (VILLELA & MATTOS, 1936). Já a **intensidade pluviométrica (i)**, em mm/h ou mm/min é a relação entre a altura pluviométrica (h) e a duração da precipitação (t), enquanto a **Frequência (f)** é o número de ocorrências de uma dada precipitação (h, t), no decorrer de um intervalo de tempo fixo (GARCEZ,1974).

2.3.2. Bacia hidrográfica como unidade de estudo

A bacia hidrográfica é, de acordo com Santana (2003) uma compartimentação geográfica natural delimitada por divisores de água, que é drenado superficialmente por um curso d'água principal e seus afluentes, até o ponto mais baixo dessa bacia, chamado de exutório. Segundo Pires et. al (2002):

A utilização do conceito de bacia hidrográfica como unidade de estudo e gerenciamento, direcionada à conservação dos recursos naturais, deve estar agregada ao conceito Desenvolvimento Sustentável, na perspectiva de atingir três metas básicas: (i) o desenvolvimento econômico; (ii) a equidade social, econômica e ambiental, e (iii) a sustentabilidade ambiental. Estes objetivos refletem a interdependência entre o desenvolvimento social e econômico a longo prazo e a proteção ambiental, mostrando a preocupação com o processo de degradação ambiental e a capacidade de manter as funções ambientais presentes em uma bacia hidrográfica, além da necessidade de gerenciar os processos de desenvolvimento e proteção ambiental. O Desenvolvimento Sustentável é uma meta a longo prazo para a humanidade, que apenas estará consolidada quando a conservação com desenvolvimento for uma regra para todos. (PIRES et. al, 2002, p. 20)

As bacias hidrográficas podem ser divididas em um número qualquer de sub bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu canal coletor. Cada bacia hidrográfica interliga-se, portanto, com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à esta, uma sub-bacia. Tais fatos levam a entender que o tema de bacias e sub-bacias hidrográficas são conceitos relativos (SANTANA, 2003 apud TEODORO et. al, 2007).

Além disso, durante o estudo de uma bacia hidrográfica é importante, de acordo com Villela & Matos (1936), conhecer as suas características físicas, pois, ao estabelecer relações destas com dados hidrológicos conhecidos, pode-se determinar os valores hidrológicos em

seções ou locais de interesse. Algumas dessas características, tais como a área de contribuição, o tempo de concentração e o coeficiente de impermeabilidade, referentes à bacia hidrográfica em estudo, são imprescindíveis para a escolha das intervenções de drenagem mais apropriadas para a mesma.

A **Área de contribuição (A)** é a divisão da área de cada sub bacia que contribui com o escoamento de água em determinado ponto. É dada, geralmente, em Km^2 . (VILLELA & MATOS, 1936). O **Comprimento de Talvegue** é a medida em linha reta entre os pontos inicial e final do curso de água principal (VILLELA & MATOS, 1975). O **Tempo de concentração (t_c)** é o tempo necessário para que toda a água precipitada na bacia hidrográfica, desde o início da chuva, passe a contribuir na seção em estudo. Já a **Largura equivalente (Le)** relaciona as características da bacia com o escoamento (VILLELA & MATOS, 1936) e é dado por Garcia (2005) pelas Equações (1) e (2).

$$le = \frac{k_c \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{k_c} \right)^2} \right] \quad (1)$$

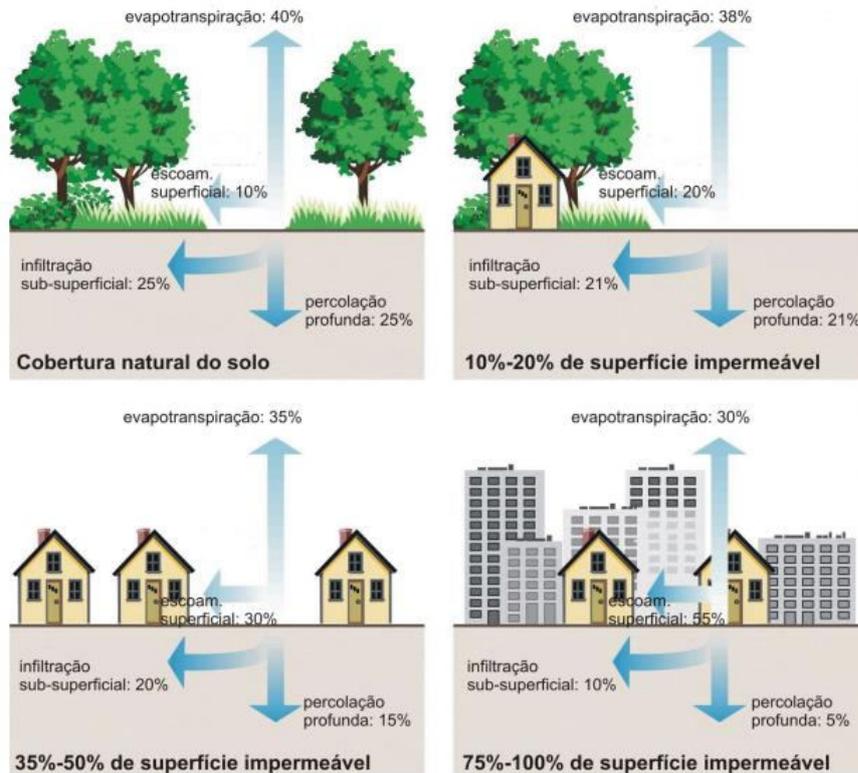
$$k_c = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Onde: le: Largura do retângulo equivalente; A: Área da sub-bacia; k_c : Coeficiente de compacidade; P: Perímetro da sub-bacia.

2.3.3. Influência da urbanização nos desastres ambientais e consequentes impactos nos assentamentos precários

Em suas condições naturais, o ciclo hidrológico é entendido como um sistema em constante equilíbrio dinâmico, porém, o crescimento urbano desordenado acarreta em diversas modificações no comportamento do mesmo, comprometendo a bacia hidrográfica e transformando as cidades em grandes áreas de solo impermeabilizado, de modo com que as águas da chuva que escoam superficialmente sejam transportadas e descarregadas de forma muito mais rápida se comparado a sua condição natural, conforme esquematiza a Figura 2.

Figura 2: Efeito da urbanização no ciclo hidrológico em diferentes situações de ocupação da bacia



Fonte: EPA (1998) apud PAZ (2004)

Alguns dos efeitos trazidos por esse uso indevido da bacia urbana e pela ocorrência cada vez mais frequente das chuvas intensas, são as inundações, enchentes e alagamentos. As inundações ocorrem quando as vazões atingem tal proporção que chegam a superar a capacidade de descarga da calha do curso d'água, extravasando para áreas marginais (IPT,2006). Já as **enchentes** acontecem quando uma precipitação ao atingir um curso d'água, ocasiona uma elevação no seu nível e na vazão durante certo período de tempo (IPT,2006). Os **alagamentos**, por sua vez, são acúmulos momentâneos de água, que ocorrem geralmente quando o escoamento superficial é comprometido pela topografia ou por problemas no sistema de drenagem (IPT,2006).

Com a acelerada urbanização também há um aumento considerável na fonte geradora de diversos poluentes, que podem se incorporar às águas pluviais durante uma precipitação, sendo carreados para os corpos receptores. Deste modo, segundo Tucci (2007), a maioria dos problemas relativos aos desastres ambientais citados, é consequência de uma visão distorcida do controle por parte dos profissionais e do poder público, que ainda priorizam projetos localizados, sem uma visão integrada da bacia e dos aspectos sociais e institucionais das cidades.

O modo com que a ocupação da bacia se desenvolve, várias vezes sem planejamento, sem controle do uso do solo e com diversas apropriações e construções informais em terrenos que se caracterizam como áreas de risco, revelam a falta de planejamento, gestão e controle municipal ou ainda a falta de execução das legislações nos âmbitos municipal e estadual (MOTA, 2003; BARROS, 2005; TUCCI, 2007 apud SANTOS & SANTOS, 2013). Deste modo, os problemas ambientais advindos com a urbanização e impermeabilização constante do solo, tornam-se ainda mais evidentes nos assentamentos precários, que, no processo de dualização da cidade formal e informal e pela pressão exercida pela especulação imobiliária, acabam sendo renegados às áreas mais ambientalmente frágeis do município.

Deste modo, as alterações no ciclo hidrológico, alteram drasticamente os níveis de conforto urbano, principalmente para a população mais vulnerável, uma vez que a pouca ou nenhuma infraestrutura urbana que a atende não é capaz de mitigar problemas decorrentes de eventos extremos, segregando-a ainda mais das suas configurações urbanas de entorno. Por exemplo, alagamentos em vias e pontos de ônibus podem dificultar o tráfego de pessoas e veículos inviabilizando o acesso a facilitadores urbanos do entorno do qual as pessoas são dependentes, uma vez que uma das características de assentamento precários é a carência ao acesso de equipamentos públicos.

Ademais, a produção de sedimentos e a piora da qualidade das águas pluviais e das fontes de recursos hídricos é agravada quando a superfície da bacia é ocupada por uma série de poluentes concentrados, muitas vezes devido à falta de uma política de saneamento e coleta de resíduos sólidos adequada para o local afetado. Este fato é recorrente em assentamentos precários, por serem locais com pouco ou nenhum investimento público e preocupação ambiental, aquém dos espaços formais das cidades. Tais fatos deixam claro que, a vulnerabilidade aos desastres naturais está associada não só aos aspectos relacionados ao meio físico como, clima, relevo, drenagem e solo, mas também, à situação socioeconômica da população localizada nos ambientes mais vulneráveis a estes acontecimentos (MONTEIRO, 1991).

2.4. SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA: DIFERENTES CONCEPÇÕES

Drenagem urbana é definida como um conjunto de medidas com o intuito de minimizar os riscos e os prejuízos causados pelas inundações, de modo a possibilitar um desenvolvimento urbano harmônico articulado e sustentável (PORTO et al. 1993). A Lei federal nº 14.026 de julho de 2020 (BRASIL,2020) reconhece o setor de drenagem urbana como um dos componentes do saneamento básico, sendo obrigação dos gestores públicos e profissionais, o estabelecimento de uma visão integrada dos processos de desenvolvimento que levam a urbanização, uso e ocupação do solo e suas relações com o manejo das águas pluviais nos municípios. A adoção de medidas preventivas ou corretivas no controle e destinação do escoamento das águas urbanas, requer, portanto, uma quantificação prévia deste. De acordo com IPH (1993), essa quantificação pode ser tratada em dois níveis, a microdrenagem e a macrodrenagem.

A microdrenagem, de acordo com Bidone e Tucci (1995), é um sistema de condutos pluviais a nível de loteamento ou de rede primária urbana associada ao sistema viário. O adequado dimensionamento e manutenção dessa rede mitiga as inconveniências decorrentes alagamentos e inundações (FCTH, 1999). Esse sistema de drenagem atende somente a drenagem de precipitações com risco hidrológico moderado, sendo projetada para um período de retorno de 2 a 10 anos. Para uma adequada concepção do projeto de microdrenagem, devem ser estudados várias possibilidades e dimensões em uma abordagem integrada, considerando-se os dados topográficos existentes, os parâmetros hidrológicos, o dimensionamento hidráulico e as condições urbanísticas, sociais e ambientais.

A obras de macrodrenagem, por sua vez, dão um destino final às águas captadas pela drenagem primária, dando prosseguimento ao escoamento vindo dos elementos da microdrenagem. Este sistema pode abranger áreas superiores a 4km² e devem ser considerados, em seus projetos, tempos de retorno de 25 a 100 anos (FCTH,1999). Ademais, é formado por, além da rede natural de drenagem das bacias, como rios urbanos e córregos, canais construídos, galerias de dimensões maiores e reservatórios de amortecimento para a contenção de cheia, como os de detenção e os de retenção.

O gerenciamento da drenagem urbana se pauta na tomada de várias medidas, que podem estar sob a forma de ações diretas estruturais, como obras, construções e outras intervenções no meio físico urbano, de ações indiretas estruturais, na forma de mecanismos de controle na fonte e técnicas compensatórias, e, também de ações não estruturais, como as

medidas institucionais, legislação e fiscalização. Todavia, a aplicação de algumas dessas medidas ainda encontra diversos obstáculos, como aponta TUCCI (2005):

O gerenciamento atual não incentiva a prevenção destes problemas, já que a medida que ocorre a inundação o município declara calamidade pública e recebe recursos a fundo perdido e não necessita realizar concorrência pública para gastar. Como a maioria das soluções sustentáveis passam por medidas não estruturais que envolvem rejeição da população, dificilmente um prefeito buscará este tipo de solução porque geralmente a população espera por uma obra. Enquanto que, para implementar as medidas não estruturais, ele teria que interferir em interesses de proprietários de áreas de risco, que politicamente é complexo a nível local. (TUCCI, 2005, p. 30)

2.4.1. A Drenagem Convencional

Os sistemas clássicos de drenagem urbana preconizam a evacuação para mais longe e o mais rápido possível das águas pluviais, pautada na filosofia sanitária higienista do século XIX (SILVEIRA,2002). Para tanto, elas devem ser captadas e levadas a condutos artificiais e subterrâneos que funcionam devido à ação da gravidade, a fim de serem evacuadas das zonas urbanas e lançadas em corpos d'água. Estes sistemas são compostos tanto pelos canais e reservatórios de amortecimento da macrodrenagem, quanto pelos elementos que compõe o sistema de microdrenagem como galerias, poços de visita, bocas de lobo, meio fio, sarjetas e estações de bombeamento.

Porém, o sistema clássico de drenagem traz alguns inconvenientes para as bacias urbanas, um deles, segundo Peixoto (2011), é a sobrecarga das secções das calhas, localizadas no sentido das cotas mais baixas no sistema, pois, devido ao aumento da velocidade escoamento nos elementos de drenagem, há inundações e alagamentos nas áreas à jusante. Ainda segundo Peixoto (2011), grande parte das obras hidráulicas, como diques, barragens, ampliação de calhas de rios, entre outras, não erradicam as enchentes de forma definitiva, uma vez que estas medidas se tornam defasadas ao longo do tempo devido ao crescimento acelerado e constante das cidades. Além disso, continuar aumentando a capacidade desses sistemas de drenagem tradicionais de forma a suprir cada vez mais altas demandas de água das chuvas é inviável financeiramente (WOODS-BALLARD et al., 2015).

2.4.2. A Drenagem Urbana Sustentável

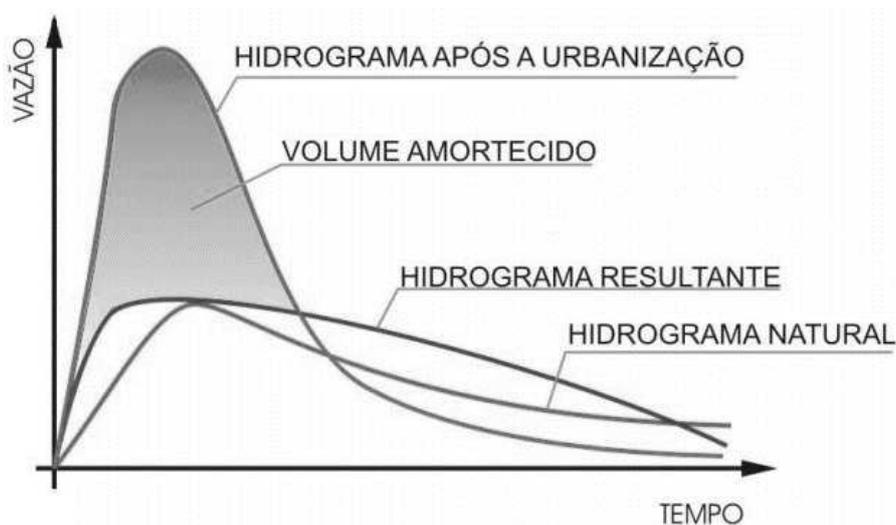
Os sistemas compensatórios ou alternativos de drenagem urbana se diferenciam do manejo tradicional das águas pluviais, por se basearem no processo de infiltração e retenção das águas o mais próximo possível do local onde a precipitação incidiu no solo e não em seu escoamento rápido. Acarretam, com isso, uma diminuição no volume e na velocidade desse

escoamento, na redução das vazões de pico e do tempo de concentração e no rearranjo temporal das vazões, além de provocarem uma significativa melhoria na qualidade das águas pluviais (SLETTO, 2019; FLETCHER, 2015).

Segundo Baptista et al. (2011) e Christofidis (2010), as técnicas compensatórias em drenagem urbana, podem assumir várias formas e serem aplicadas em diferentes escalas e contextos, podendo ser divididas, dessa forma em: (i) Técnicas de Controle na Fonte, que estão relacionadas às pequenas superfícies de drenagem, como por exemplo, lotes residenciais; (ii) Técnicas lineares, que são usualmente incorporados ao sistema viário e distribuídos nas zonas públicas, como parques e estacionamentos; (iii) Técnica de controle centralizado que estão relacionados com os dispositivos de armazenamento do excedente dos volumes pluviais para períodos curtos e longos, visando o controle da inundação e redução de cargas de poluição difusa.

Estas medidas possibilitam tanto o amortecimento da vazão e a recuperação do hidrograma das condições naturais da bacia (Ver Figura 3), quanto a mitigação da vulnerabilidade à inundação e ao alagamento de forma descentralizada ao longo da bacia. Tais técnicas consideram os impactos da urbanização de forma global, buscando compensar os efeitos da mesma e tomando a bacia hidrográfica como base de estudo, a fim de evitar a rápida transferência do escoamento das águas superficiais para as áreas à jusante (BAPTISTA et. al., 2011).

Figura 3: Hidrograma do escoamento superficial em diferentes cenários de urbanização



Fonte: Tucci (1995) apud Reis et al (2005).

No contexto do planejamento urbano, portanto, a drenagem urbana praticada de forma sustentável é considerada uma importante integrante do sistema de infraestrutura urbana, uma vez que influencia de maneira considerável no uso e ocupação do solo urbano, exigindo a análise dos parâmetros estruturais de projeto e de gestão de suas técnicas. Além dos ganhos urbanos e ambientais, através do amortecimento dos danos que podem acontecer durante os eventos chuvosos, as técnicas de drenagem sustentável também podem estar associadas a áreas de lazer e paisagísticas, integrando funcionalidade e bem-estar humano e ambiental (FLETCHER,2015).

Esta forma diferente da tradicional de intervenção no meio urbano visando mitigar os efeitos das chuvas intensas, podem ser chamados de Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis, ou Sustainable Urban Drainage Systems (SuDS). Porém, também são encontrados na literatura outros termos para referenciar técnicas com o mesmo princípio de abordagem sustentável, como Infraestruturas Verdes ou Green Infrastructure (GI), Low Impact Development (LID) e Water Sensitive Urban Design (WSUD) (LAMOND et. al, 2015). Estas técnicas são propostas como uma forma de integrar o gerenciamento das águas superficiais no design das cidades, a fim de proteger o ambiente e de criar locais de alta qualidade e sustentáveis para a comunidade (WOODS-BALLARD et al., 2015).

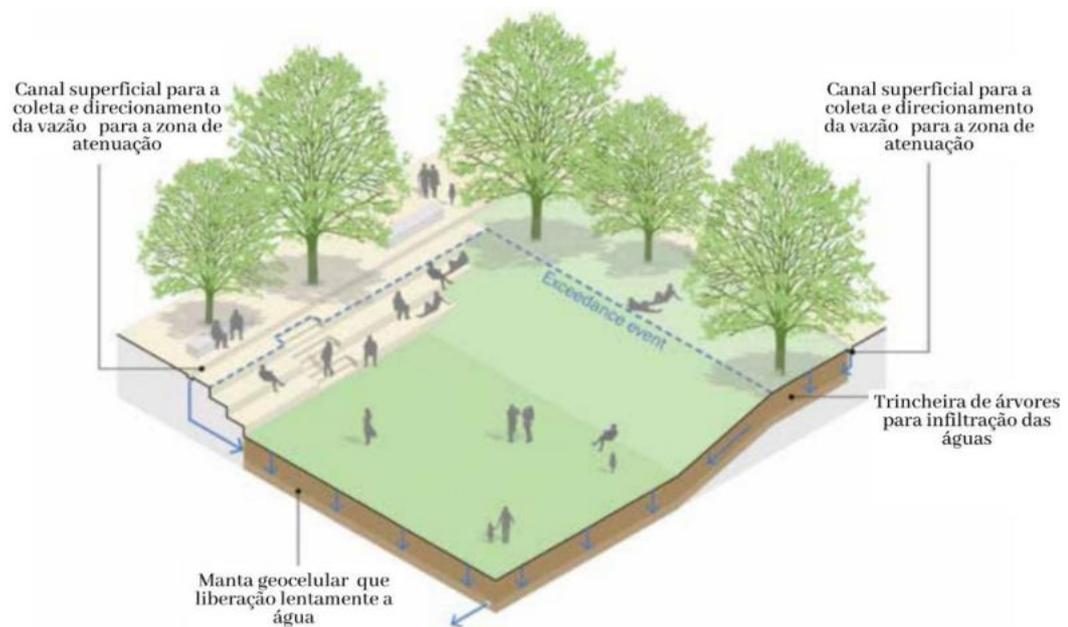
De acordo com Woods Ballard (2015) há vários critérios que precisam ser levados em consideração no desenvolvimento e aplicação das técnicas de SUDS. Um desses critérios, por exemplo, é gerenciar os riscos de alagamento através do recebimento da água superficial na superfície da bacia. Para isso, é importante que haja oportunidades para a água infiltrar no meio urbano, através de técnicas compensatórias de infiltração. Porém, se somente a infiltração não for capaz de reduzir suficientemente o volume de água superficial é recomendado o uso de sistemas de coleta e armazenamento dessa água. Além disso, é recomendado o que o espaço disponível para os SUDS seja multifuncional e provedores de infraestrutura verde, prezando pela biodiversidade e criando espaços de integração comunitária que suportem o estilo de vida urbano, vide Figuras 4 e 5. A Figura 6 mostra, de forma generalizada, algumas técnicas SUDS mais apropriadas para cada local e componentes urbanos.

Figura 4: Espaço público com SUDS multifuncional



Fonte: Woods-Ballard (2015), adaptado pela autora.

Figura 5: Paisagem urbana com SUDS multifuncional



Fonte: WOODS-BALLARD (2015), adaptado pela autora.

Figura 6: Técnicas SUDS para diferentes componentes urbanos



Fonte: WOODS-BALLARD (2015), adaptado pela autora

Ademais, o engajamento da comunidade é essencial para o bom funcionamento dos SUDS no meio urbano, não só para a aceitação das intervenções provocadas por ela, como também para, em um longo prazo, serem apropriados pelos habitantes locais. Para tanto, os mesmos devem estar bem informados sobre a intervenção praticada. Além disso, técnicas de SUDS que dão benefícios diretos para o local, como áreas de lazer e passeio, são mais bem aceitas e conseqüentemente, mais rapidamente apropriadas (WOODS-BALLARD et. al, 2015). A seguir serão melhor apresentadas algumas das técnicas mais utilizadas nos sistemas de drenagem urbana sustentável.

2.4.2.1. Trincheiras de infiltração

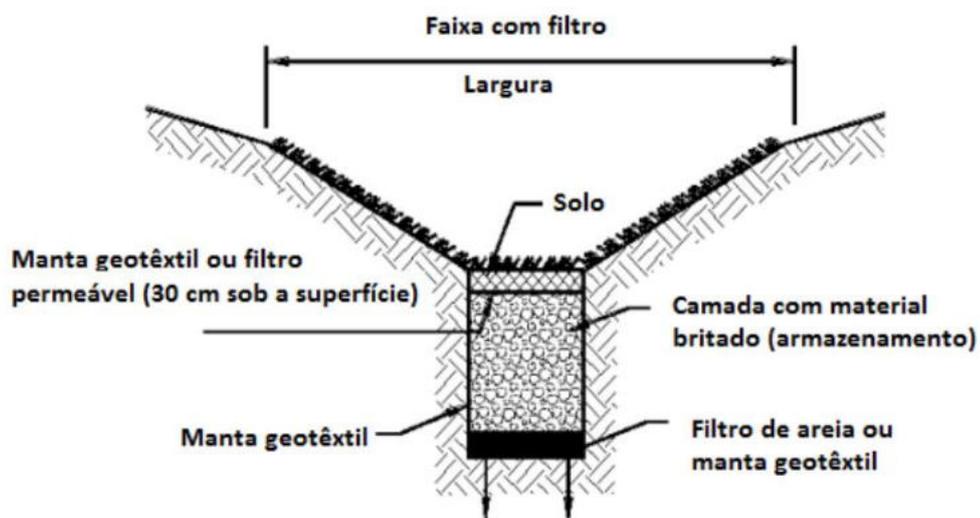
As trincheiras de infiltração são técnicas compensatórias lineares em drenagem urbana com dimensões longitudinais de valor significativo em relação à sua largura e profundidade (BAPTISTA et. al., 2005). Estas trincheiras são construídas em solos permeáveis naturais que retêm e infiltram o escoamento superficial para o solo subjacente e lençóis subterrâneos. Geralmente, estes dispositivos são preenchidos com cascalho, areia e uma camada superficial

de vegetação rasteira ou densa, porém, algumas vezes, são implantados tanques de percolação modulares em sua estrutura. Uma vez atingido este sistema a água que o percorre é tratado através de uma série de mecanismos naturais, como filtração, adsorção e degradação biológica (COUNTY OF L.A, 2014).

O escoamento ao longo das trincheiras deve apresentar velocidades razoavelmente baixas para que o tratamento da água possa ocorrer de maneira efetiva. Por isso são técnicas que devem ser implantadas em locais de baixa declividade, (menor que 5% de acordo com Woods Ballard (2015)). Além disso, esse tipo de SUDS pode ser usado tanto ligado a outras medidas compensatórias de drenagem como sistemas de biorretenção, como pode ser usado como um tratamento isolado (WOODS-BALLARD, 2015).

As trincheiras de infiltração podem ser implantadas em inúmeros lugares, porém, se adaptam particularmente bem na adjacência de estradas e calçadas, já que sua geometria linear é facilmente incorporada a estes lugares. Estes dispositivos também podem ser usados para infiltrar o escoamento superficial advindo de estacionamentos e espaços públicos abertos, porém, apenas se a sua funcionalidade não for comprometida por atividades realizadas nessa área (WOODS-BALLARD, 2015). As Figuras 7 e 8 apresentam, respectivamente, o esquema de uma trincheira de infiltração e um exemplo de integração da mesma à paisagem urbana. Estas técnicas compensatórias, apesar de proporcionarem a redução do escoamento à jusante e outras inúmeras vantagens, apresentam também algumas desvantagens que devem ser consideradas. O Quadro 1 resume os prós e contras das trincheiras de infiltração.

Figura 7: Esquema de uma trincheira de infiltração



Fonte: FHWA,2009

Figura 8: Trincheira de infiltração adjacente à via e calçada



Fonte: SANEBAVI (2018)

Quadro 1: Vantagens e desvantagens das trincheiras de infiltração

Vantagens	Desvantagens
Diminui a descarga do escoamento superficial, aliviando os outros sistemas de drenagem;	Não é apropriada para solos com muito baixo ou muito alto nível de permeabilidade;
Reduz o pico da vazão superficial, o que possibilita o controle de erosão;	Não é apropriada para lugares que geram um alto teor de poluição do solo, devido à possibilidade de contaminação dos aquíferos;
Possibilita a recarga de aquíferos;	Pode resultar em água parada, possibilitando a proliferação de vetores;
Possibilita o tratamento da água da chuva, mesmo se instalado em pequenos espaços;	Não é apropriado para lugares muito íngremes.
Baixo custo de construção e manutenção	
Se integra em diversas áreas urbanas, inclusive na subutilizadas ou inutilizadas.	

Fonte: County of L.A (2014)

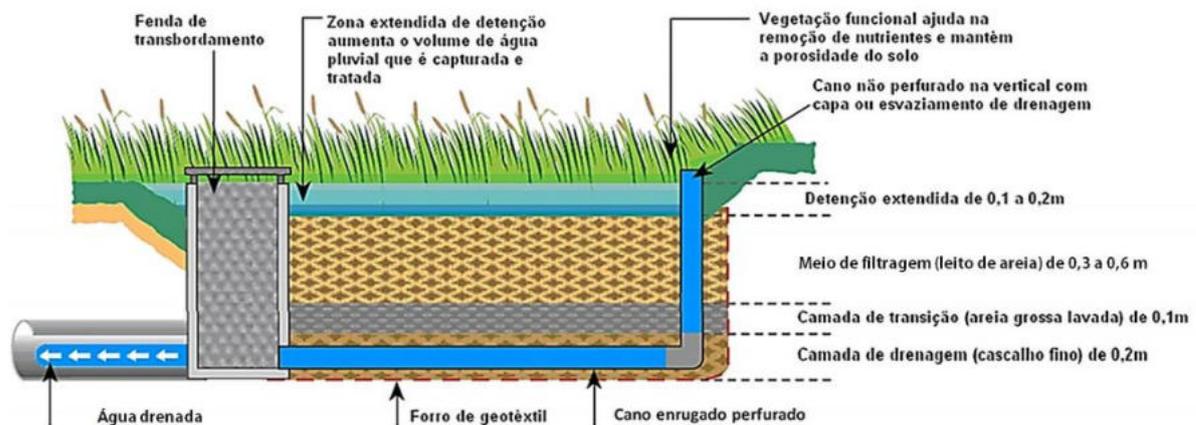
As trincheiras de infiltração, portanto, propiciam uma mudança significativa na paisagem urbana ao incorporarem espaços permeáveis e vegetados adjacentes à áreas impermeáveis, podendo ser integrada ao design urbano como um todo. Além disso, de acordo com WOODS-BALLARD (2015), a manutenção das trincheiras não implica em grandes custos, porém necessitam de inspeção regular para manter o seu bom funcionamento, e ainda, em caso de serem instaladas em propriedades privadas, o proprietário deverá ser treinado a praticar uma rotina diária de manutenção desses dispositivos SUDS.

2.4.2.2. Sistemas de Biorretenção

De acordo com WOODS-BALLARD (2015), os sistemas de biorretenção são depressões superficiais no solo, que reduzem o volume de escoamento superficial e os poluentes advindos com este processo. Esta vazão é inicialmente armazenada e vai infiltrando gradualmente através da vegetação e das camadas de substrato que compõem o sistema. Além disso, a água infiltrada também pode ser coletada através de tubulações subterrâneas e direcionada para unidades armazenadoras.

Ademais, parte da água armazenada nos sistemas de biorretenção é retornada para a atmosfera através de evaporação e da transpiração realizada pelas plantas, que na maioria das vezes, devem fazer parte de espécies nativas à região de implantação do sistema, serem tolerantes à períodos de seca, não exigir fertilização e suportarem solos supersaturados por pelo menos 24 horas (County of L.A., 2014). Um esquema de um típico jardim de chuva é apresentado na Figura 9 seguido de um exemplo de utilização prático do mesmo na Figura 10.

Figura 9: Exemplo de uma seção de um sistema de biorretenção



Fonte: Singapore (2011) apud Benini(2015)

Figura 10: Sistema de biorretenção integrado à paisagem urbana



Fonte: EPA (2015)

Segundo o Manual de Melhores Práticas de Gerenciamento em Drenagem da Pensilvânia (DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION, 2006), os jardins de chuva podem ser alocados em uma grande variedade de lugares, desde pequenas áreas residenciais privadas até grandes estacionamentos, parques, praças e ao longo dos perímetros das ruas, além de também se encaixarem bem em áreas comerciais, industriais e institucional, salvo algumas exceções. Porém possui um limite de declividade de até 20% nos locais em que serão instalados (Woods-Ballard, 2015). Ademais, estas técnicas compensatórias podem ser facilmente integradas a outros sistemas compensatórios de drenagem urbana, como pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração. O Quadro 2 resume os prós e contras dos jardins de chuva de acordo com a literatura.

Quadro 2: Prós e contras dos sistemas de biorretenção

Vantagens	Desvantagens
Valoriza a paisagem urbana;	Pode resultar em água parada, facilitando a proliferação de pragas;
Reduz o pico de vazão durante eventos de chuva e diminui o nível de poluição da água;	Não é apropriada para lugares que geram um alto teor de poluição do solo, devido à possibilidade de contaminação dos aquíferos;
Recarga da água subterrânea e restabelecimento do fluxo de base;	Não é apropriado para lugares com declividade maior que 20%
Diminui efeitos erosivos e auxilia no equilíbrio do ciclo hidrológico;	Requer manutenção regular e específica de acordo com o tipo de vegetação;
Boa aceitabilidade por parte da população;	

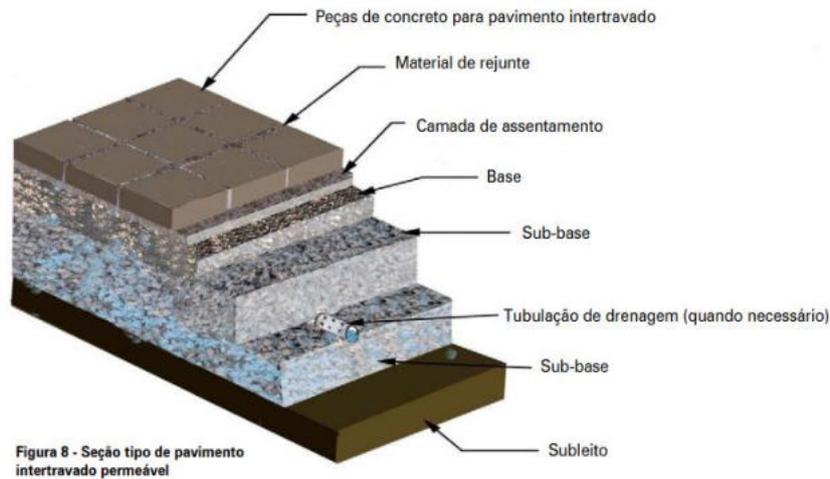
Fonte: County of L.A; Muthanna et al.(2008); Li; Zhao, (2008) apud Silva et al (2018)

Os Sistemas de Biorretenção podem ser integrados tanto em lugares em desenvolvimento, quanto em ambientes urbanos totalmente consolidados. Porém uma das grandes preocupações concernentes à esta técnica compensatória é a constante proteção que a mesma requer, exigindo frequente manutenções, sendo importante um bom gerenciamento do responsável pela propriedade onde o mesmo foi instalado (DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION , 2006).

2.4.2.3.Pavimentos permeáveis

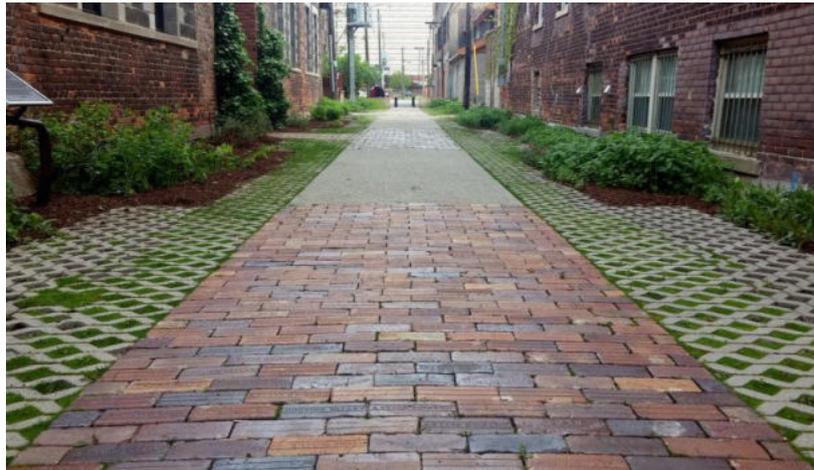
Um dos dispositivos mais usados em drenagem urbana sustentável são os pavimentos permeáveis. De acordo com o United States Environmental Protection Agency (EPA,1999), essas estruturas consistem em um tipo especial de pavimento alocado acima de camadas filtrantes de agregados que infiltram a água da chuva reduzindo o escoamento superficial de um determinado lugar e de áreas adjacentes a ele. A Figura 11 mostra um esquema de um pavimento permeável intertravado tipicamente utilizado e a Figura 12 mostra um exemplo de aplicação do mesmo em um lugar para passagem de pessoas.

Figura 11: Esquema de pavimento permeável intertravado



Fonte: Marchioni (2010)

Figura 12: Pavimento permeável em um local de passagem de pessoas



Fonte: Green Garage Detroit (2017)

Os pavimentos permeáveis podem ser alocados em regiões de estacionamentos, calçadas e ruas de baixo tráfego (EPA, 1999) que possuam declividade menor que 10% (County of LA, 2014) e como são construídos como uma alternativa às superfícies impermeáveis não requerem um espaço dedicado só para eles, podendo ser combinados com outros sistemas de drenagem compensatória (WOODS-BALLARD et. al, 2015). O Quadro 3 apresenta as vantagens e desvantagens dos pavimentos permeáveis.

Quadro 3: Vantagens e desvantagens dos pavimentos permeáveis

Vantagens	Desvantagens
Possibilidade de recarga de reservas subterrâneas;	Não é apropriada para lugares que geram um alto teor de poluição do solo, devido à possibilidade de contaminação dos aquíferos;
Reduz o pico de vazão durante eventos de chuva;	Possibilidade de colmatção;
Melhoria da qualidade da água pelo processo de infiltração;	Não suporta cargas elevadas;
Propicia a redução das dimensões do sistema de drenagem à jusante.	Menor durabilidade que o convencional e exigência de manutenção regular.

Fonte: ABCP, 2003

Deste modo, a implantação dos pavimentos permeáveis em um subbacia, dependendo das características do subsolo, pode promover uma redução dos volumes escoados em sua superfície de forma similar ao cenário de pré-desenvolvimento da mesma, mas desde que seja utilizado racionalmente, e conservados periodicamente com uma manutenção preventiva que evite possíveis entupimentos (ARAÚJO et al, 2000).

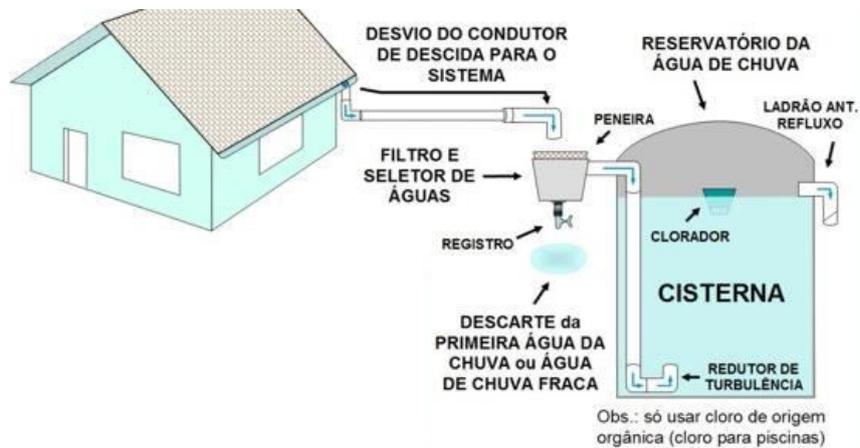
2.4.2.4. Sistemas de captação de água da chuva

Os sistemas de coleta de água da chuva objetivam capturar e armazenar as águas pluviais a fim de destiná-las posteriormente para o consumo não potável (JONES & HUNT, 2010). Estes sistemas são, portanto, além de uma fonte alternativa de abastecimento de água, uma forma de reduzir o escoamento superficial advindo dos telhados e de outras porções impermeáveis da área construída e quando aplicados em quantidade considerável ao longo da bacia, resultam em uma solução descentralizada para o abastecimento e drenagem de águas urbanas (ALADENOLA, 2010).

Estes sistemas, são, portanto, capazes de mitigar problemas advindos de eventos extremos relacionados a chuvas escassas e também a chuvas intensas. Além disso, os sistemas coletores de água tornam-se de extrema importância durante eventos de precipitação extrema em assentamentos precários localizados em regiões semiáridas, por combinar atenuação do impacto hidrológico com abastecimento de água para a comunidade (LE JALLÉ, 2013).

Os sistemas coletores de águas pluviais podem ser usados tanto em lotes residenciais, quanto comerciais, institucionais e industriais. A alocação e implementação das diversas capacidade dos tanques de armazenamento dependem, portanto, do espaço disponível para instalá-los e da área de drenagem de contribuição, assim como de um lugar que facilite a manutenção desse sistema (WOODS-BALLARD,2015). A Figura 13 esquematiza a coleta de água da chuva em uma residência cujo destino final é um tanque de armazenamento e a Figura 14 mostra um exemplo real destes tanques conectados a calha da residência.

Figura 13: Esquema de captação de água de chuva



Fonte: Sempre Sustentável (2012)

Figura 14: Tanque de armazenamento de água da chuva



Fonte: Ecycle (2020)

2.5. STORM WATER MANAGEMENT - SWMM

O SWMM é um software que foi desenvolvido pela US. UPA em 1971, porém sofreu diversas modificações e atualizações ao longo do tempo, por apresentar um código fonte aberto (METCALF & EDDY, 1971; HUBER & DICKINSON,1992). O programa é um modelo dinâmico chuva-vazão que realiza a simulação do escoamento superficial em áreas urbanas, levando em conta tanto sua quantidade como qualidade. Nele é considerada a área de estudo como um conjunto de sub-bacias hidrográficas que recebem vazões de entrada, que podem advir de precipitações e contribuições de áreas a montante, e gera vazões de saída, que podem se dar através da infiltração, evaporação, armazenamento e escoamento superficial, caso ocorra o extravasamento da sub-bacia. A partir disso, o SWMM é capaz de gerar o hidrograma de escoamento superficial (RODRIGUES,2008).

Neste modelo computacional, as sub bacias são subdividas em: áreas permeáveis sem armazenamento, áreas permeáveis com armazenamento e áreas impermeáveis com armazenamento. O transporte ou armazenamento do escoamento superficial são representados pelos objetos de nós, condutos e unidades de armazenamento que nada mais são do que nós com função de armazenagem. A infiltração, pode se dar seguindo três métodos: i) a equação de Horton; ii) o método de Green-Ampt, e iii) o método SCS que considera a curva número da sub-bacia para avaliar a capacidade de infiltração da mesma e o fluxo de uma sub-bacia, pode ser modelado através do i) Método do fluxo em regime uniforme; ii) Método da onda cinemática e iii) Método da onda dinâmica (RODRIGUES,2008)

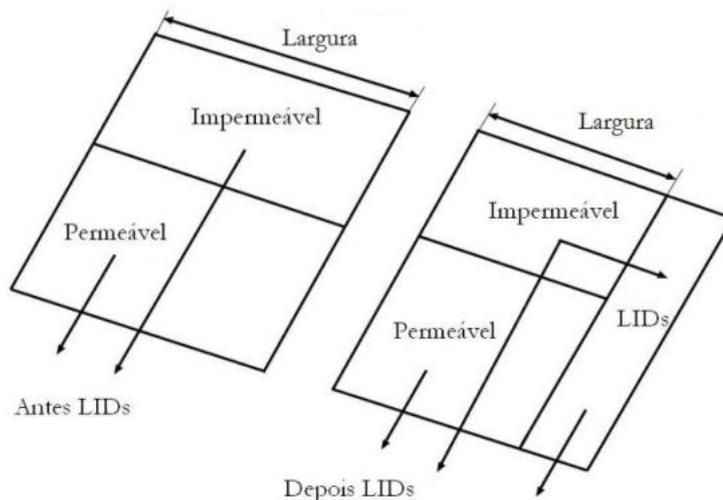
Os dados de entrada das precipitações, podem vir tanto através de séries temporais tipo IDF, quanto da relação entre a altura da chuva no tempo. Além disso, outros parâmetros também são importantes para a correta simulação hidrológica chuva-vazão, como: a área, largura e declividade das sub-bacias, o coeficiente de rugosidade de manning, os parâmetros de infiltração e a altura do armazenamento em depressões. O SWMM também vêm sendo utilizado para avaliar o efeito integrado das técnicas de drenagem compensatórias e de baixo impacto em bacias urbanas. Os objetos de baixo impacto são projetados no software para subtrair uma parcela do escoamento superficial por meio de processos de retenção, infiltração e evaporação (RODRIGUES,2008).

Tais controles de baixo impacto são representados pela combinação de camadas verticais cujas propriedades são definidas por unidade de área, essas camadas são: i) Camada Superficial, que recebe diretamente a precipitação e o escoamento das áreas a montante,

armazena o excedente em depressões e geram escoamentos que fluem para o sistema de drenagem e áreas à jusante; ii) Camada Pavimento, que é a camada de concreto e pavimento poroso; iii) Camada de Solo, que é o solo preparado para manter a vegetação em bacias de filtração; iv) Camada de Armazenamento, que é o leito de britas, seixos ou cascalhos das bacias de filtração, trincheiras de infiltração, pavimentos porosos e cisternas; v) Dreno profundo, que transporta a água da camada de armazenamento para um conduto ou caixa de contenção (RODRIGUES,2008).

Segundo Rodrigues (2008), as formas de inserir estas técnicas de baixo impacto, denominadas no programa como LIDs, nas sub-bacias e que serão utilizadas no presente trabalho é ou alocar diversos tipos de controle a uma determinada sub-bacia ou criar uma nova sub-bacia apenas para estes dispositivos. Neste primeiro, os objetos não podem trabalhar em série e, portanto, a saída de um controle não pode servir de entrada para o outro, havendo ainda necessidade de ajuste na porcentagem de área impermeável da sub-bacia e na largura de escoamento, como mostra a Figura 15.

Figura 15: Esquema representativo do funcionamento das LIDs no SWMM

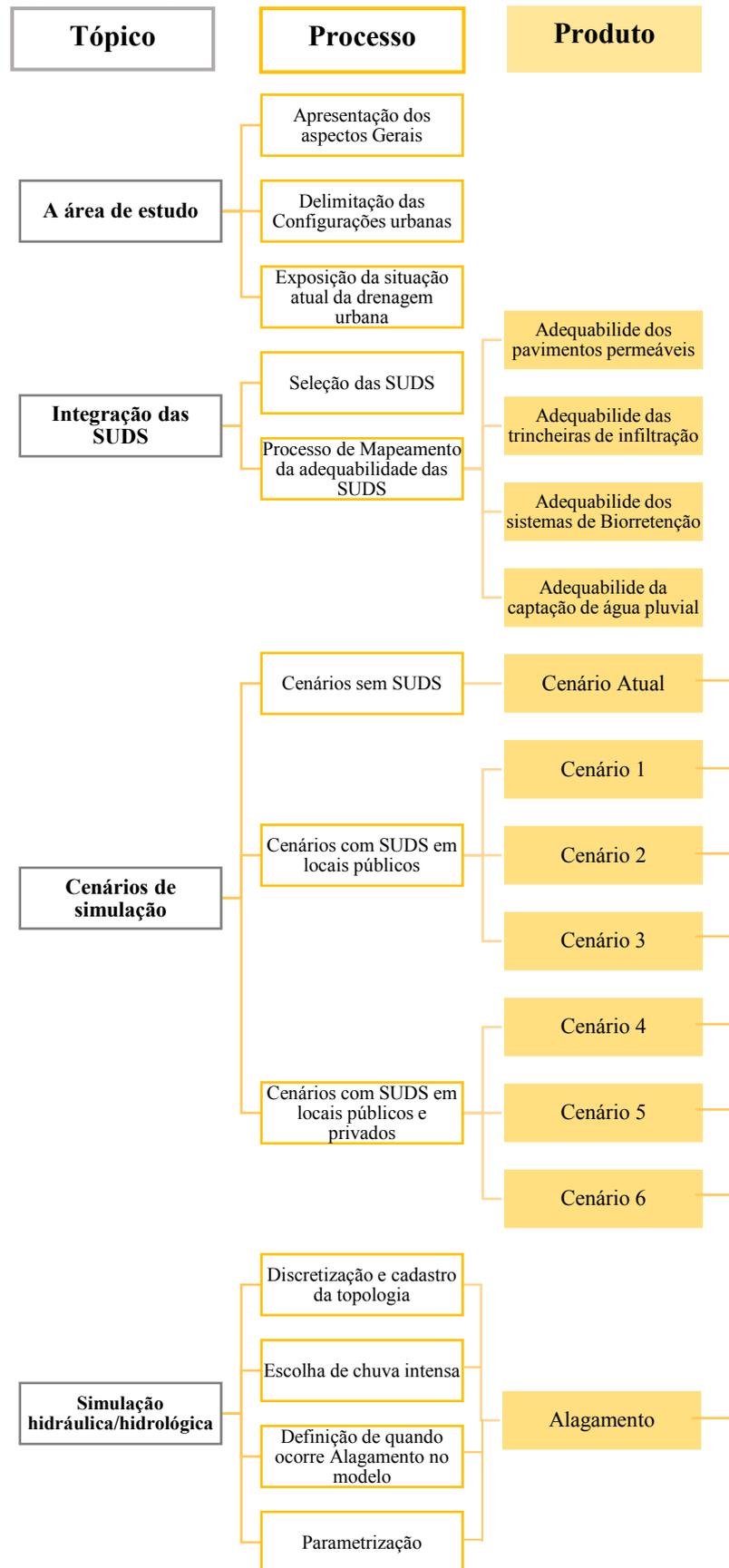


Fonte: Rodrigues (2008)

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA

Nesta seção, serão expostos os procedimentos adotados no presente trabalho, desde a definição da área de estudo até a obtenção das informações, observações e métodos necessários para gerar os produtos finais da pesquisa. No fluxograma da Figura 16 está representado, de forma esquematizada e inter-relacionadas, estes procedimentos.

Figura 16: Fluxograma dos procedimentos adotados na pesquisa



Fonte: A Autora (2021)

Portanto, de acordo com o fluxograma da Figura 16, a metodologia será pautada inicialmente, na exposição e análise da área de estudo e no processo de integração das SUDS à essa área de modo a confeccionar os mapas de adequabilidade das mesmas ao território da bacia. Em seguida, diferentes cenários de simulação sem e com SUDS são compostos, para que seja realizada a simulação hidráulica/hidrológica do modelo, de forma a obter a distribuição espacial e volume de alagamento ao longo da bacia da Ramadinha.

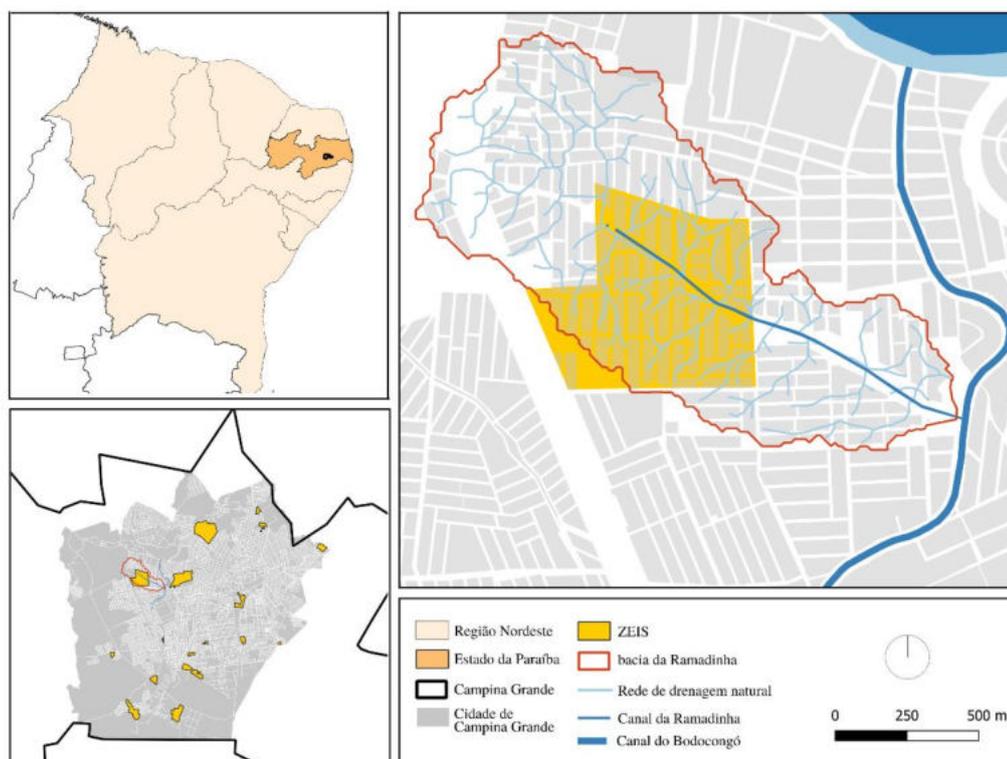
3.1.A ÁREA DE ESTUDO

Campina Grande, cidade localizada no estado da Paraíba, possui cursos d'água receptores de águas pluviais de relevante importância e foi palco de uma urbanização acelerada no decorrer dos anos. Não diferente de outras cidades brasileiras em desenvolvimento, é uma cidade fruto de um planejamento urbano inadequado, o que acabou por permitir o surgimento de assentamentos precários reconhecidos institucionalmente como Zonas Especiais de Interesse (ZEIS). De acordo com o Plano Diretor Municipal, Lei nº 003 de Outubro de 2006, e regulamentados pela Lei Nº 4.806 de 23 de setembro de 2009, ZEIS 1 são áreas caracterizadas pela carência de infraestrutura, escassez de equipamentos públicos e grande quantidade de loteamentos irregulares e núcleos habitacionais de baixa renda (PMCG,2006).

Uma dessas Zonas, do tipo 1, denominada ZEIS Invasão Ramadinha II, localiza-se na região composta pelos bairros Ramadinha e Bodocongó, que estão localizados na zona Oeste da cidade e que foram beneficiados com intervenções na infraestrutura urbana através do PAC-UAP. Esta intervenção do programa foi a que mais englobou obras de drenagem na cidade de Campina Grande, priorizando obras de infraestrutura que visam eliminar os riscos de inundação e alagamentos aos quais famílias moradoras do local estavam submetidas.

No bairro da Ramadinha, a intervenção ocorreu em um corpo d'água denominada o Canal da Ramadinha, que desemboca no canal de Bodocongó. A bacia de contribuição deste canal possui rede de drenagem principal de aproximadamente 2,4km e abrange uma área total de 1,28km², da qual cerca de 30% do território é composto por assentamentos precários. Nas margens do canal, havia famílias em habitações localizadas em áreas de risco suscetíveis à alagamento e inundações. E, portanto, foi proposta pela Prefeitura de Campina Grande (proponente dos projetos do PAC no município) a canalização do corpo d'água com a construção de um canal aberto de concreto associado a um parque linear e a realocação da população em situação de risco e/ou afetada pela delimitação da obra, para empreendimentos habitacionais localizados em outros bairros. A Figura 17 expõe a área de estudo analisada.

Figura 17: Área de estudo



Fonte: A Autora (2020)

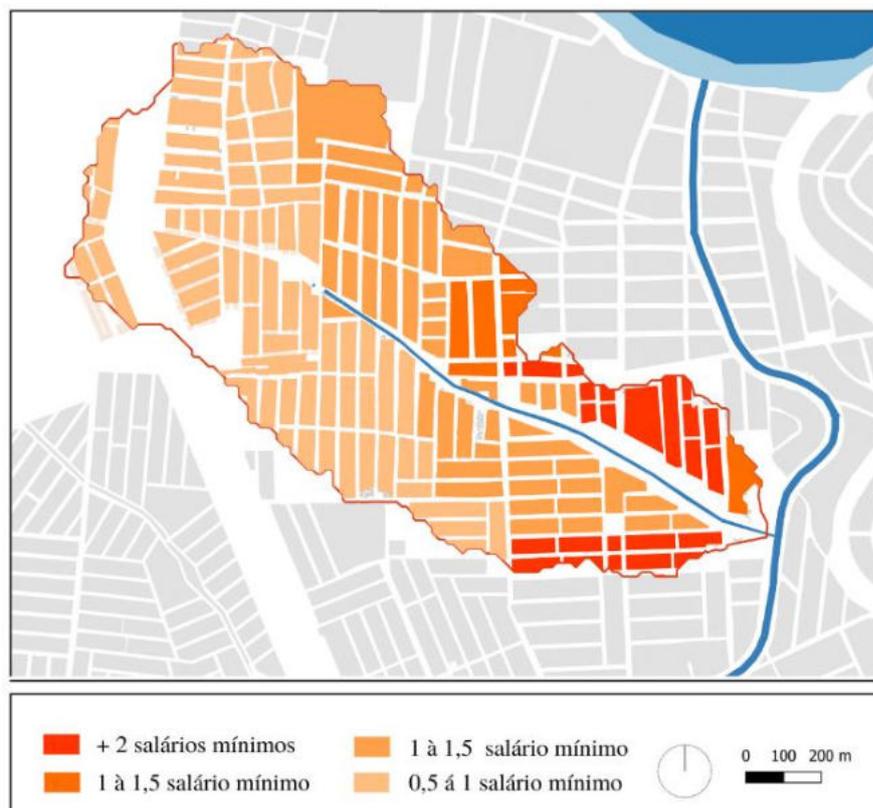
3.1.1. Aspectos gerais

As informações e confecção dos cartogramas acerca da caracterização dos aspectos socioeconômicos, físicos e urbanos da bacia da Ramadinha são frutos das atividades realizadas em conjunto com o núcleo da UFCG, para a rede de pesquisa: *“A dimensão ambiental e as infraestruturas de drenagem na urbanização de favelas: concepções de projeto, formas de produção das redes e especificidades dos assentamentos precários”*.

3.1.1.1. Aspectos Socioeconômicos

Por englobar regiões compostas por assentamentos precários, a área de estudo se caracteriza pela alta vulnerabilidade socioeconômica de seus moradores, sendo a renda média familiar da bacia, majoritariamente, de menos de dois salários-mínimos (ver Figura 18). As intervenções ocorridas na área abrangeram 2035 domicílios, 727 famílias, e um total de 3807 pessoas (SEPLAN,2007).

Figura 18: Renda média por setor censitário

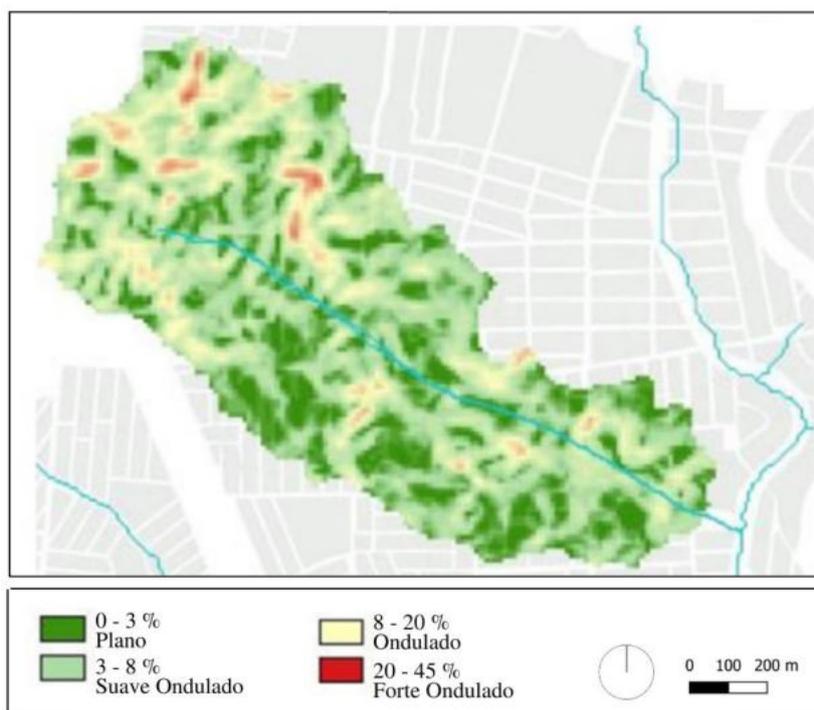


Fonte: A autora (2021), com dados obtidos do IBGE (2010)

3.1.1.2. Aspectos Físicos

Para a obtenção do mapa de declividade da bacia (Ver Figura 19), utilizou-se um Modelo Digital de Elevação (DEM) com 2 m de resolução. Pela classificação da Embrapa (1979), a bacia da Ramadinha abrange, de forma majoritária, terrenos que variam entre plano à ondulado, com apenas algumas áreas mais a montante classificadas como forte onduladas. Essas diferenças de declividade influenciam diretamente na velocidade do escoamento e na susceptibilidade ao empoçamento e alagamento nas áreas mais planas da bacia.

Figura 19: Declividade da bacia



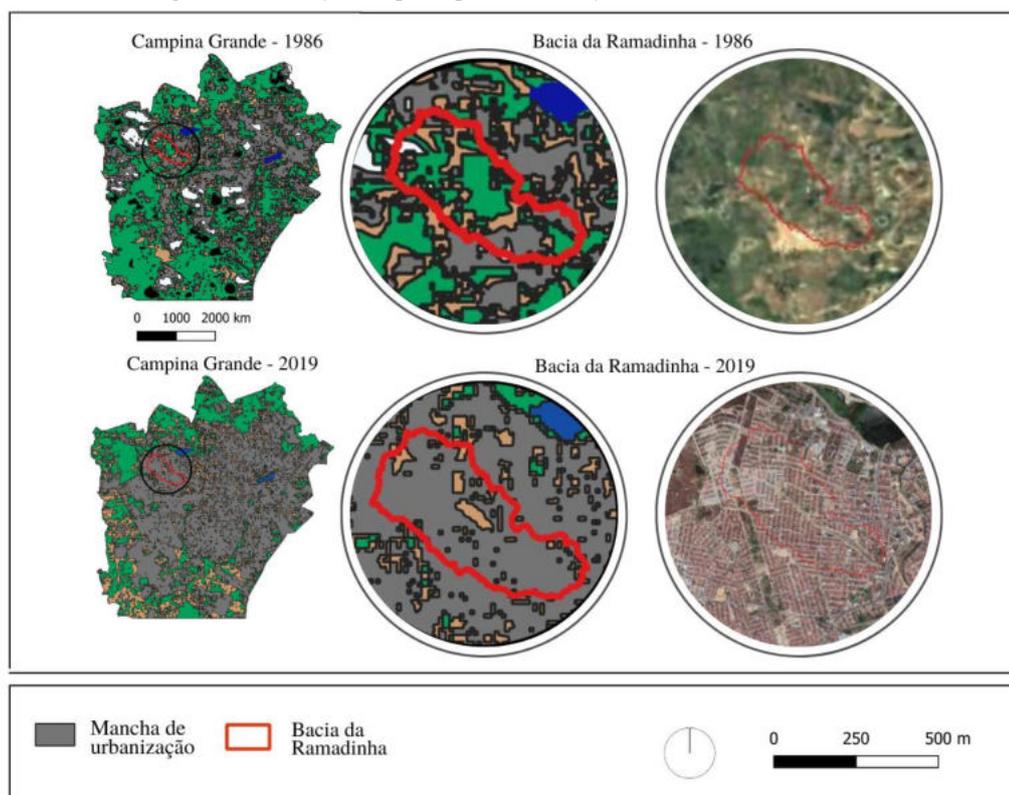
Fonte: Rede de pesquisa – Núcleo UFCG (2020)

3.1.1.3. Aspectos Urbanos

A análise de imagens de satélite no QGis, através de técnicas de geoprocessamento, mostra as mudanças ocorridas durante a urbanização de Campina Grande, entre os anos 1986 e 2019 e como esse crescimento acelerado da cidade afetou a bacia da Ramadinha. Percebe-se pela Figura 20, um aumento expressivo no grau de urbanização da bacia e conseqüentemente na evolução na parcela de solo impermeável da mesma. O artigo exposto no Apêndice A⁵ mostra o impacto dessa urbanização no escoamento superficial para a bacia (ALVES et. al,2020).

⁵ O artigo apresentado no Apêndice A, intitulado “ Impacto da urbanização no escoamento superficial em bacia ocupada por assentamentos precários em Campina Grande” foi apresentado no XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas. Sendo fruto das atividades do núcleo da UFCG para a rede de pesquisa: “*A dimensão ambiental e as infraestruturas de drenagem na urbanização de favelas: concepções de projeto, formas de produção das redes e especificidades dos assentamentos precários*”

Figura 20: Situação de pré e pós urbanização da bacia da Ramadinha



Fonte: Alves et. al (2020)

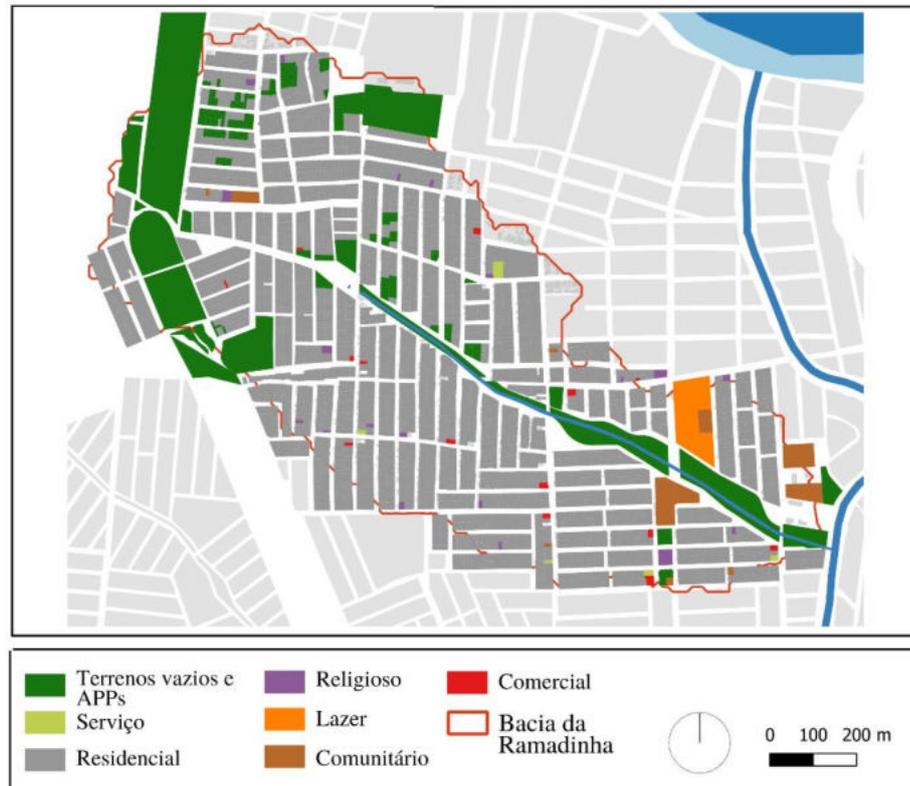
- **Uso e Ocupação do solo**

O mapeamento das informações relativas ao uso e ocupação do solo urbano é um recurso amplamente empregado para tornar mais evidente os padrões dessas ocupações, melhorando a compreensão das interações existentes a fim de apontar ações necessárias nesse espaço (SEBUSIANI & BETTINE, 2011). Na situação atual do uso e ocupação do solo da bacia da Ramadinha (ver Figura 21), percebe-se uma predominância de lotes de caráter residencial, bem como grandes áreas concentradas de áreas livres ainda não edificadas. O uso comercial também se encontra presente, porém em menor quantidade, seguido do uso institucional formado por escolas, hospitais e lotes comunitários.

Observa-se ainda que as áreas verdes da bacia não constituem em equipamentos públicos de lazer ou permanência, mas sim em espaço permeáveis com alguma presença de vegetação. O único espaço aberto público utilizado pela comunidade como equipamento urbano de lazer, é um campo de pelada que não apresenta nenhum mobiliário ou cuidado paisagístico. O local destinado a lazer com mobiliário e conservação mais próximos da área da bacia está a

mais de 1000 m de distância do seu limite, dificultando o acesso da comunidade da Ramadinha a estes locais.

Figura 21: Uso e ocupação do solo da bacia

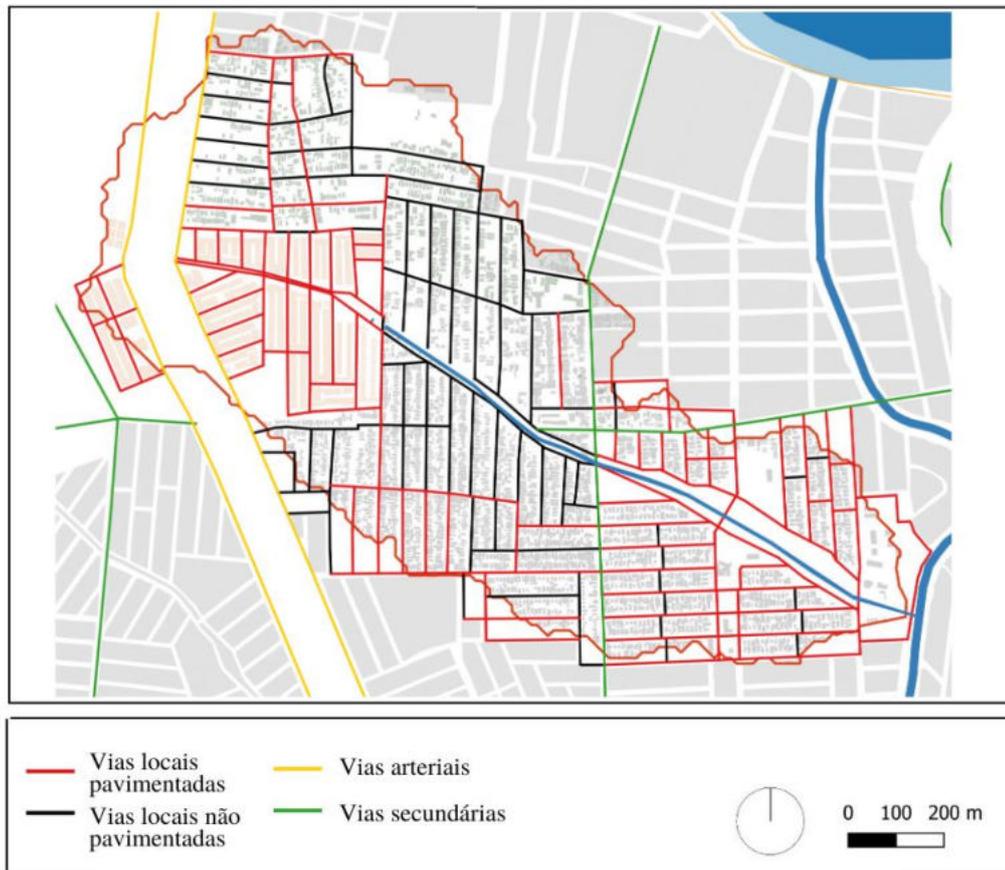


Fonte: Rede de pesquisa – Núcleo UFCG (2020). Com dados obtidos da Seplan (2011) e Google Earth (2020)

- **Vias**

Quanto aos tipos de vias, a bacia é formada por uma via arterial secundária (Avenida Plínio Lemos), duas vias coletoras (Florípedes Coutinho e João Sérgio de Almeida) e o restante de vias locais pavimentadas e não pavimentadas (Figura 22).

Figura 22: Tipos de vias na bacia em relação ao tipo

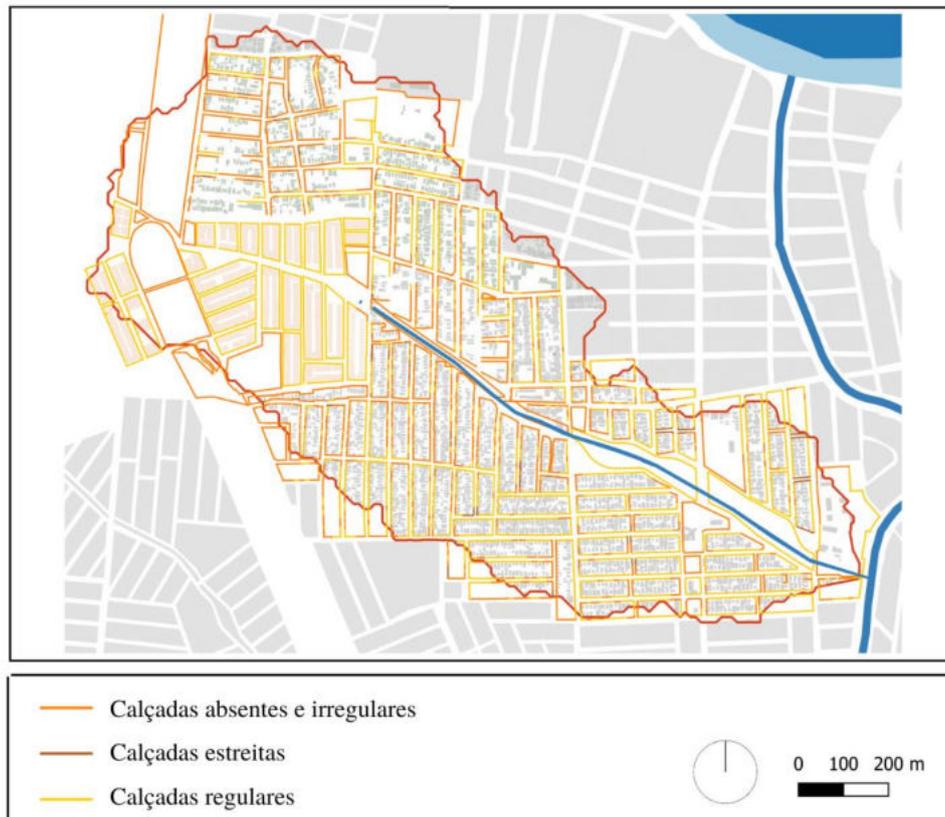


Fonte: Rede de pesquisa – Núcleo UFCG (2020). Com dados obtidos da Seplan (2011) e Google Earth (2020)

- **Calçadas**

Observa-se na bacia, calçadas que variam de regulares (com piso regular e largura respeitando o plano de mobilidade de Campina Grande, de acordo com a lei complementar nº004/2015) a calçadas irregulares (muito estreitas e sem um piso adequado), e até mesmo a inexistência das mesmas, como mostra a Figura 23.

Figura 23: Tipos de calçadas ao longo da bacia

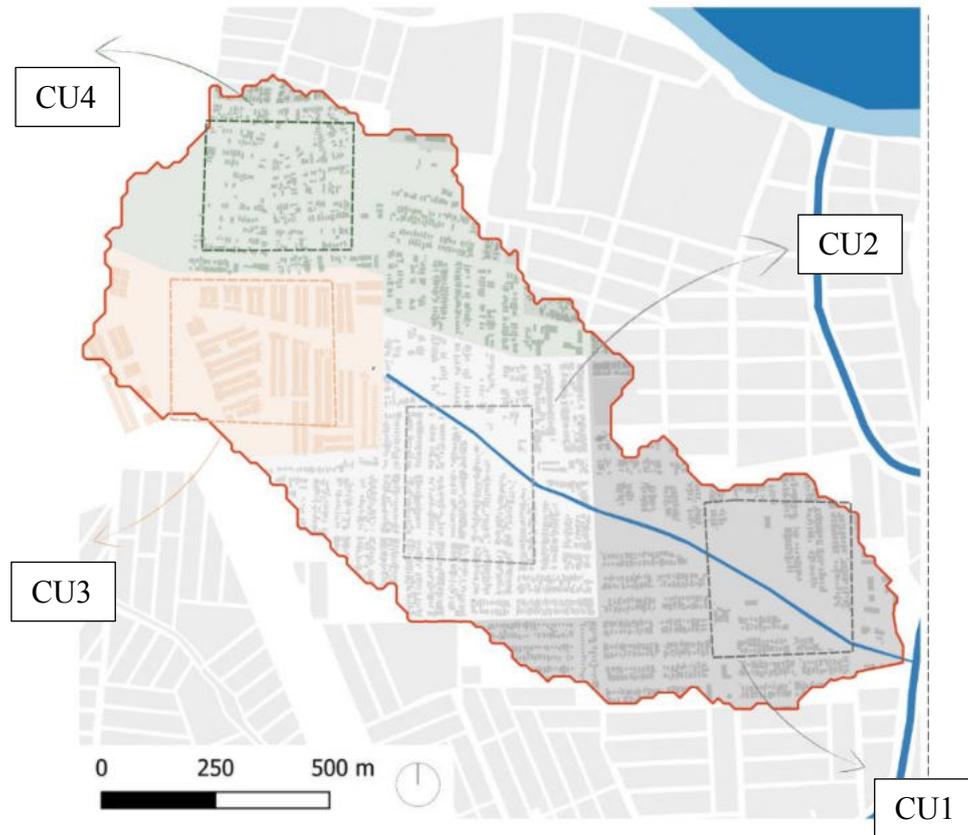


Fonte: Rede de pesquisa – Núcleo UFCG (2020). Com dados obtidos da Seplan (2011) e Google Earth (2020)

3.1.2. Configurações Urbanas da bacia

Como visto na seção 2.2 do capítulo 2, o espaço urbano apresenta inúmeras variações em seus padrões e configurações, marcados por diferentes tipos de cobertura do solo, densidades de áreas construídas, distribuição dos espaços verdes, configuração de vias e calçadas e arranjos de espaços públicos e privados. Estas diferentes Configurações Urbanas influenciam diretamente no comportamento do escoamento das águas pluviais, no acesso à infraestrutura urbana e conseqüentemente na qualidade de vida da comunidade, assim como nos tipos de medidas e abordagens necessárias para a intervenção no local. Com base nisso, percebeu-se uma heterogeneidade de padrões urbanos ao longo da bacia da Ramadinha, sendo possível classificá-la em quatro configurações distintas, conforme exibe a Figura 24.

Figura 24: Configurações Urbanas da Bacia



Fonte: A autora (2020)

A **Configuração Urbana 1** (Figura 25) possui traçado regular, semelhante ao entorno da bacia, facilitando o fluxo e a integração com este. Quase 94,7% dos seus lotes apresentam mais de 20% de área permeável e a declividade em cada quadra varia de 3% a 16%. Possui cerca de 80% das vias pavimentadas e 78% das calçadas são regulares. Possui uma média de ocupação por quadra de 43% e é caracterizada pela presença de algumas áreas verdes, como as áreas de preservação permanente (APPs) no entorno do canal. Apresenta a maior variedade de áreas públicas e privadas da bacia, além de ser a única configuração que possui espaço aberto destinado a um equipamento público de lazer.

Figura 25: Configuração Urbana 1



Fonte: Google Earth (2020)

A **Configuração Urbana 2** (Figura 26) apesar do alto adensamento, expõe um traçado regular em suas quadras e 99,8% de seus lotes possuem mais de 20% de área permeável. Seu terreno possui declividade que também variam de 3% a 16%. A estrutura viária é composta, majoritariamente, por vias não pavimentadas (cerca de 73%) e 54% das calçadas estão ausentes ou irregulares. Possui quadras com porcentagem de ocupação de até 60% e é a configuração é a que menos apresenta espaços abertos públicos e terrenos vazios, sendo quase que predominantemente composta por áreas privadas residenciais.

Figura 26: Configuração Urbana 2



Fonte: Google Earth (2020)

A **Configuração Urbana 3** (Figura 27) é a área mais recentemente urbanizada da bacia, com áreas residenciais cujas casas apresentam o mesmo padrão construtivo e arquitetônico. Possui traçado regular semelhante ao entorno e declividade que vai de 7% a 16%. 100% das vias são pavimentadas e 100% das quadras com áreas construídas possuem calçadas regulares. Apesar das quadras construídas serem altamente adensadas (até 70% de ocupação por quadra) e com poucos espaços vazios mesmo dentro dos lotes, a presença das grandes áreas vazias urbanas ajuda a amenizar a densidade urbana ao longo da configuração.

Figura 27: Configuração Urbana 3



Fonte: Google Earth (2020)

A **Configuração Urbana 4** (Figura 28) é a área com traçado de maior irregularidade da bacia, com um padrão espacial diferente do entorno, dificultando sua integração com este. Possui o relevo mais movimentado da área de estudo, que varia de 7% a 24%. A estrutura viária é composta, majoritariamente, por vias não pavimentadas (cerca de 74%) e 62,7 % das calçadas estão ausentes ou irregulares. Nesta configuração, as quadras são pouco adensadas (em média 40% de ocupação por quadra) e há alta presença de terrenos vazios nas mesmas. Além disso, cerca de 97% dos lotes apresentam porcentagem de área total permeável maior que 20%.

Figura 28: Configuração Urbana 4



Fonte: Google Earth (2020)

3.1.3. Intervenção atual de drenagem e falhas persistentes

Conforme já citado neste capítulo, a prefeitura de Campina Grande foi a peticionante de um projeto de drenagem urbana, financiado por recursos do Programa de Aceleração de Crescimento (PAC) do Governo Federal, cujo intuito era eliminar os riscos por inundações e alagamentos na área de estudo, a que as famílias moradoras do local estavam submetidas. No projeto de drenagem realizado para a área e disponibilizado pela Gerência Executiva de Governo de João Pessoa da Caixa Econômica Federal - Gigov-JP CAIXA, foi levantado que o projeto de macrodrenagem da região, que engloba o canal da Ramadinha e que cuja água pluvial escoava até o canal de Bodocongó, foi construído em concreto armado, possuindo seção do tipo retangular aberto, com 3,00 metros de base e 2,50 metros de altura.

Além disso, de acordo com o projeto, ao longo do canal há 5 Passarelas, também em concreto armado, distribuídas nas travessias principais, a fim de permitir a passagem de pedestres. Enquanto isso, o projeto de microdrenagem é formado por um sistema coletor de tubos de concreto armado, situado ao longo das ruas e vias da região, com diâmetros que variam

entre 400 e 1000 mm, captando as águas superficiais provenientes dos lotes e das ruas e conduzindo-as até o Canal da Ramadinha.

Porém, cabe salientar que, até a data da concepção do presente trabalho, o projeto de microdrenagem realizado para a área em estudo não foi executado em sua totalidade, sendo as águas que chegam até o canal drenadas, majoritariamente, de forma superficial ao longo da bacia. Através da observação das imagens de satélite, foi possível identificar alguns elementos de drenagem que realmente foram implementados na área, para posteriormente, cadastrá-los no programa de simulação hidráulico/hidrológica do SWMM (ver Figura 29).

Figura 29: Elementos de macro e microdrenagem implementados na Bacia



Fonte: A autora (2020) com informações obtidas do Google Earth (2020)

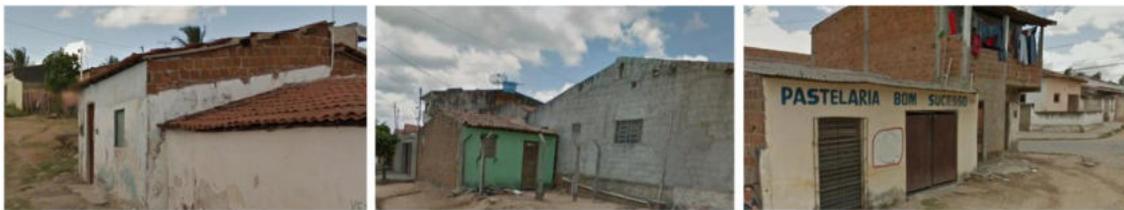
Embora a intervenção em drenagem executada até então na bacia da Ramadinha tenha tido um importante papel na mitigação da ocorrência de alagamentos, principalmente nas áreas da várzea do canal, como mostra o artigo exposto no Apêndice B⁶(SANTOS et. al, 2021), alguns moradores ainda relatam problemas. Em eventos de chuva intensa, as altas vazões de escoamento advinda das ruas adentram suas casas e causam empoçamento em locais com vias

⁶ O artigo presente no apêndice B, intitulado: “Avaliação integrada das soluções de drenagem urbana em assentamento precário” foi submetido a Revista *Engenharia Sanitária e ambiental*. O mesmo foi desenvolvido durante as atividades realizadas na rede de pesquisa: “A dimensão ambiental e as infraestruturas de drenagem na urbanização de favelas: concepções de projeto, formas de produção das redes e especificidades dos assentamentos precários”.

sem pavimentação, forçando-os adotarem medidas improvisadas que diminuem estes impactos em suas residências.

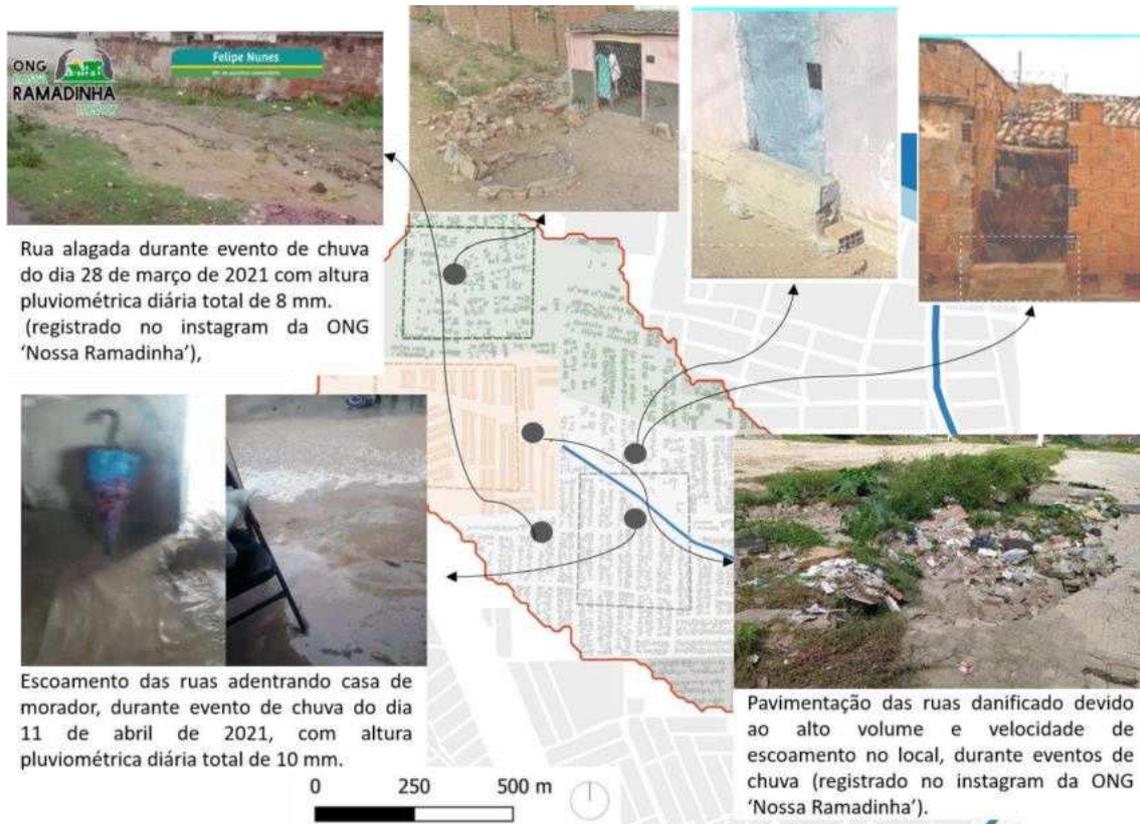
Além disso, é comum a presença de casas e estabelecimentos sem nenhum recuo das vias, o que pode vir a aumentar ainda mais a vulnerabilidade destas (Figura 30). A Figura 31 mostra acontecimentos recentes de alagamentos nas vias e nas casas da bacia e as barreiras colocadas nas entradas da casa de moradores, como proteção aos altos níveis de água escoados em direção às mesmas durante os eventos de chuva intensa.

Figura 30: Casas e estabelecimentos sem recuo da via



Fonte: Google Earth (2015)

Figura 31: Casas com barreiras, ruas e casas alagadas e danificadas durante eventos de chuva



Fonte: Google Earth (2015), ONG nossa Ramadinha melhor (2021)

Deste modo, é perceptível os problemas ainda enfrentados na bacia pelos altos escoamentos gerados durante eventos de chuva (mesmo que não tão intensas), aliados à

vulnerabilidade social e ambiental, a insuficiente participação popular na tomada de decisões e o baixo controle social por parte dos moradores das intervenções e das infraestruturas implantadas.

Como resultado desse sistema que prioriza medidas estruturais centralizadas, visando apenas a eficiência hidráulica/hidrológica de seus elementos, a comunidade ainda enfrenta problemas relacionados a falta de acesso a algumas infraestruturas básicas, tais como ruas pavimentadas, calçadas acessíveis de piso apropriado e regular, espaços destinados à pedestres, equipamentos públicos de lazer e áreas verdes destinadas à interação social. Problemas estes muitas vezes advindos da negligência e subutilização dos locais com potenciais para estes usos. Somado a isso, ainda é observado o despejo e acúmulo inapropriado de resíduos sólidos em terrenos baldios, ao longo das vias e nas margens do canal de macrodrenagem, além de ligações clandestinas de esgotamento sanitário no mesmo.

Tais fatos, aliado à percepção de que ambiente urbano não é homogêneo ao longo do território da bacia, são as principais razões pelas quais a bacia da Ramadinha se faz apropriada para este estudo, uma vez que a mesma enfrenta problemas que podem ser mitigados pelos múltiplos benefícios que soluções descentralizadas, como a implementação dos dispositivos de drenagem urbana sustentável (SUDS), trazem para a comunidade e o espaço urbano.

3.2. INTEGRAÇÃO DAS SUDS À ÁREA DE ESTUDO

3.2.1. Seleção das SUDS a serem simuladas

Dentre os inúmeros dispositivos de Drenagem Urbana Sustentável existentes, foram escolhidas, para o presente trabalho, as técnicas de infiltração representadas pelas trincheiras de infiltração, sistemas de Biorretenção e pavimentos permeáveis e as de armazenamento representada pelos Sistemas coletores de água de chuva. Esses dispositivos foram escolhidos considerando-se a possibilidade de simulação no programa, o nível de complexidade na construção e manutenção e a possibilidade de serem integráveis a espaços urbanos já consolidados. Além disso, para facilitar ainda mais a implementação, os tanques de armazenamento de água pluvial escolhidos foram limitados a uma capacidade total de 200 litros.

Considera-se também, que estas técnicas SUDS podem ser melhor integradas ao espaço urbano já consolidado da área de estudo. Podem, portanto, serem desenvolvidas em conjunto

com espaços de interação social e alocadas nos espaços ainda disponíveis na bacia, sejam eles públicos ou privados, oferecendo benefícios diretos a comunidade, o que as tornam mais rapidamente apropriadas. (WOODS-BALLARD et. al, 2015).

3.2.2. Processo de mapeamento da adequabilidade das SUDS no espaço urbano da bacia

Feito a escolha das técnicas SUDS à serem simuladas, foram identificadas as variáveis físicas e os componentes urbanos que representassem os lugares aptos de implantação das mesmas. Para tanto, foram analisadas características principais da bacia a serem levadas em consideração na alocação de cada SUDS escolhidos anteriormente, com base nos aspectos físicos e urbanos dos padrões e configurações estudadas. Deste modo, os locais selecionados para a alocação de cada SUDS no espaço urbano da área de estudo foram:

- **Pavimentos permeáveis (P.P):** Calçadas abertas e irregulares, estacionamentos em áreas públicas e privadas), vias não pavimentadas e áreas onde a declividade não ultrapasse 10% (COUNTY OF LA,2014)
- **Sistemas de Biorretenção (S.B):** Áreas verdes e espaços públicos abertos (parques, praças e áreas livres dentro de instituições públicas, como lotes destinados a escolas, hospitais e de uso comunitário), vazios urbanos e terrenos não construídos ou subutilizados com potencial para se tornarem áreas de interação social, espaços livres e permeáveis dentro de lotes privados (representando 20% da área total dos lotes residenciais e comerciais) e áreas onde a declividade não ultrapasse 20% (WOODS-BALLARD, 2015);
- **Trincheira de Infiltração (T.I):** Trechos adjacentes às vias e calçadas em locais que não possuam declividade acima de 5% (WOODS-BALLARD, 2015).
- **Sistema de captação de água da chuva (Tanques de armazenamento de 200 litros) (S.C.A.C):** A implantação dessa técnica não apresenta grandes restrições urbanísticas e físicas e, portanto, é viável ao longo de toda a bacia de estudo, tanto em lotes privados (residenciais e comerciais), quanto em lotes públicos (instituições públicas, como lotes destinados a escolas e equipamentos de uso comunitário).

As variáveis físicas e componentes urbanos analisados para cada SUDS representam lugares passíveis à aloca-las, no intuito de revitalizar a paisagem urbana e maximizar a capacidade de mitigação de alagamentos da região. Portanto, tendo em mãos todas as camadas contendo as informações e delimitações de todas as variáveis adotadas, foi realizado, com o

auxílio do programa QGIS, a sobreposição das camadas que fossem importantes na tomada de decisão de alocação de cada técnica SUDS analisada. O Quadro 4 resume as camadas das variáveis físicas e componentes urbanos utilizados e não utilizados na análise de adequabilidade de cada uma das técnicas. Com essa análise, foi possível identificar a disponibilidade cada variável em cada configuração urbana e determinar a sua adequabilidade para o recebimento de cada técnica SUDS estudada.

Quadro 4: Variáveis de alocação para cada técnica SUDS

	Camadas	P.P	T.I	S.B	S.C.A.C
Variáveis Físicas	Declividade (< 5%)		X		
	Declividade (< 10%)	X			
	Declividade (< 20%)			X	
Componentes Urbanos (Público)	Estacionamentos	X			
	Calçadas absentes e irregulares	X			
	Vias não pavimentadas	X			
	Áreas adjacentes à vias e calçadas		X		
	Parques e Praças			X	
	Vazios urbanos e terrenos não construídos com potencial para serem convertidos em áreas de interação social			X	
	Espaços livres (e permeáveis para o S.B) dentro de lotes públicos (escolas, hospitais e usos comunitário)			X	X
Componentes Urbanos (Privado)	Estacionamentos	X			
	Espaços livres (e permeáveis para o S.B) dentro de lotes privados (residenciais e comerciais)			X	X

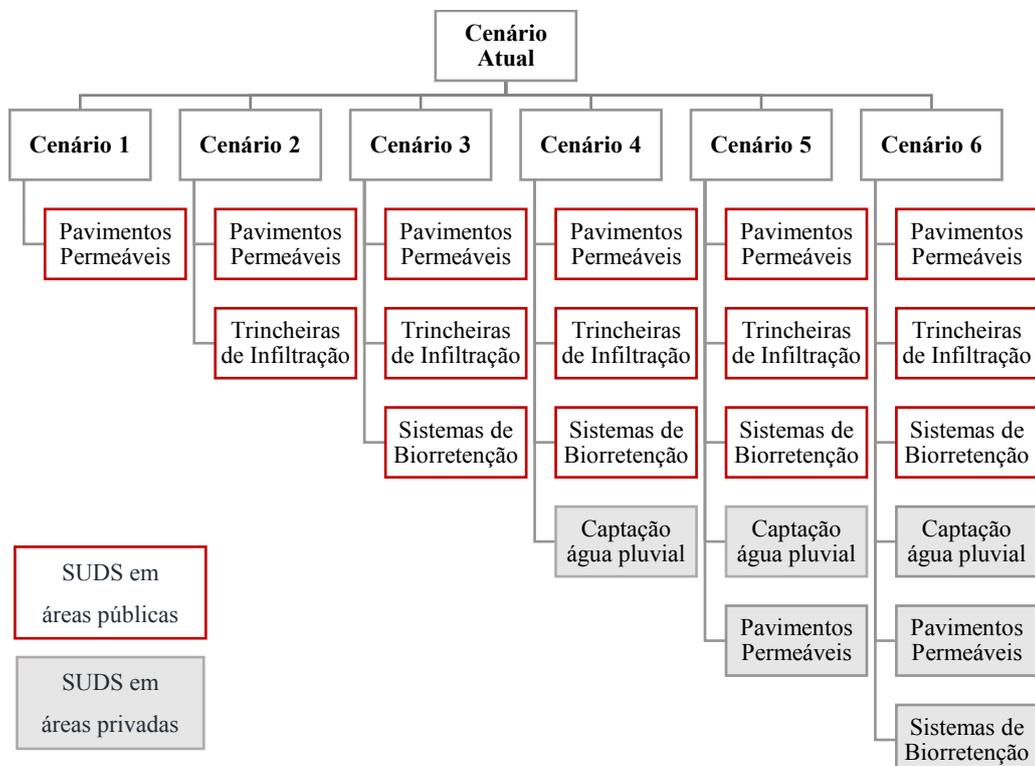
Fonte: A Autora (2021)

3.3. DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

Os cenários a serem simulados foram formados para o modelo de simulação no SWMM, de modo a avaliar a redução da vulnerabilidade ao alagamento ao longo da bacia. Para isso, foram considerados os diferentes tipos de espaços (públicos e privados) aptos a receberem os dispositivos SUDS. Primeiramente, alocou-se pavimentos permeáveis nos locais públicos

por considerar que estes podem ser adotados mais rapidamente nos futuros trabalho de pavimentação da área de estudo, e observou-se se estes foram capazes de mitigar completamente os pontos de alagamento indicados no cenário com a intervenção atual de drenagem. No caso de não ocorrência da completa mitigação dos pontos de alagamento, foram agregadas as outras técnicas (trincheiras de infiltração, sistemas de biorretenção e sistema de captação de água de chuva) ao modelo, variando sua implementação, inicialmente, apenas em locais públicos e em seguida em locais públicos e privados, de acordo com o espaço disponível. Seguindo este método, a Figura 32 apresenta as possibilidades de cenários possíveis até que se atinja uma vulnerabilidade ao alagamento igual ou próxima a zero.

Figura 32: Cenários de simulação



Fonte: A Autora (2021)

3.4. PROCESSO DE SIMULAÇÃO HIDRÁULICO/HIDROLÓGICA

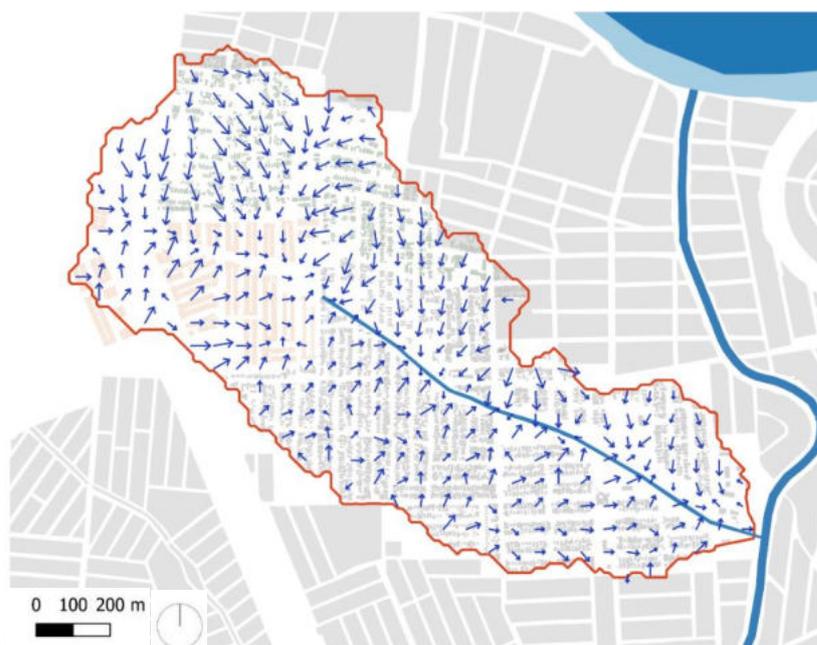
Para a modelagem hidráulico/hidrológica dos cenários de simulação, fez-se uso do modelo computacional Storm Water Management Model (SWMM), amplamente utilizado para quantificar o escoamento e a eficiência dos dispositivos SUDS inseridos ao longo da área de drenagem. Por ser um modelo que permite grande nível de detalhamento durante seu processo de parametrização, o SWMM, em conjunto com um Sistema de Informação Geográfica – SIG, apresenta-se como uma ferramenta adequada para o presente estudo.

Foi feita, inicialmente, a inserção da topologia da bacia no programa SWMM, que foi alimentada com os valores dos parâmetros necessários para cada sub-bacia e o modelo foi calibrado com evento de chuva intensa escolhido. Ademais, o modelo de infiltração utilizado foi o da Curva-Número e o modelo de propagação de vazão selecionado foi o da onda dinâmica. Após a simulação hidrológica do cenário com a intervenção de drenagem atual e através de manipulações nos parâmetros da bacia pela utilização das ferramentas e dados adequados no modelo de simulação, também foi possível avaliar o efeito integrado das técnicas de drenagem sustentável escolhidas anteriormente para compor os cenários de simulação.

3.4.1. Discretização e topologia da bacia

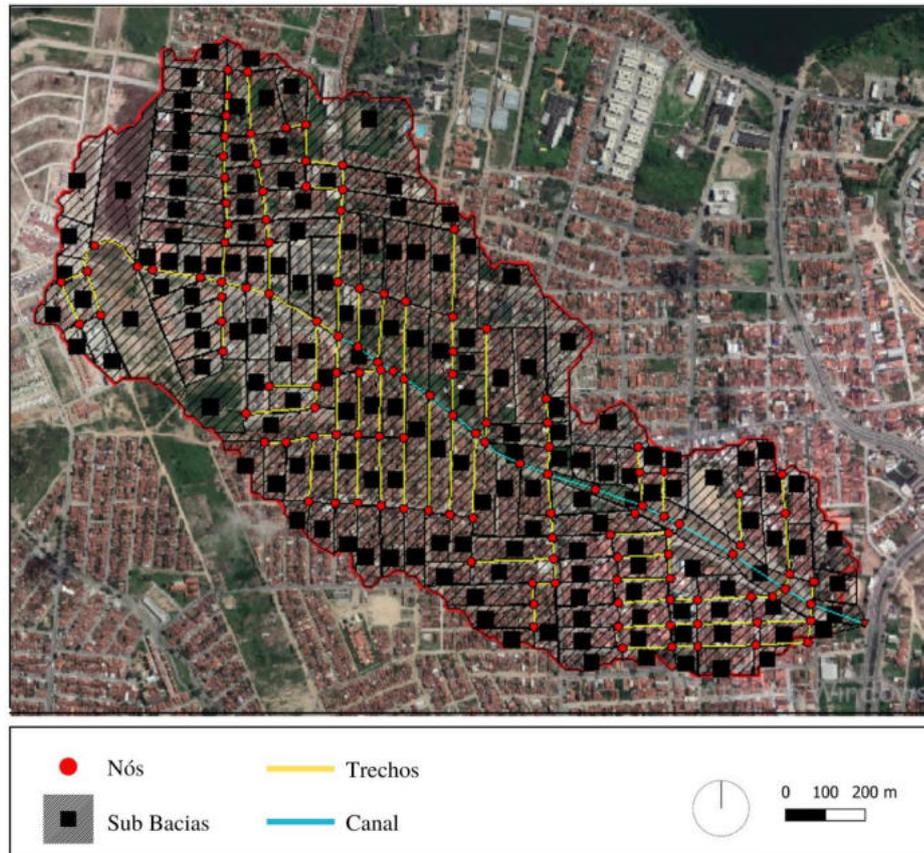
Como já mencionado, as águas que chegam até o canal da Ramadinha são drenadas, em sua maioria, de forma superficial ao longo da bacia. Deste modo, para a formação da topologia no SWMM, os nós e trechos foram distribuídos na extensão do canal, nas bocas de lobo existentes e ao longo das vias. Para obter um maior nível de detalhe durante a simulação, as sub-bacias discretizadas foram delimitadas através dos limites das quadras de contribuição para cada nó. Ao todo, foram cadastradas 199 sub-bacias, 209 nós e 239 trechos no modelo. A direção do escoamento foi observada através da extração dos vetores do Modelo Digital de Elevação (MDE) da área (Figura 33). Os nós de simulação, os trechos de ligação entre os mesmos e as suas sub-bacias de contribuição, podem ser observados na Figura 34.

Figura 33: Direção do escoamento



Fonte: A Autora (2021)

Figura 34: Discretização e topologia da bacia

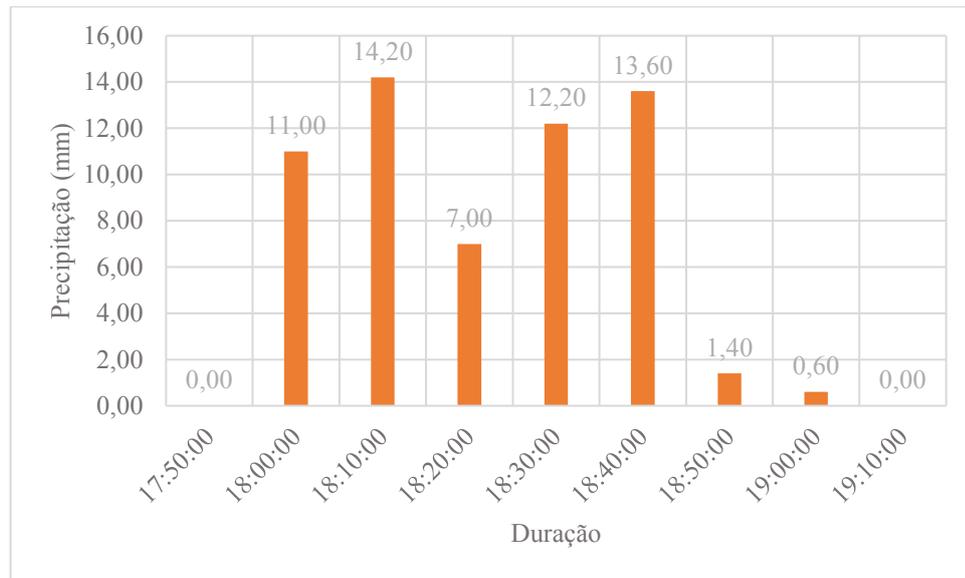


Fonte: A Autora (2021)

3.4.2. Evento de chuva intensa

Para a entrada dos dados da precipitação de projeto no modelo de simulação, foram utilizados dados de chuvas reais e intensas ($P_{tot} > 50\text{mm}$ em menos de 2 horas), que incidiu na cidade de Campina Grande no dia 21 de janeiro de 2020. Nesta data, foi registrada uma altura total de precipitação de 60mm em 1 hora e 20 minutos. O hietograma desse evento pode ser visto no gráfico da Figura 35.

Figura 35: Evento de chuva analisado

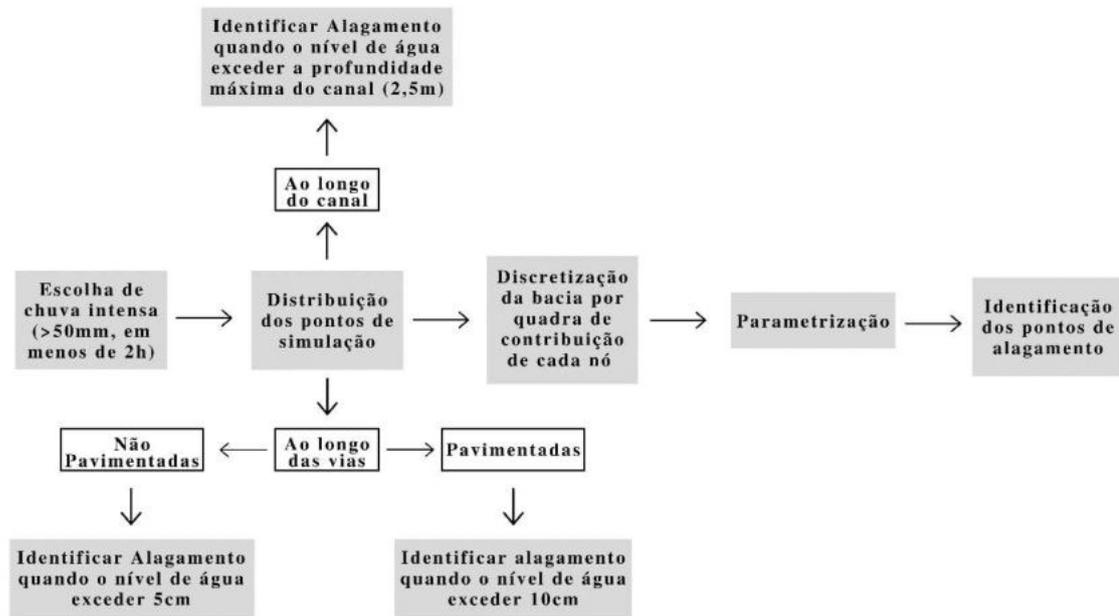


Fonte: CEMADEN (2020)

3.4.3. Quando ocorre alagamento no modelo?

A fim de se ter uma melhor compreensão acerca da vulnerabilidade ao alagamento causada por impactos hidrológicos durante eventos de chuva intensa na bacia, o modelo foi parametrizado de modo a identificar os pontos de alagamento sempre que a água exceder um certo valor acima do nível da rua que seja capaz de dificultar a passagem de veículos e pedestres e entrar na casa dos moradores. Foi assumido, neste trabalho, que este valor pode variar de acordo com as características da rua (0,05 m para ruas não pavimentadas e 0,1 m para ruas pavimentadas). Na Figura 36 está esquematizada a metodologia de análise de definição das áreas de risco ao alagamento adotada na pesquisa.

Figura 36: Metodologia de definição de quando ocorre alagamento no modelo



Fonte: A Autora(2020)

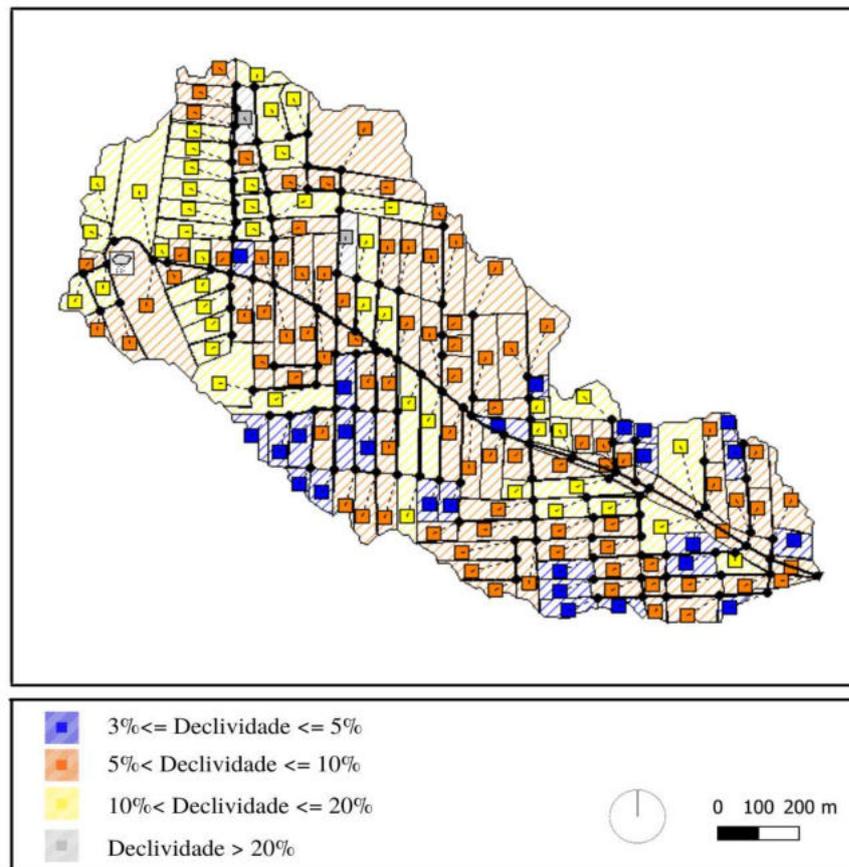
3.4.4. Parametrização

Para caracterizar a bacia, é necessário obter os parâmetros que serão exigidos como dados de entrada no processo de simulação hidrológica no SWMM. Os parâmetros necessários para o presente modelo foram: Declividade média (%), porcentagem impermeável (%), CN, largura característica do escoamento superficial (m), dados dos nós e trechos da rede de drenagem, armazenamento em depressões, coeficiente de rugosidade de manning e parâmetros específicos de cada dispositivo SUDS.

3.4.4.1. Declividade Média (%)

A declividade média para cada sub-bacia discretizada (Figura 37) foi calculada tomando como base o mapa de declividade da Figura 22, extraído do MDE da área de estudo. Para tanto, através da sobreposição da camada referente as sub-bacias (representadas pelas quadras da Ramadinha), e fazendo uso da função de estatísticas zonais do software QGIS, que extrai, dentre outros valores, a média de cada pixel da camada raster gerada, foi possível obter os valores médios de declividade para cada sub-bacia da área de estudo.

Figura 37: Declividade média de cada sub-bacia

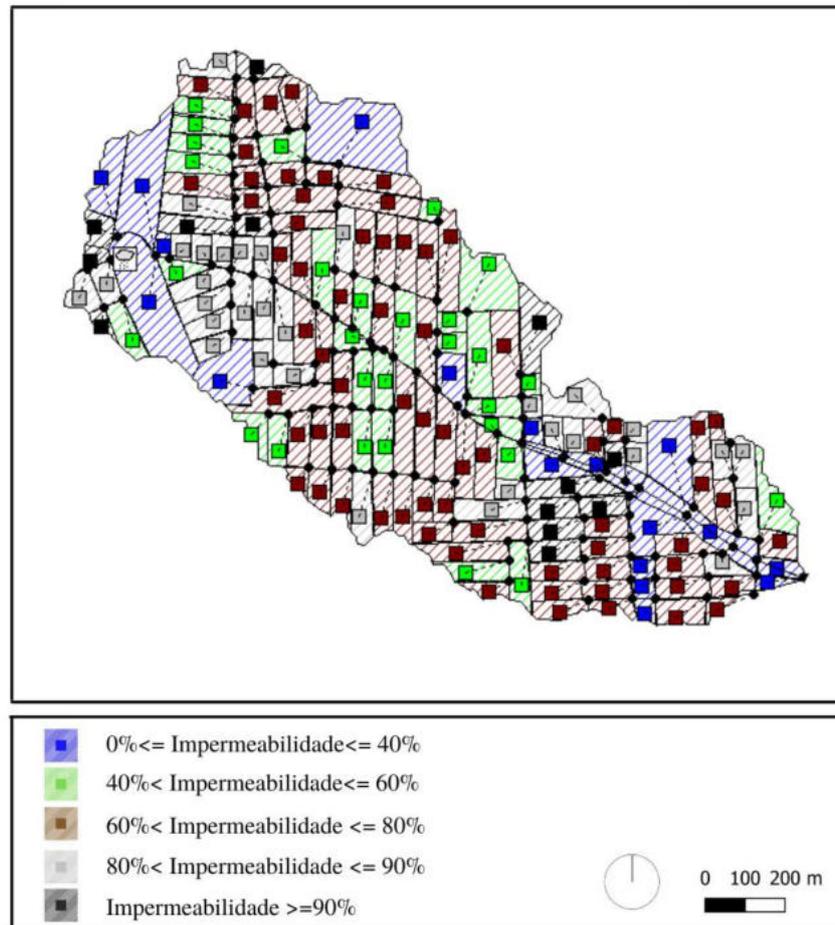


Fonte: A Autora (2021)

3.4.4.2. Porcentagem Impermeável (%)

Para o estudo da impermeabilização da área, foram estabelecidas algumas categorias que representam os tipos de uso e ocupação do solo da bacia, sendo possível correlacioná-las com o grau de impermeabilidade do mesmo. As categorias estabelecidas foram: i) Áreas permeáveis: Vias não pavimentadas, áreas verdes com significativa presença de vegetação, terrenos urbanos vazios com áreas não edificadas, solo majoritariamente exposto dentro da malha urbana e áreas de proteção permanente (APPs) no entorno do canal ii) Áreas impermeáveis: ruas pavimentadas, calçadas para circulação de pedestres e lotes com áreas construídas. Com isso, foi possível calcular as porcentagens que cada uma das categorias citadas anteriormente representa em relação à área total da sub-bacia que está sendo parametrizada, como mostra a Figura 38.

Figura 38: Porcentagem impermeável para cada sub-bacia



Fonte: A Autora (2021)

3.4.4.3. Parâmetro CN

O modelo de infiltração utilizado no programa foi o método da Curva Número (CN). Portanto, foi necessário realizar o cálculo do CN médio para cada sub-bacia discretizada. Primeiramente, foi verificado o grupo de solo predominante na bacia em estudo, através dos critérios estabelecidos pelo método do Soil Conservation Service – SCS (SCS, 1964) que categoriza os grupos hidrológicos de solo da sub-bacia de acordo com a sua capacidade de infiltração (Quadro 5). Para tanto foram utilizados o mapa do sistema brasileiro de classificação de solos, na escala de 1:5.000.000 que representa a distribuição geográfica das classes de solos do Brasil (SANTOS et. al, 2011).

Quadro 5: Classificação hidrológica dos solos

GRUPO HIDROLÓGICO DO SOLO	DESCRIÇÃO	CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO(MM/H)
A	Areias e cascalhos profundos muito permeáveis. Com alta taxa de infiltração mesmo saturados. Teor de argila até 10%	12,0-8,0
B	Solos arenosos menos profundos e permeáveis e com pouco finos. Teor de argila de 10% à 20%.	8,0 – 4,0
C	Solos com elevada porcentagem de argila (entre 20 e 30%), pouco profundos, com camadas subsuperficiais que impedem o fluxo descendente de água	4,0-1,5
D	Solos com teor de argila que ultrapassa 30%, com nível do lençol freático elevado e camadas argilosas próximas à superfície	1,5-0,0

Fonte: Canholi(2005)

Assim, para a área em estudo, a classificação do solo recaiu em Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos, Luvisolos Cromicos Orticos e Neossolos Litolicos Eutróficos. Considerando, portanto, as informações obtidas sobre cada tipo de solo encontrado no estudo de classificação do solo do Brasil realizado pela EMBRAPA (2006) e sobrepondo-o à categorização do solo descrita pelo SCS(1964), podemos classificar o solo da bacia da Ramadinha em sua totalidade como do grupo B.

Foram, assim, calculadas as áreas de cada uso do solo (classificadas na seção 3.1.1.3 de aspectos urbanos, deste capítulo) em cada sub-bacia, utilizando ferramentas de sobreposição e análise espacial no Software Qgis. Em seguida, calculou-se as taxas de cada uso em relação a área total das sub-bacias discretizadas a fim de calcular o CN médio de cada uma delas. Para isso, foram utilizados os valores de CN definidos por Tucci(2002) para o grupo de solo do tipo B, mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Valores de CN para cada tipo de solo

		Tipo de solo			
Cobertura do solo		A	B	C	D
Espaços abertos	Relva>75%	39	61	74	80
	50%<Relva>75%	49	69	79	84
Lotes<500m²	65% área impermeável	77	85	90	92
Estacionamentos/telhados		98	98	98	98
Vias	Asfalto	98	98	98	98
	Paralelepípedo	76	85	89	91
	Terra	72	82	87	89

Fonte: Tucci(2002)

Portanto, foi possível calcular o CN médio para cada sub-bacia discretizada através da fórmula: $CN\text{ médio} = \% \text{ da área de vegetação} * CN\text{ correspondente} + \% \text{ da área de solo exposto} * CN\text{ correspondente} + \% \text{ da área de lotes construídos} * CN\text{ correspondente} + \% \text{ das ruas de terra} * CN\text{ correspondente} + \% \text{ das ruas de paralelepípedo} * CN\text{ correspondente} + \% \text{ das ruas de asfalto} * CN\text{ correspondente} + \% \text{ das calçadas} * CN\text{ correspondente}$.

3.4.4.4. Largura equivalente

O cálculo da largura do escoamento para cada sub-bacia discretizada, foi utilizado, como sugerido por Garcia (2005), através da fórmula da largura do retângulo equivalente (l_e) dado na Equação (1), que é função do coeficiente de compacidade (k_c) dado na Equação (2) do capítulo 2.

3.4.4.5. Dados do nós e trechos da rede de drenagem

Os elementos da rede drenagem são considerados com ‘condutos’ e ‘nós’ no SWMM. Neste caso, as ruas e pontos distribuídos ao longo delas fazem parte dessa rede devido a maior parte do escoamento superficial se dar ao longo da mesma. A cota de radier de cada nó (diferença de cota topográfica entre o topo e o fundo do elemento), foram visualizados com o auxílio dos dados de altitude informados no Modelo digital de elevação. Para o canal e elementos de microdrenagem da bacia, a largura e a profundidade máxima que corresponde ao nível limite de água que a água pode atingir sem causar alagamento foi obtida através dos dados extraídos dos projetos fornecidos pela Gerência Executiva de Governo de João Pessoa da Caixa Econômica Federal (Gigov/ CAIXA). Já para as ruas estas profundidades foram adotadas conforme expõe a seção 3.4.3 deste capítulo. A Tabela 2 resume estes dados.

Tabela 2: Características dos condutos inseridos no modelo

	Forma	Cota (m)	Profundidade Máxima(m)	Largura da Base (m)
Canal	Retangular Aberto	MDE	2,5	3,0
Galerias	Circular Fechado	MDE	0,4 a 1,0	-
Vias	Retangular Aberto	MDE	0,05 (não pavimentadas) 0,1(pavimentadas)	8,0

Fonte: A Autora (2020)

3.4.4.6. Capacidade para armazenamento em depressões

Este parâmetro se caracteriza pelo acúmulo da água da chuva em depressões localizadas na superfície das sub-bacias. No entanto, as superfícies impermeáveis podem ser divididas em duas subáreas, uma que contém o armazenamento em depressão e outra que não o contém. Os valores para a capacidade de armazenamento em depressões foram cadastrados de acordo com o recomendado por Rossman (2008) e encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3: Capacidade de armazenamento em depressão para as áreas permeáveis e impermeáveis

Parâmetro	Sigla	Unidade	Valor
Capacidade de armazenamento em depressões para superfícies impermeáveis.	PA – I	mm	1,27
Capacidade de armazenamento em depressões para superfícies permeáveis.	PA – P	mm	2,54
% da área impermeável sem armazenamento em depressão.	%A. imp. s/ arm.	-	100%A. Imp

Fonte: ASCE (1992)

3.4.4.7. Coeficiente de Rugosidade

O coeficiente de rugosidade, ou coeficiente de Manning, é estimado com base nas características do revestimento do solo. Os valores para este coeficiente estão indicados na Tabela 4, sendo as áreas impermeáveis compostas majoritariamente por pavimentos de paralelepípedo e telhados de cerâmica e as superfícies permeáveis sendo composta por vegetação rasteira e campos sem vegetação. Para os condutores, representados no modelo pelo canal, galerias e ruas, os coeficientes de rugosidade de manning foram definidos de acordo com Tabela 5.

Tabela 4: Coef. de Rugosidade de manning para as áreas permeáveis e impermeáveis da sub-bacia

Parâmetro	Sigla	Unidade	Valor
Coef. De Manning para superfícies impermeáveis	n - I	-	0,015
Coef. De Manning para superfícies permeáveis	n - P	-	0,13

Fonte: McCuen et al. (2002)

Tabela 5: Coeficiente de rugosidade de manning para os condutos

Conduto	Superfície	n manning
Galeria	Concreto	0,013
Canal retangular	Concreto	0,020
Vias Pavimentadas	Asfalto/Paralelepípedo	0,011/0,05
Vias não Pavimentadas	Terra	0,13

Fonte: McCuen et al. (2002), ASCE (1982), Rossman (2008)

3.4.4.8. Parâmetros específicos dos dispositivos SUDS

Como decidiu-se alocar os dispositivos SUDS nas sub-bacias já existentes no modelo, e não criar sub-bacias específicas para elas, sua entrada no modelo acaba por alterar o cálculo de percentual de áreas impermeáveis, e do CN das sub-bacias nas quais estão alocadas. Ademais, nesta pesquisa, os SUDS foram simuladas trabalhando em paralelo, ou seja, tratando diferentes parcelas do escoamento gerado pela fração da sub-bacia não coberta por SUDS. O SWMM, leva em consideração, portanto, que uma a parte da vazão dos locais impermeáveis que não são levados até as medidas de drenagem sustentável, bem como o escoamento que excede do dispositivo de SUDS, é lançado diretamente ao nó da sub-bacia que é ligada ao mesmo (ROSSMAN,2015)

Como os dispositivos SUDS são representadas de forma diferente no SWMM, foi necessário definir os parâmetros de cada uma delas de acordo com as camadas pedidas no programa (ver Quadro 6 e Tabela 6). Estes parâmetros são de grande importância durante o processamento dos resultados das simulações. Procurou-se seguir os valores estabelecidos pelos autores de manuais consagrados em relação ao uso dos dispositivos de medidas compensatórias e sustentáveis em drenagem urbana.

Quadro 6: Camadas de entrada das SUDS no SWMM

	Superfície	Solo	Armazenamento	Pavimento
(T.I)	X		X	
(S.B)	X	X	X	
(P.P)	X	X		X
(T.C.A.C)			X	

T.I: Tricneira de Infiltração. S.B: Sistemas de Biorretenção; P.P: Pavimentos Permeáveis; T.A.A.C: Tanques de Armazenamento de Água de Chuva. Fonte: Rossman (2008)

Tabela 6: Parametrização das SUDS

Parâmetros	T.I	S.B	P.P	T.C.A.C
Superfície				
Prof. Armaz. (mm)	250 ¹	150 ²	0	-
Cobertura veg.(fração)	0,1 ²	0,2 ²	0	-
n manning	0,05 ²	0,4 ²	0,013 ²	-
Decliv. Super. (%)	1	1	1	-
Armazenamento				
Altura(mm)	750 ²	450 ¹	300 ¹	900
Índice vazios (vazios/sólidos)	0,75 ²	0,75 ²	0,2 ²	-
Taxa de filtração (mm/h)	300 ¹	300 ¹	250 ¹	-
Fator de colmatação	0	0	0	-
Solo				
Espessura (mm)	-	900 ²	-	-
Porosidade	-	0,4 ³	-	-
Capacidade de campo	-	0,2 ²	-	-
Ponto de murcha	-	0,1 ²	-	-
Cond. Hidráulica	-	100 ³	-	-
Decliv. Da condutiv. (mm/h)	-	10 ²	-	-
Potencial matricial (mm)	-	88,9 ²	-	-
Pavimento				
Espessura (mm)	-	-	150 ²	-
Índice vazios (vazios/sólidos)	-	-	0,2 ²	-
Superfície imperm. (fração)	-	-	0 ²	-
Permeabilidade (mm/h)	-	-	250 ¹	-
Fator de colmatação	-	-	0	-

¹ Woods Ballard (2015); ² Rossman (2008); ³ FHWA (2009)

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

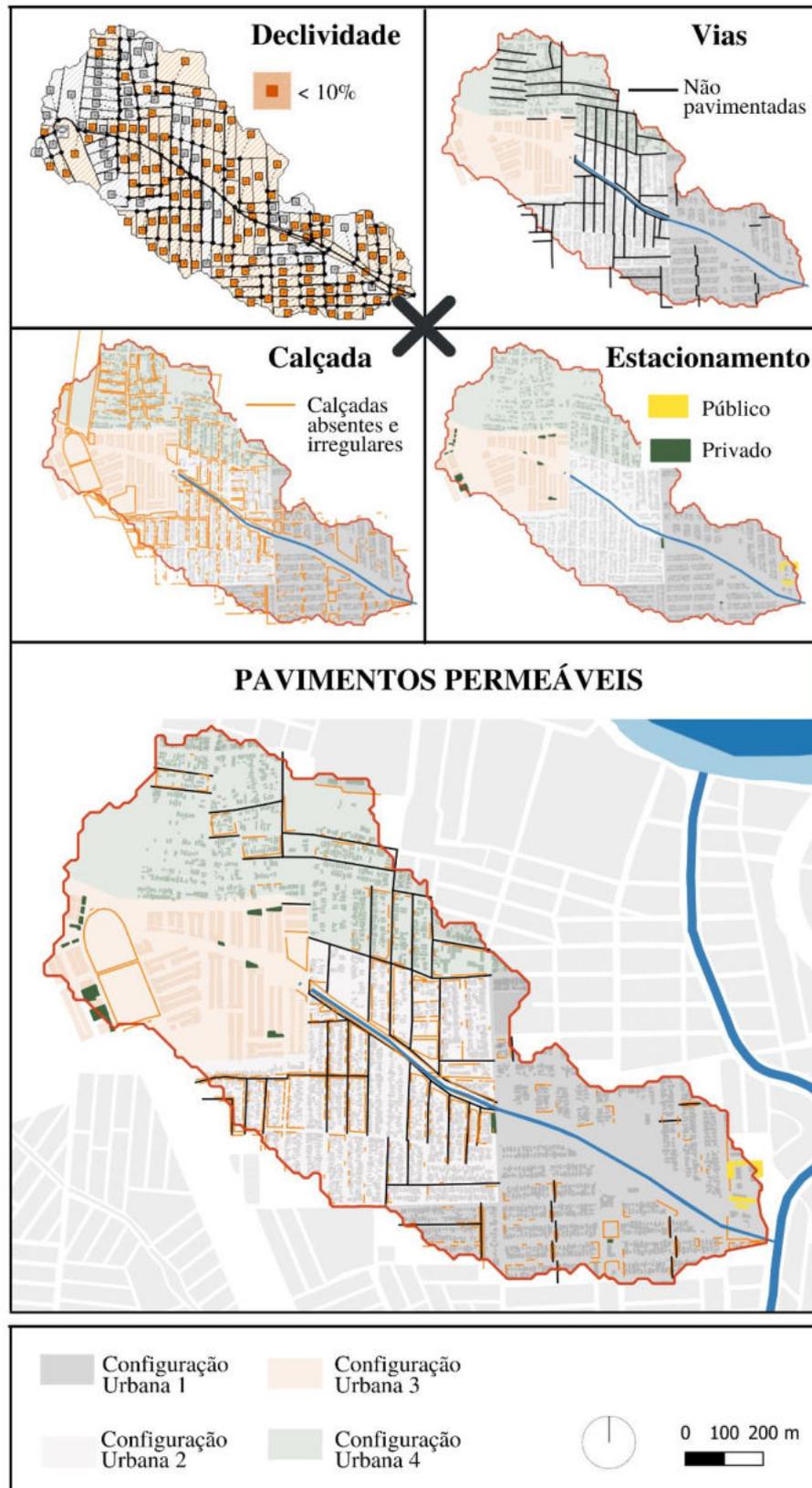
4.1.ADEQUABILIDADE DA BACIA À IMPLEMENTAÇÃO DE SUDS

Os cartogramas de adequabilidade das técnicas SUDS foram confeccionados pela sobreposição das camadas adotadas para alocação de cada técnica, de modo a identificar as áreas aptas a receberem as mesmas ao longo da bacia, conforme metodologia adotada. Como as distintas Configurações Urbanas (CUs) da área de estudo apresentam diferentes disponibilidades das variáveis e componentes analisadas, fica evidente o fato de que tais configurações possuirão diferentes adequabilidades à implementação de cada uma dos SUDS avaliadas.

4.1.1. Pavimentos Permeáveis (P.P)

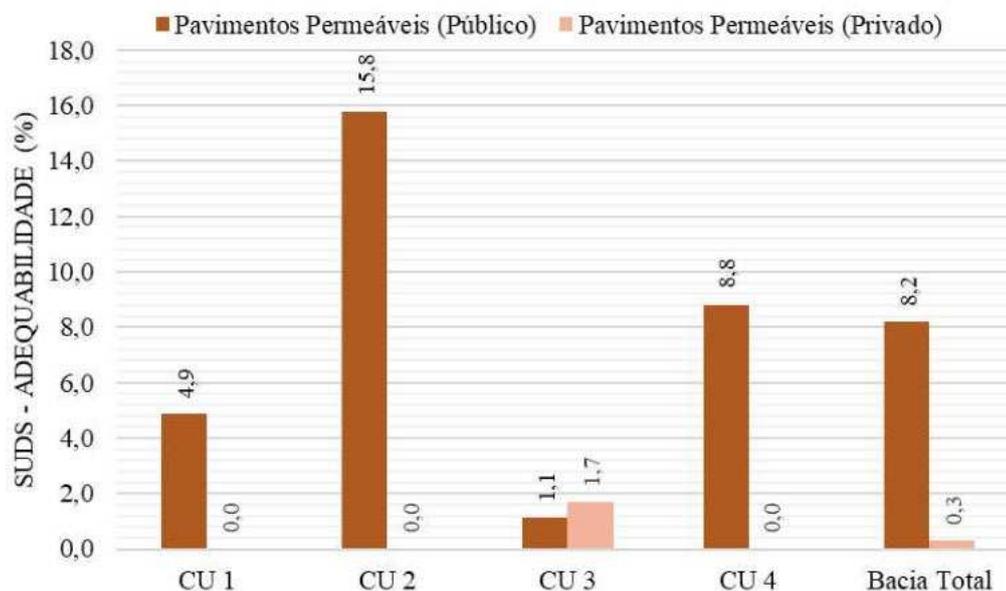
As variáveis analisadas no processo de mapeamento da adequabilidade da bacia ao recebimento dos pavimentos permeáveis, bem como o cartograma produto dessa análise, encontra-se na Figura 39. Além disso, para cada Configuração Urbana identificada, foram observadas diferentes porcentagens de área adequadas ao recebimento dos pavimentos permeáveis, o que está explicitado no gráfico da Figura 40.

Figura 39: Mapeamento da adequabilidade da bacia ao recebimento dos pavimentos permeáveis.



Fonte: A Autora (2021)

Figura 40: Porcentagem de área adequada ao recebimento dos pavimentos permeáveis em áreas públicas e privadas



Fonte: A Autora (2021)

O potencial de aplicação dos pavimentos permeáveis em locais públicos é perceptível ao longo das 4 configurações urbanas. Porém, na parte mais a montante da bacia, englobando parte das CUs 3 e 4, várias sub-bacias apresentam declividades maiores que 10%, o que restringe o uso desta técnica nesses locais. Além disso, na CU 3 a potencialidade de implementação dos pavimentos permeáveis em áreas pública (1,1%) decresce ainda mais pelo fato desta área já apresentar ao longo de toda a sua extensão, vias pavimentadas tradicionalmente e calçadas regulares na delimitação das quadras construídas. Este é o mesmo fato que restringe a aplicação do P.P na parte mais a jusante da bacia, englobando a CU 1, que, apesar de apresentar em sua maioria sub-bacias com declividade menor que 10%, também apresenta vias já pavimentadas com pavimento tradicional ao longo de quase toda a sua extensão, viabilizando a adoção do P.P apenas em poucas áreas de calçadas identificadas como irregulares e totalizando apenas 4,9% da sua área apta ao recebimento destes pavimentos em locais públicos.

Entretanto, observa-se um grande potencial de implementação de P.P público ao longo da CU 2 (15,8%), área esta delimitada pela ZEIS Ramadinha e que apresenta diversas vias ainda de terra, bem como lugares com ausência de calçadas, além de não apresentar grandes restrições físicas, uma vez que a maior parte do seu território possui declividade menor que 10%. Sendo assim, futuras intervenções neste local podem levar em consideração a adoção dos pavimentos

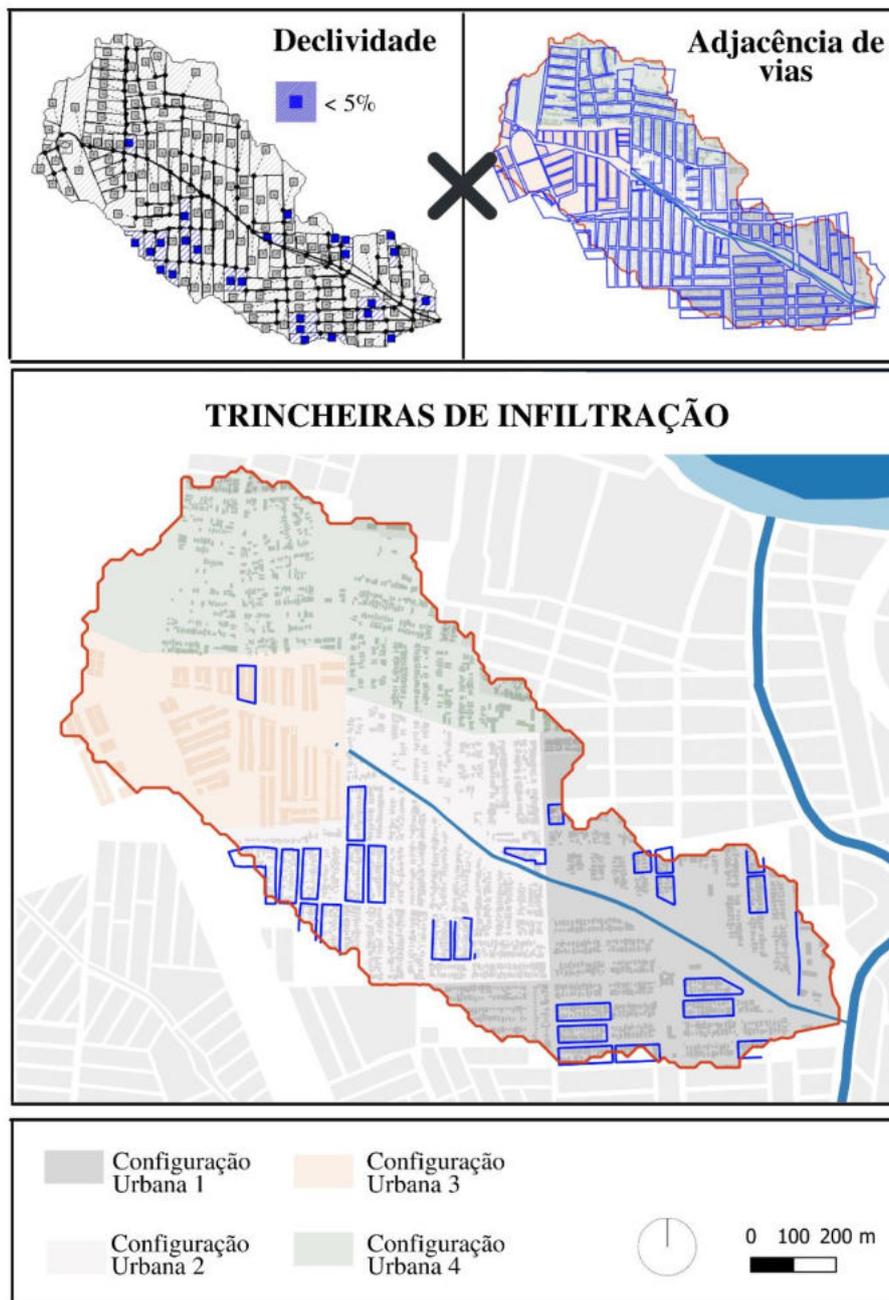
permeáveis, que, além de melhorar aspectos urbanos relacionados a mobilidade urbana nas vias e calçadas, podem exercer um papel importante na mitigação do alagamento e redução do volume escoado ao longo da bacia.

A implementação dos pavimentos permeáveis em locais privados, no entanto, é nula na maioria das CUs, devido à quase ausência de locais com disponibilidade da variável escolhida para análise (estacionamento em áreas privadas). Apenas a CU 3 está apta ao recebimento desta técnica em locais privados, devido à presença de áreas de estacionamento nestas áreas. Porém, essa adequabilidade representa um percentual quase ínfimo (apenas 1,7%).

4.1.2. Trincheiras de Infiltração (T.I)

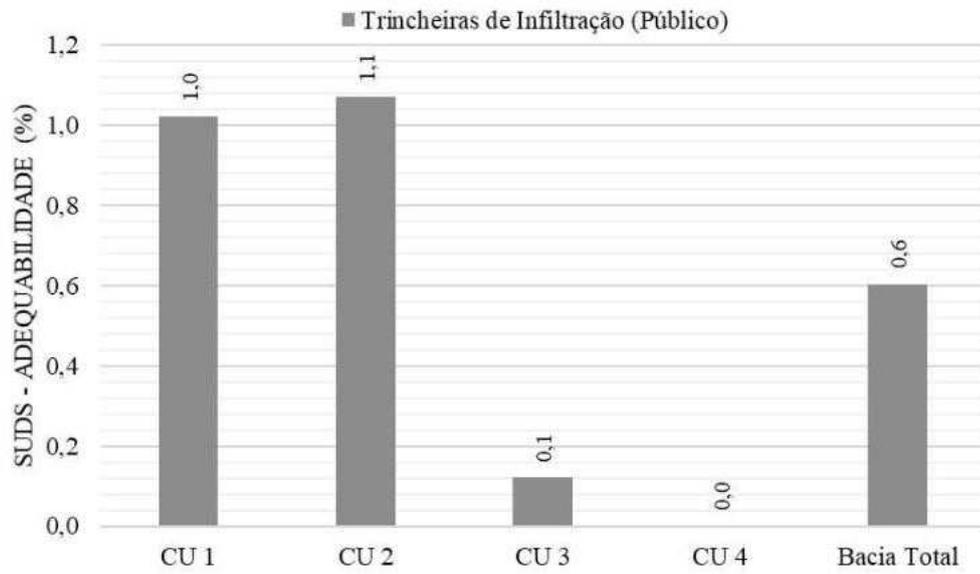
Para as trincheiras de infiltração, as variáveis analisadas no processo de mapeamento da sua adequabilidade ao espaço urbano da bacia e o cartograma resultante dessa análise, encontra-se na Figura 41. As porcentagens de área adequadas ao recebimento das trincheiras estão explicitadas no gráfico da Figura 42.

Figura 41: Mapeamento da adequabilidade da bacia ao recebimento das trincheiras de infiltração



Fonte: A Autora (2021)

Figura 42: Porcentagem de área adequada ao recebimento das trincheiras de infiltração em áreas públicas



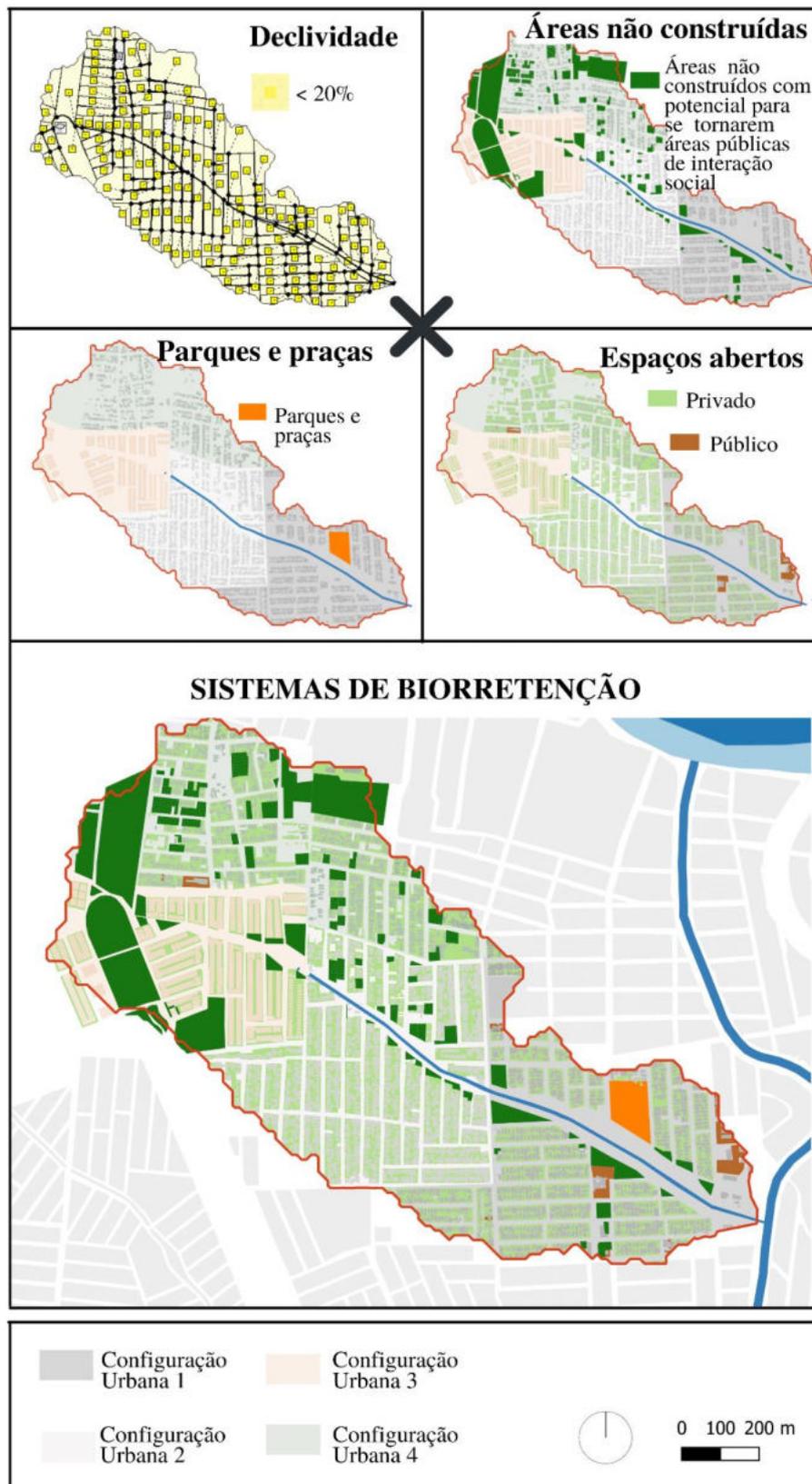
Fonte: A Autora (2021)

Apesar de não apresentar grandes restrições urbanísticas para o seu recebimento ao longo da bacia, a implantação das trincheiras de infiltração se torna restrita na maior parte desta devido as declividades maiores que 5% em quase todas as sub-bacias, principalmente nas que fazem parte das CUs 3 e 4. A maior adequabilidade à esta técnica está presente nas CUs 1 e 2. Porém, devido às restrições de espaço nos lugares adjacentes às vias, a largura das trincheiras ficou restrita a 1,0 metro, o que torna o percentual de área coberta de apenas 1,0 e 1,1%, respectivamente, nas CUs 1 e 2.

4.1.3. Sistemas de Biorretenção (S.B)

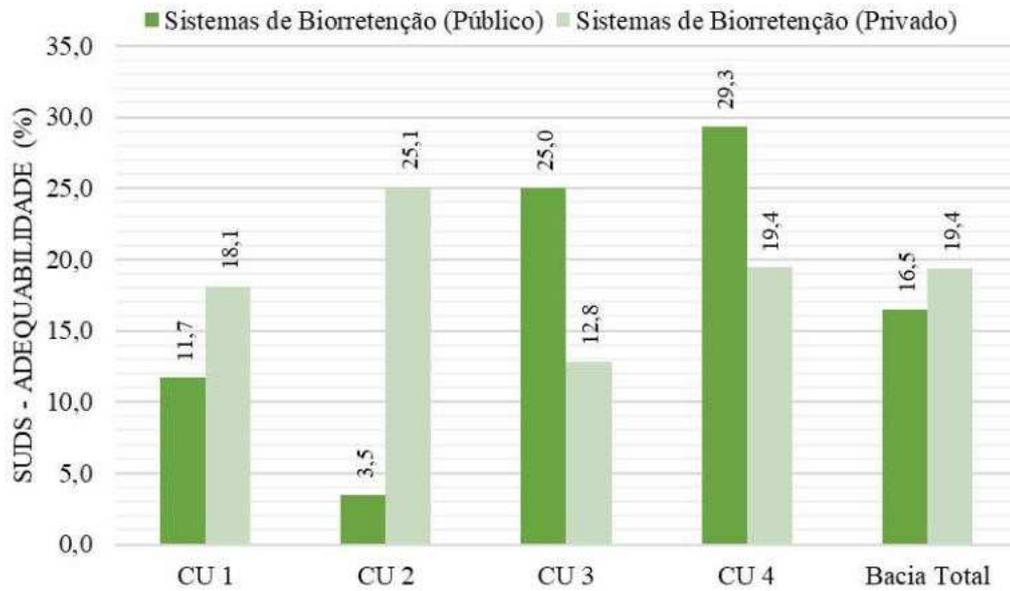
Em relação aos sistemas de biorretenção, as variáveis analisadas e o cartograma de adequabilidade ao recebimento dos mesmos, encontra-se na Figura 43. Assim como as porcentagens de área adequadas ao recebimento destes sistemas estão expostos no gráfico da Figura 44.

Figura 43: Mapeamento da adequabilidade da bacia ao recebimento dos sistemas de Biorretenção



Fonte: A Autora (2021)

Figura 44: Porcentagem de área adequada ao recebimento dos Sistemas de Biorretenção em áreas públicas e privadas



Fonte: A Autora (2021)

Como não houve grandes restrições em relação à variável física analisada, já que os sistemas de biorretenção podem ser aplicados em áreas de até 20% de declividade, a adequabilidade destas técnicas ficou mais dependente das características do espaço urbano da bacia. Para locais públicos, no entanto, os sistemas de biorretenção foram as técnicas, dentre as quatro analisadas, mais adequadas ao espaço de todas as CUs, exceto da CU 2 (apenas 3,5% de áreas adequadas ao recebimento dos S.B). Isto ocorreu principalmente devido ao alto adensamento urbano nessa área, com a completa ausência de parques e praças e com poucas áreas com potencial a se tornarem espaços públicos abertos. Os grandes espaços abertos e permeáveis presentes nas CUs 3 e 4, fizeram as mesmas apresentarem as maiores porcentagens de adequabilidade aos sistemas de biorretenção em locais públicos, 25% e 29,3% respectivamente. Deste modo, estas técnicas podem ser incorporadas em parques e praças que visem potencializar a paisagem urbana da bacia em intervenções futuras.

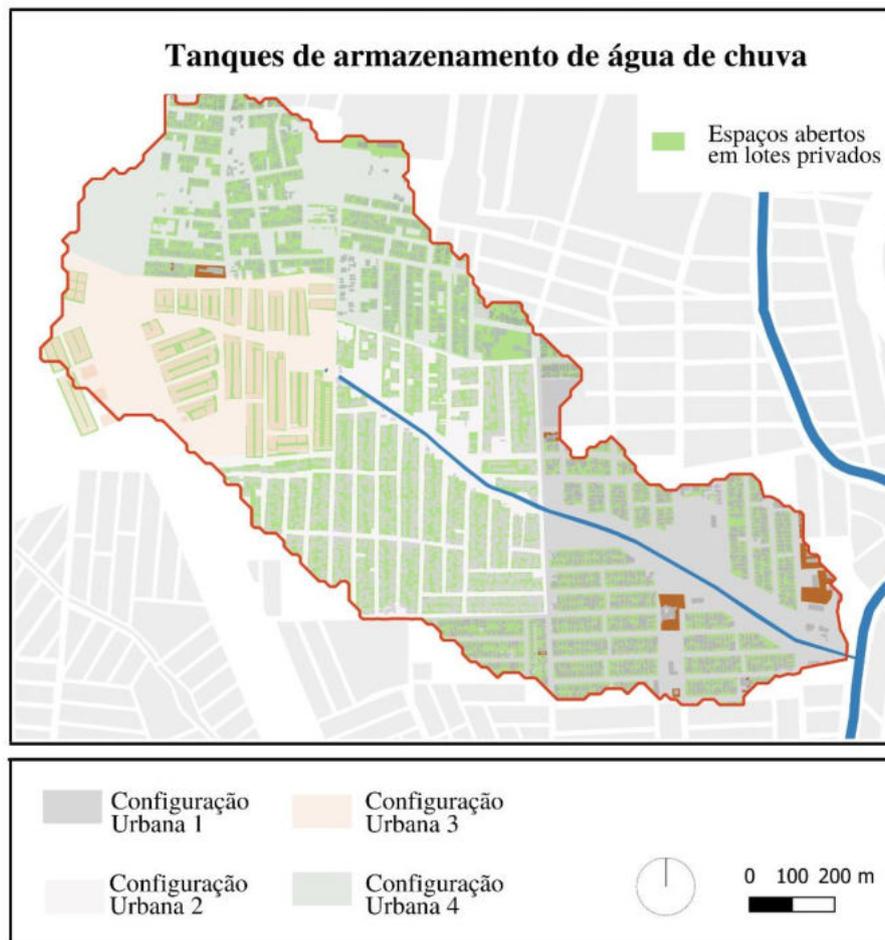
Os sistemas de biorretenção dentro de lotes privados ao longo da bacia também apresentaram grande percentuais de adequabilidade, inclusive na UC 2 (25,1%). Isso mostra que apesar de ser uma área altamente adensada e pouco propícia para a incorporação de sistemas de biorretenção em áreas públicas, a UC 2 apresenta grande potencialidade de implantação dessa mesma técnica em áreas privadas, enfatizando a importância de se considerar

intervenções com media sustentáveis de drenagem urbana em lotes privados, principalmente nas partes mais adensadas da bacia.

4.1.4. Sistemas de captação de água de chuva (S.C.A.C)

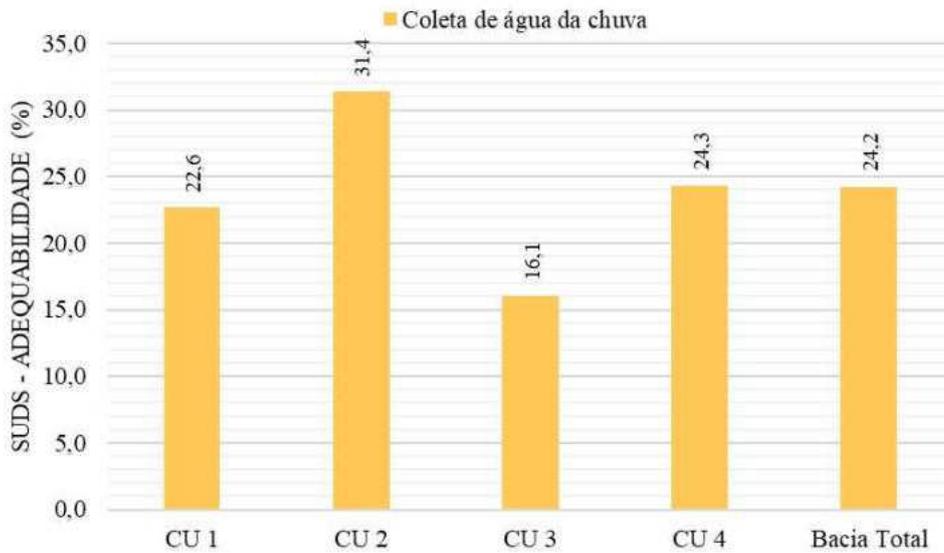
Para os sistemas coletores de água da chuva, representados pelos tanques de capacidade de 200 litros, o cartograma de adequabilidade ao recebimento dos mesmos, encontra-se na Figura 45. Assim como as porcentagens de área adequadas ao recebimento destes sistemas estão expostos no gráfico da Figura 46.

Figura 45: Mapeamento da adequabilidade da bacia ao recebimento dos tanques coletores de água de chuva



Fonte: A Autora (2021)

Figura 46: Porcentagem de área adequada ao recebimento dos tanques coletores de água de chuva em áreas privadas.



Fonte: A Autora (2021)

Para os espaços privados, os tanques de armazenamento de água da chuva (restringidos aqui a tanques com capacidade de 200 litros) foi a técnica SUDS que a bacia em estudo possuiu maiores porcentagens de adequação. Isto ocorreu pelo fato destas técnicas não apresentarem restrições físicas relacionada à declividade e nem grandes restrições urbanísticas, uma vez que todos os lotes da bacia apresentam áreas livres em seu interior. Isto tornam os tanques de armazenamento de água de chuva viáveis principalmente nas CUs mais adensadas da bacia, como a CU 2 (31,4% de adequabilidade), devido à alta concentração de lotes construídos e habitados nestes locais.

Deste modo, a metodologia utilizada para identificação dos locais aptos ao recebimento das técnicas SUDS selecionadas se mostrou propícia à finalidade. Com os cartogramas de adequabilidade gerados, foram quantificadas as áreas de cada técnica sustentável em cada sub bacia discretizada, de modo a dar entrada destes dados no modelo de simulação do SWMM para cada cenário analisado com diferentes composições de SUDS.

4.1.RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

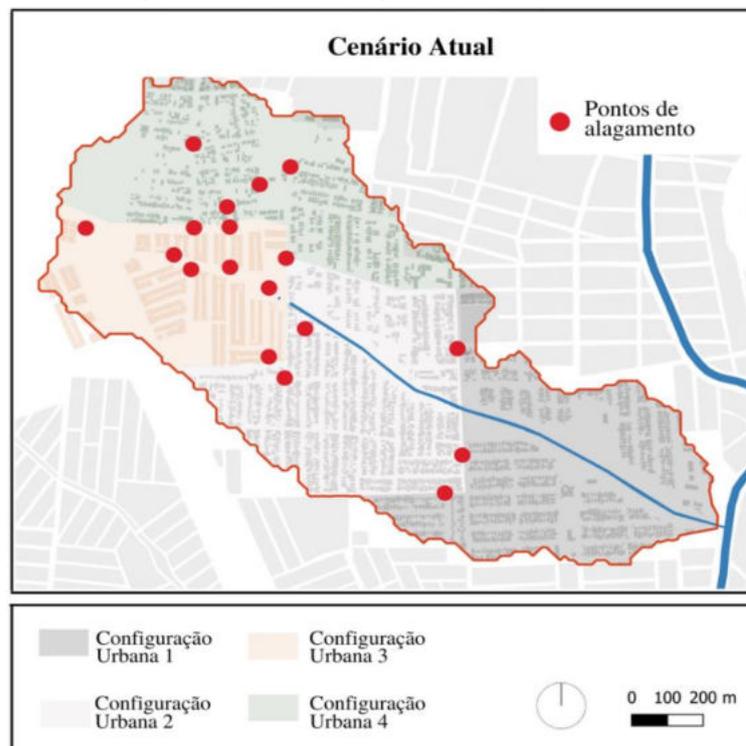
Para cada cenário, foram obtidos os resultados de simulação com base no evento de chuva intensa escolhida e nos parâmetros inseridos em cada uma das 199 sub bacias (delimitadas pelas quadras, no SWMM), dos 209 nós e 239 trechos inseridos no modelo de simulação. A vulnerabilidade ao alagamento em cada cenário, para cada Configuração Urbana (CU), está representada pelos pontos cujo volume de água ultrapassou os níveis de altura

previamente definidos na metodologia. Além disso, foram gerados gráficos que mostram a redução do volume de alagamento de acordo com os cenários avaliados ao longo de cada configuração urbana que constitui a bacia da Ramadinha.

4.1.1. Alagamento no Cenário Atual

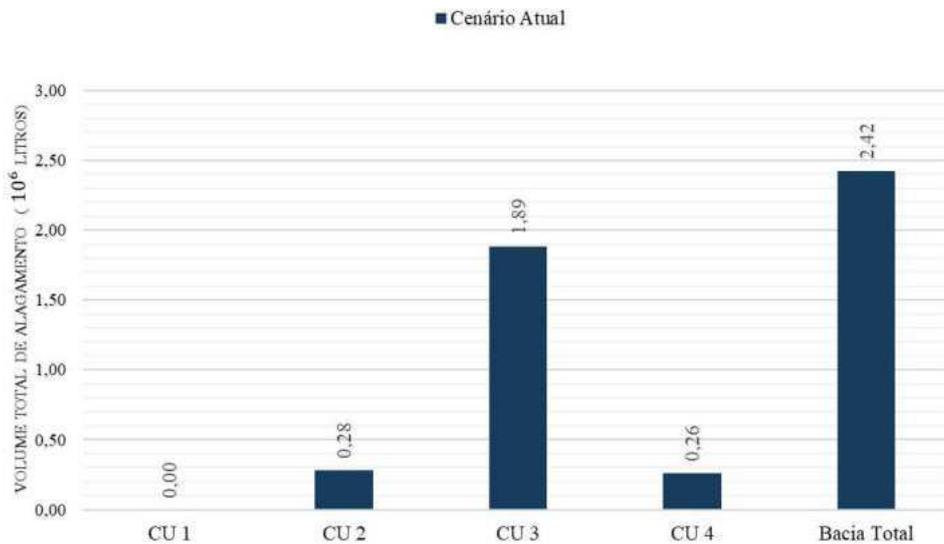
Para o cenário sem a adoção de medidas SUDS, apenas com a implantação do canal da Ramadinha e dos poucos elementos de microdrenagem próximos à macroestrutura, observou-se a presença de pontos de alagamento ao longo das CUs 2,3 e 4, estando a CU 1, menos vulnerável ao alagamento, já que não apresentou nenhum ponto de alagamento no seu território (Ver Figura 47 e gráfico do volume total de alagamento da Figura 48). Vale ressaltar que, a CU 1 é a configuração que mais apresentou a presença de elementos de microdrenagem, de acordo com os levantamentos realizados, além de possuir boa infraestrutura viária e englobar a maior parte dos equipamentos públicos da bacia. Tais fatos mostram como certas intervenções privilegiam determinados espaços urbanos em detrimento de outros, até mesmo se observamos em escalas locais, como no caso da bacia da Ramadinha.

Figura 47: Pontos de alagamento no Cenário atual



Fonte: A Autora (2021)

Figura 48: Gráfico do volume de alagamento do cenário atual



Fonte: A Autora (2021)

Dentre as configurações urbanas que apresentaram pontos de alagamento, a CU 3 se destaca pelo alto valor do volume total deste em relação as demais ($1,89 \times 10^6$ L). Nesta configuração, os pontos com ocorrência de alagamento concentram-se à jusante das ruas das margens direitas e esquerdas da bacia, na linha de prolongação do canal à montante, pois esta recebe contribuições do escoamento proveniente de grande parte das ruas advindas da CU 3 e 4.

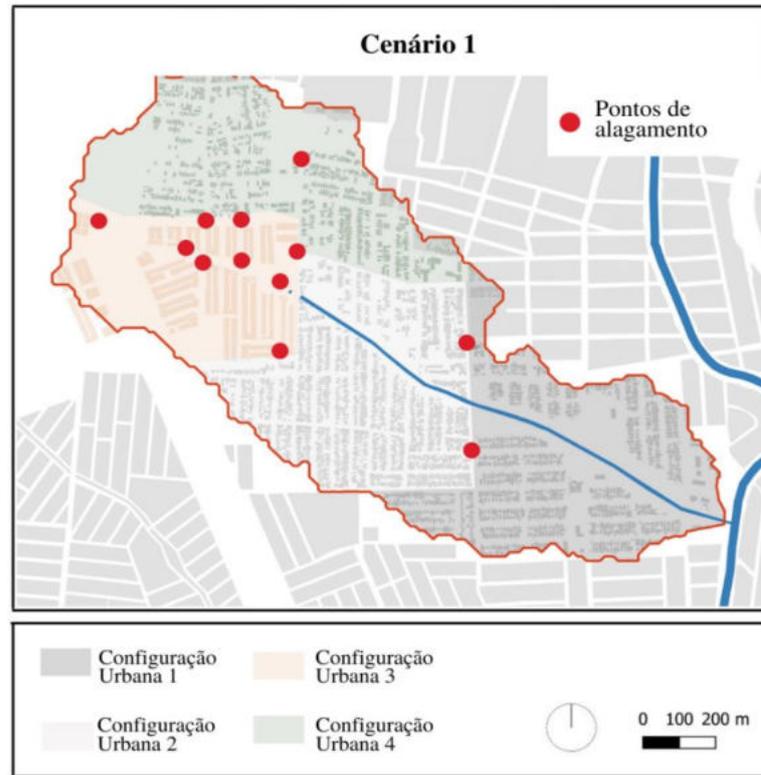
Os resultados do cenário atual mostraram que, a intervenção na bacia urbana enfocando apenas elementos de drenagem altamente centralizados, como a construção do canal da Ramadinha, apesar de mitigar a vulnerabilidade ao alagamento em algumas áreas, principalmente nos locais mais próximos ao mesmo, não é capaz de eliminar todos os pontos de alagamento da bacia, principalmente nos locais mais afastados da estrutura de macrodrenagem. Além disso, este tipo de intervenção, por vezes, não leva em consideração a integração com outros elementos que visem melhorar a paisagem urbana e qualidade de vida da comunidade. Estes fatos mostram a necessidade de se considerar intervenções de drenagem mais descentralizadas e de abordagem mais efetiva para a mitigação da vulnerabilidade ao alagamento da bacia, como a inserção dos dispositivos de drenagem sustentável.

4.1.2. Alagamento no Cenário 1

Com a implementação da técnica dos pavimentos permeáveis em locais públicos ao cenário atual, nas áreas passíveis à recebe-los expostos no cartograma da Figura 39, fez-se a

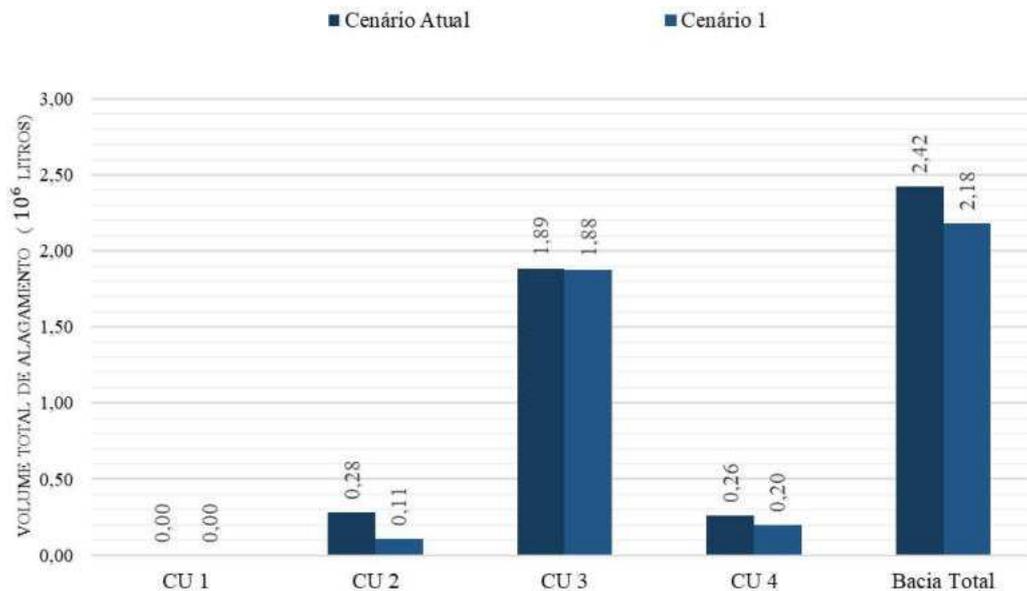
composição do Cenário 1 e obteve-se os resultados da distribuição e volume do alagamento ao longo das Configurações Urbanas da bacia (Ver Figura 49 e gráfico do volume total de alagamento da Figura 50).

Figura 49: Pontos de alagamento no Cenário 1



Fonte: A Autora (2021)

Figura 50: Gráfico do volume de alagamento do cenário 1 em relação ao cenário atual



Fonte: A Autora (2021)

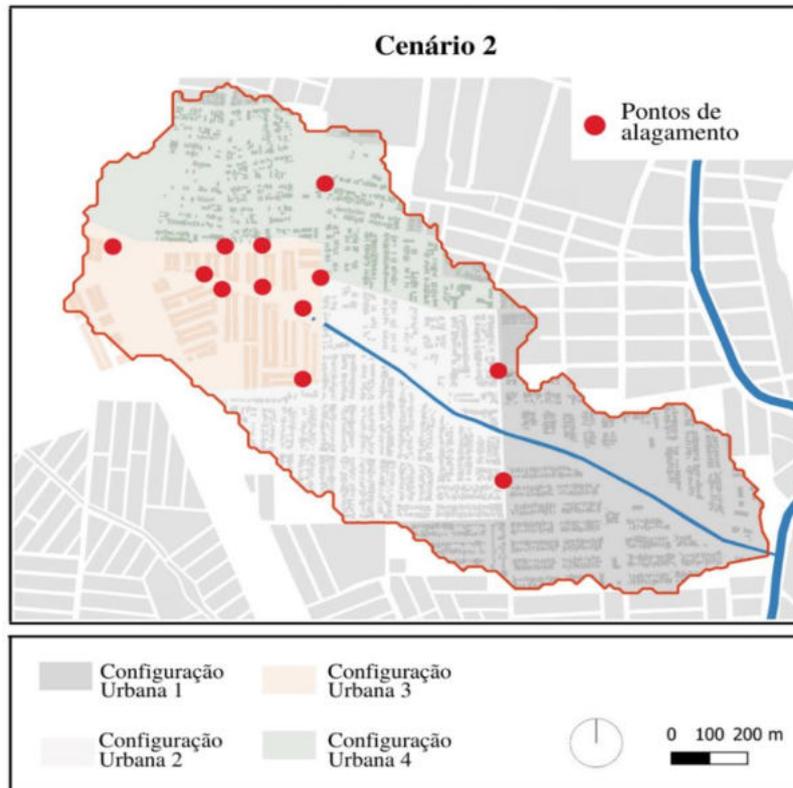
Como resultado da grande adequabilidade dos pavimentos permeáveis ao longo da CU 2 (15,8% de acordo com gráfico da Figura 39), o volume total de alagamento neste local reduziu 60,7 % em relação ao cenário com a intervenção de drenagem atual. Este resultado mostra que, intervenções na bacia que considerem o uso do pavimento permeável nas vias e calçadas, podem, além de melhorar a infraestrutura urbana e a mobilidade urbana da bacia, prover benefícios relacionados à mitigação de impactos hidrológicos.

Entretanto, para as demais CUs que apresentaram pontos de alagamento no cenário de intervenção atual, a implementação dos pavimentos permeáveis se mostrou menos eficaz se comparada a CU 2 (0,5 % de redução do volume total de alagamento para a CU 3 e 23% para a CU 4). Estes resultados estão relacionados ao fato da baixa adequabilidade dos pavimentos permeáveis ao longo da CU 3 devido à mesma ser coberta 100 % por vias já pavimentadas, restando apenas 1,1 % do seu território, apto ao recebimento desta técnica. Ao longo da CU 3, o principal fator que restringe a aplicação dos pavimentos permeáveis e consequentemente da sua capacidade de mitigar eventos de alagamento, é a alta declividade (>10%) não propícia ao bom funcionamento dessa intervenção. Ao todo, o volume de alagamento total ao longo de toda a bacia da Ramadinha no cenário 1 reduziu 9,9 % em relação ao cenário atual.

4.1.3. Alagamento no Cenário 2

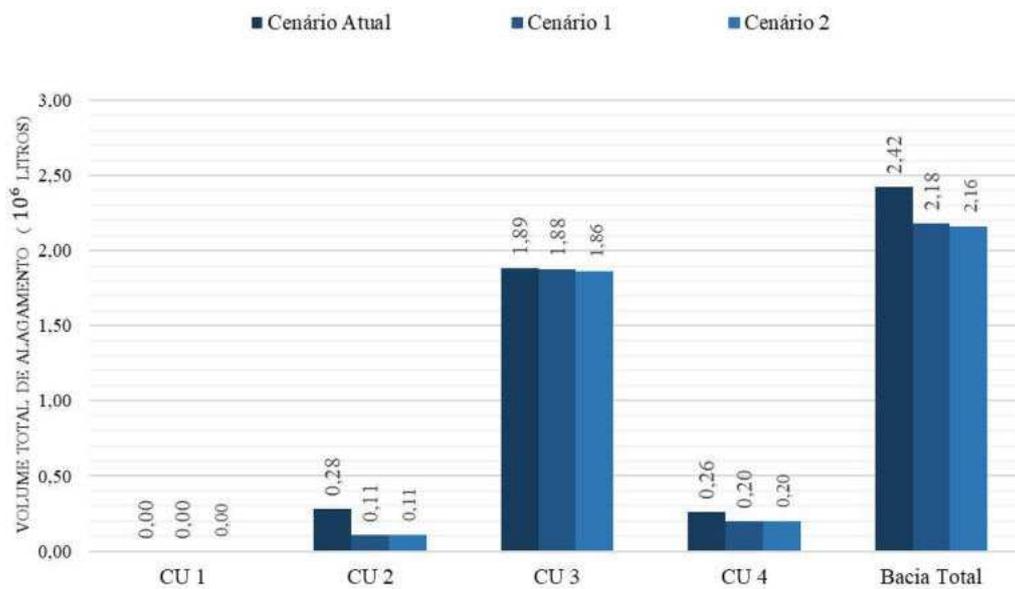
Com a adição das trincheiras de infiltração nos locais públicos ao cenário 1, nas áreas passíveis à recebe-los expostos no cartograma da Figura 41, obteve-se o Cenário 2 e com ele os novos resultados distribuição e volume do alagamento ao longo das Configurações Urbanas. (Ver Figura 51 e gráfico do volume total de alagamento da Figura 52). Entretanto, visto a baixa adequabilidade das trincheiras de infiltração ao território da bacia, a redução ao alagamento em relação ao cenário anterior foi quase nula em todas as configurações urbanas.

Figura 51: Pontos de alagamento no Cenário 2



Fonte: A Autora (2021)

Figura 52: Gráfico do volume de alagamento do cenário 2 em relação aos cenários anteriores

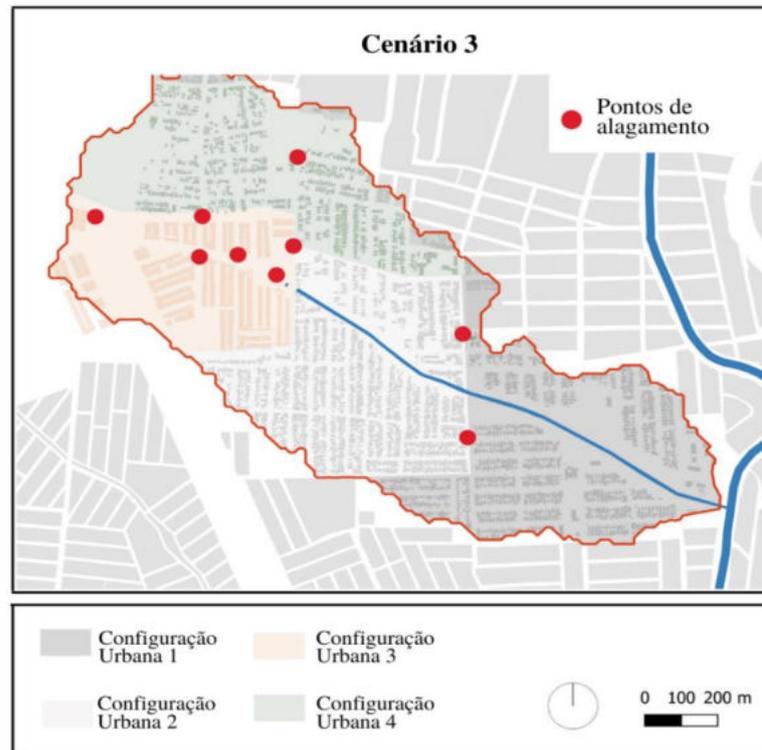


Fonte: A Autora (2021)

4.1.4. Alagamento no Cenário 3

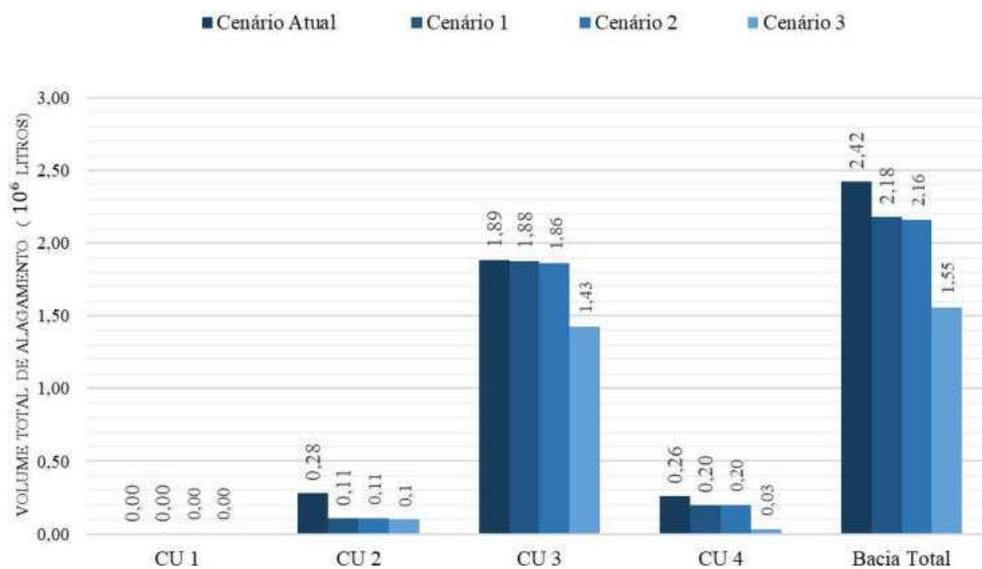
Para o cenário 3, com a adição dos sistemas de biorretenção em locais públicos no cenário 2, implantados nas áreas passíveis à recebe-los expostos no cartograma da Figura 43, foram obtidos os pontos e volume do alagamento ao longo do território urbano da bacia (Ver Figura 53 e gráfico do volume total de alagamento da Figura 54).

Figura 53: Pontos de alagamento no Cenário 3



Fonte: A Autora (2021)

Figura 54: Gráfico do volume de alagamento do cenário 3 em relação aos cenários anteriores



Fonte: A Autora (2021)

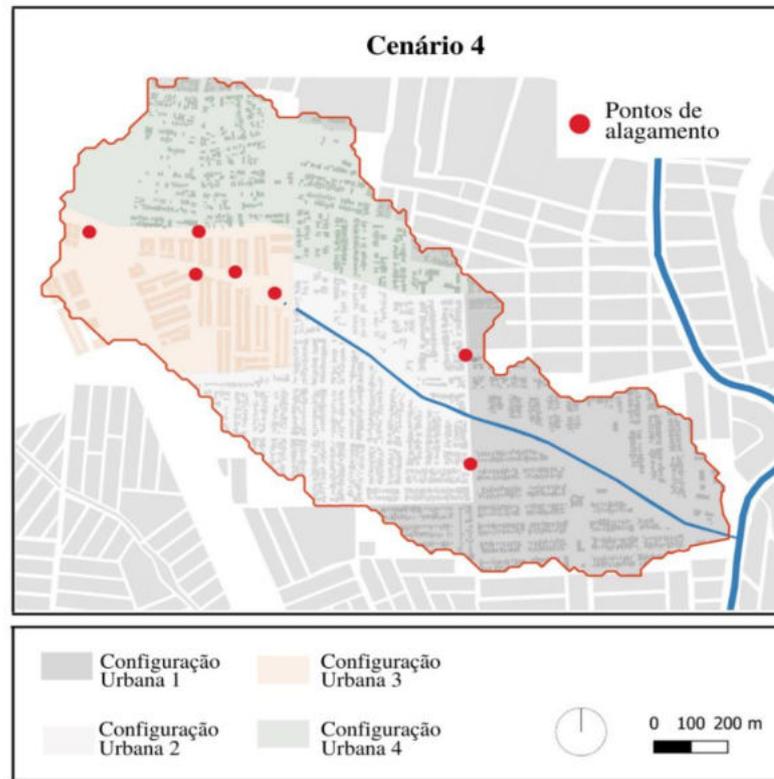
O Cenário 3 propiciou grandes reduções do volume total de alagamento nas CUs 3 e 4 em relação ao cenário atual, 24,3% e 88,0% respectivamente. Estes resultados mostraram que, apesar destas áreas não se beneficiarem de uma alta performance hidrológica com aplicação dos pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração em locais públicos, a paisagem urbana e a redução dos volumes dos pontos de alagamento podem ser melhorados consideravelmente com a adição de sistemas de biorretenção em locais e áreas não ocupadas com potencial a se tornarem espaços abertos públicos de interação social.

Em contrapartida, a CU 2, que apresentou significativa redução do volume de alagamento no cenário 2, por possuir grande adequabilidade a implementação dos pavimentos permeáveis, apresentou uma redução de apenas 3,5% em relação ao cenário anterior com o acréscimo dos sistemas de biorretenção (totalizando 64,2 % de redução do volume de alagamento em relação ao cenário atual). Tais resultados mostram como intervenções de SUDS e seu desempenho são dependentes das características do espaço urbano da bacia e do espaço disponível para sua implementação. Para a bacia ao todo, o cenário 3 foi capaz de reduzir em até 36,0% a susceptibilidade ao alagamento.

4.1.5. Alagamento no Cenário 4

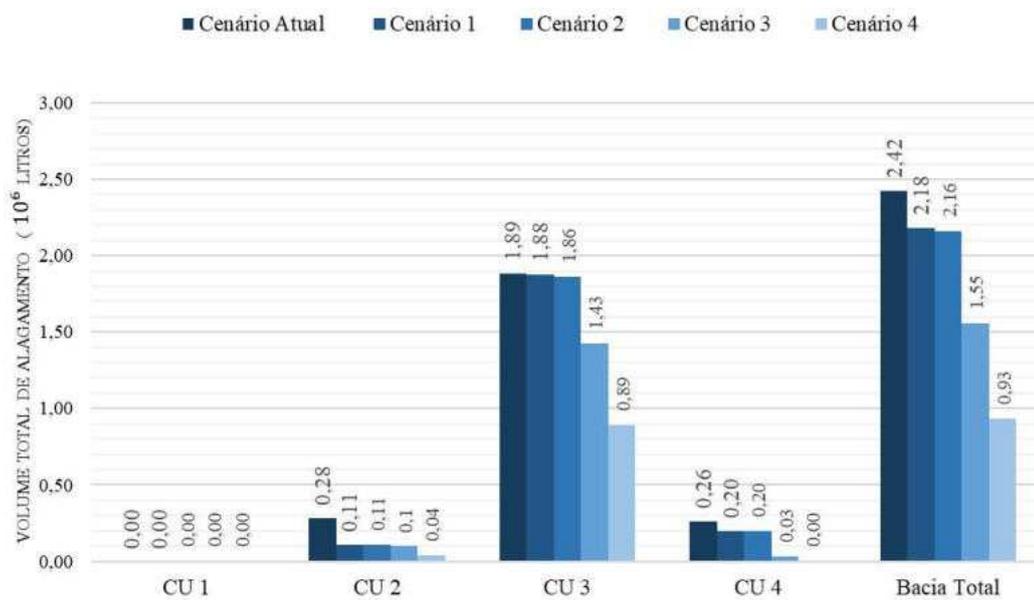
A partir do cenário 4 foram somadas às medidas de intervenção em locais públicos, SUDS que adentram os lotes privados da bacia. Para tanto, no cenário 4, foram acrescentados ao cenário 3, tanques de armazenamento de água da chuva com capacidade de 200 litros de modo a obter os resultados da distribuição e volume do alagamento ao longo das Configurações Urbanas da bacia (Ver Figura 55 e gráfico do volume total de alagamento da Figura 56).

Figura 55: Pontos de alagamento no Cenário 4



Fonte: A Autora (2021)

Figura 56: Gráfico do volume de alagamento do cenário 4 em relação aos cenários anteriores



Fonte: A Autora (2021)

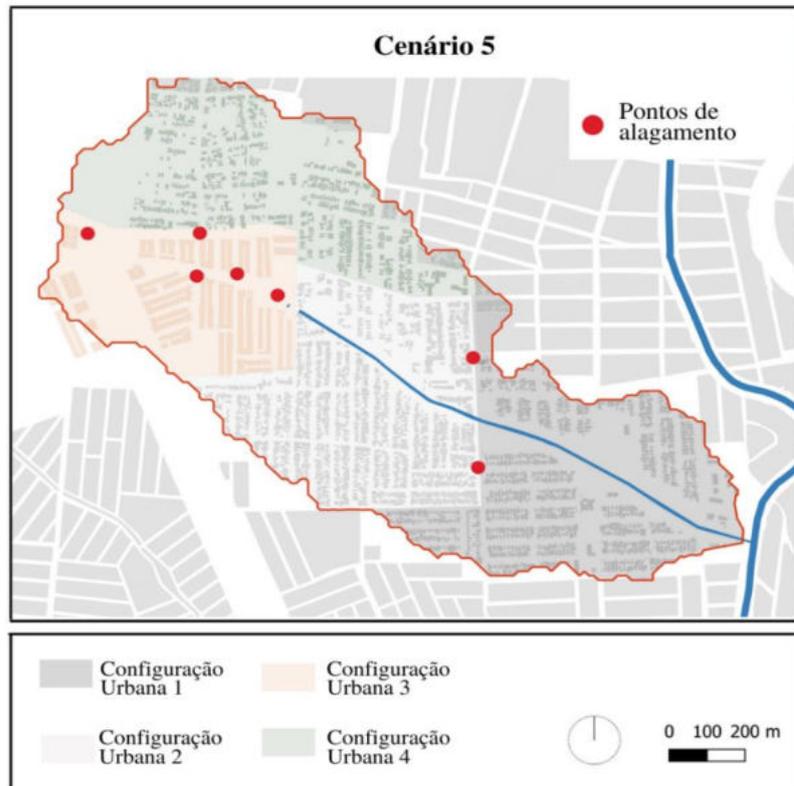
A implementação dos sistemas coletores de água da chuva apresentaram considerável redução no volume total de alagamento ao longo da bacia, sendo capaz de eliminar por completo o restante de pontos alagados na CU 4 e reduzir em 85,7 e 52,9%, respectivamente, o volume de alagamento na CU 2 e CU 3 em relação ao cenário atual. Para toda a bacia, o acréscimo dos tanques de armazenamento em lotes privados foi capaz de mitigar 61,6% o volume total de alagamento (um aumento de 25,6% de mitigação se comparado ao cenário anterior apenas com as medidas em lotes públicos).

A significativa redução no percentual do volume total de alagamento na CUs da bacia pode ser explicada pela alta densidade de lotes construídos privados nestas áreas, aliados às quase nulas restrições urbanísticas e físicas para o recebimento desta técnica. É possível ainda, alocar tanques com capacidades maiores do que os que foram simulados de modo a conseguir porcentagens ainda maiores de redução no volume total de alagamento. Porém, esta ação pode requerer maiores montantes de recursos financeiros e exigir mais cuidados em sua manutenção, o que poderia inviabilizar a implementação das técnicas em algumas propriedades privadas ao longo da bacia.

4.1.6. Alagamento no Cenário 5

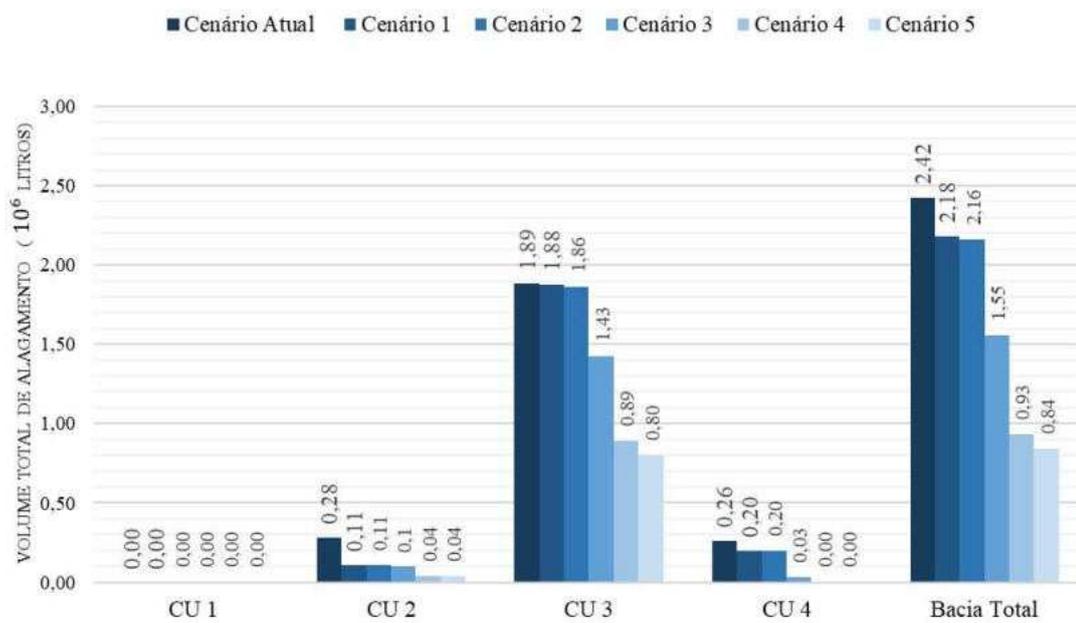
Para o cenário 5, com a adição dos pavimentos permeáveis em lotes privados ao cenário 4, implantados nas áreas passíveis à recebe-los expostos no cartograma da Figura 39, foram obtidos os pontos e volume do alagamento ao longo do território urbano da bacia (Ver Figura 57 e gráfico do volume total de alagamento da Figura 58). A adição dos pavimentos permeáveis em locais privados, no entanto, apenas surtiu efeito na CU 3, com 57,7% de mitigação do volume total de alagamento em relação ao cenário atual (um aumento de apenas 4,8% nos resultados de mitigação obtidos para o cenário 4). Este resultado ocorre devido a CU 3 ser a única configuração com áreas disponíveis a implementação de pavimentos permeáveis em locais privados, de acordo com componente urbano analisado para isto, nesta pesquisa.

Figura 57: Gráfico do volume de alagamento do cenário 4 em relação aos cenários anteriores



Fonte: A Autora (2021)

Figura 58: Gráfico do volume de alagamento do cenário 5 em relação aos cenários anteriores



Fonte: A Autora (2021)

4.1.7. Alagamento no Cenário 6

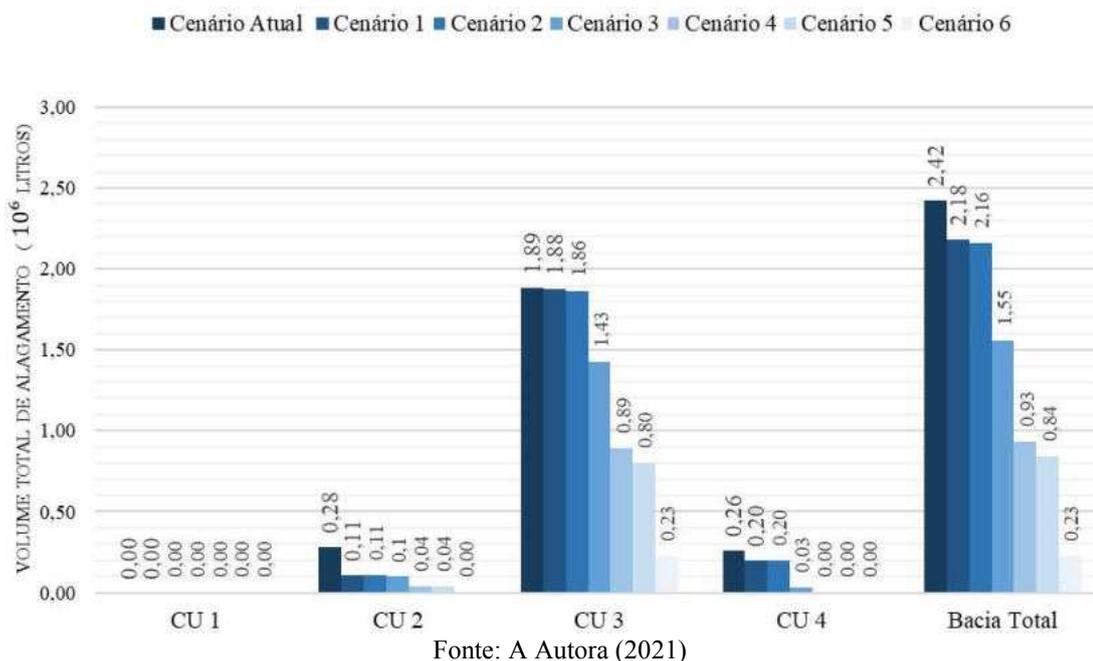
No cenário 6, com o acréscimo dos sistemas de biorretenção em lotes privados ao cenário 5, implantados nas áreas passíveis à recebe-los expostos no cartograma da Figura 43, foram obtidos os pontos e volume do alagamento ao longo da bacia (Ver Figura 59 e gráfico do volume total de alagamento da Figura 60). Para este cenário, o acréscimo dos sistemas de biorretenção reduziu o volume de alagamento da CU 2 em 100% e da CU 3 em 87,8% em relação ao cenário atual. Ao total, a simulação das técnicas SUDS que compõem o cenário 6, foi capaz de mitigar o alagamento em 90,5% se comparado ao cenário atual.

Figura 59: Pontos de alagamento do Cenário 6



Fonte: A Autora (2021)

Figura 60: Gráfico do volume de alagamento do cenário 6 em relação aos cenários anteriores



Deste modo, os resultados mostram que apesar das medidas SUDS implementadas em lugares públicos e simuladas nos cenários 1,2 e 3, serem capazes de propiciar melhores condições urbanas para a comunidade, como ruas pavimentadas, calçadas regulares e acesso à equipamentos públicos, como parques e praças, não são medidas suficientes para evitar completamente pontos de alagamento ao longo da bacia, principalmente pela insuficiência de locais abertos públicos na CU 2 e a prioridade que se foi dada ao uso de pavimentos tradicionais na CU 3. A integração das medidas em locais públicos com as técnicas SUDS implantadas em lotes privados nos cenários 4, 5 e 6, entretanto, reduziram 90,5% do volume total de alagamento da bacia, mostrando a importância de se considerar diferentes abordagens que abranjam diferentes níveis de agentes de atuação em intervenções de drenagem urbana na bacia.

Ademais, foi visto que a bacia em estudo possui diferentes níveis de adequabilidade a implementação de SUDS ao longo de todo o seu território, inclusive nas áreas não acometidas pelos pontos de alagamento identificados na simulação, como a Configuração Urbana 1. No entanto, é importante fazer uso de todo o potencial da bacia ao recebimento de SUDS, pois este tipo de intervenção não só influencia na redução da quantidade e volume do alagamento dentro da bacia de intervenção, como também pode reduzir significativamente o escoamento no seu exutório, o que pode vir a ajudar a mitigação de eventos de alagamento em locais que estão à sua jusante.

Os resultados de adequabilidade ao recebimento de SUDS e da susceptibilidade ao alagamento, também estão presentes no artigo do Apêndice C, intitulado: “Modelling and assessment of Sustainable Urban Drainage Systems in dense precarious settlements subject to flash floods”, gerado para o evento internacional SimHydro 2021: Modeling for complex and global water issues - Practices and expectations.

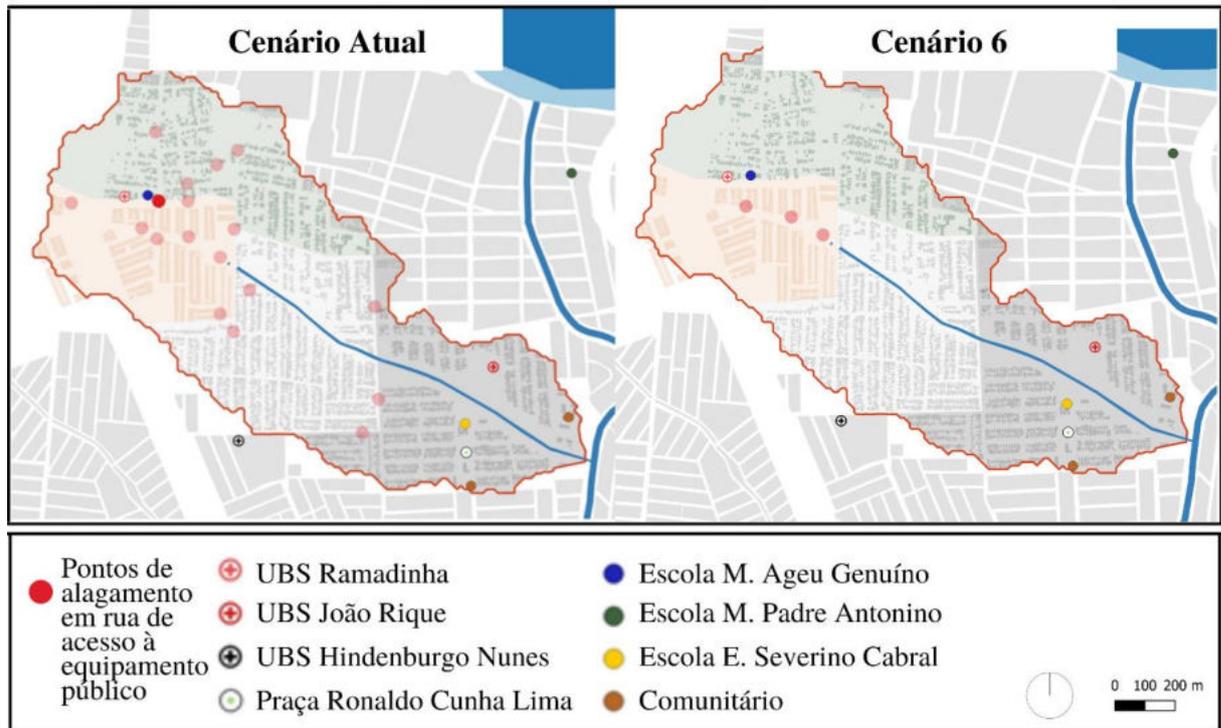
4.2.IMPACTO DO ALAGAMENTO E DA APLICAÇÃO DE SUDS NA VIDA URBANA

4.2.1. Acesso à equipamentos públicos

Com a análise urbana da bacia, foram identificados poucos locais destinados a equipamentos públicos. Porém, além da observação da oferta e existência destes, é importante analisar se os locais nos quais estão implantados apresentam riscos ambientais à vida urbana da bacia. A incidência de alagamento próxima aos equipamentos impacta o acesso aos mesmos, causando sérios agravantes às relações sociais da comunidade.

Para analisar o impacto do alagamento e da aplicação de SUDS no acesso aos equipamentos públicos da bacia, foram sobrepostos os pontos referentes à sua localização com os pontos de alagamento referente ao cenário atual e ao cenário com técnicas SUDS que apresentou uma maior redução do alagamento (Cenário 6). Com isso, foi observado um ponto de alagamento na rua de acesso à UBS Ramadinha e à escola Municipal Ageu Genuíno, o que representa 33,3% dos equipamentos públicos inseridos dentro da bacia. Com a aplicação das técnicas SUDS no cenário de simulação 6, a quantidade de equipamentos públicos afetados pelo alagamento foi reduzida à zero (Ver Figura 61)

Figura 61: Impacto do alagamento no acesso aos equipamentos públicos da bacia

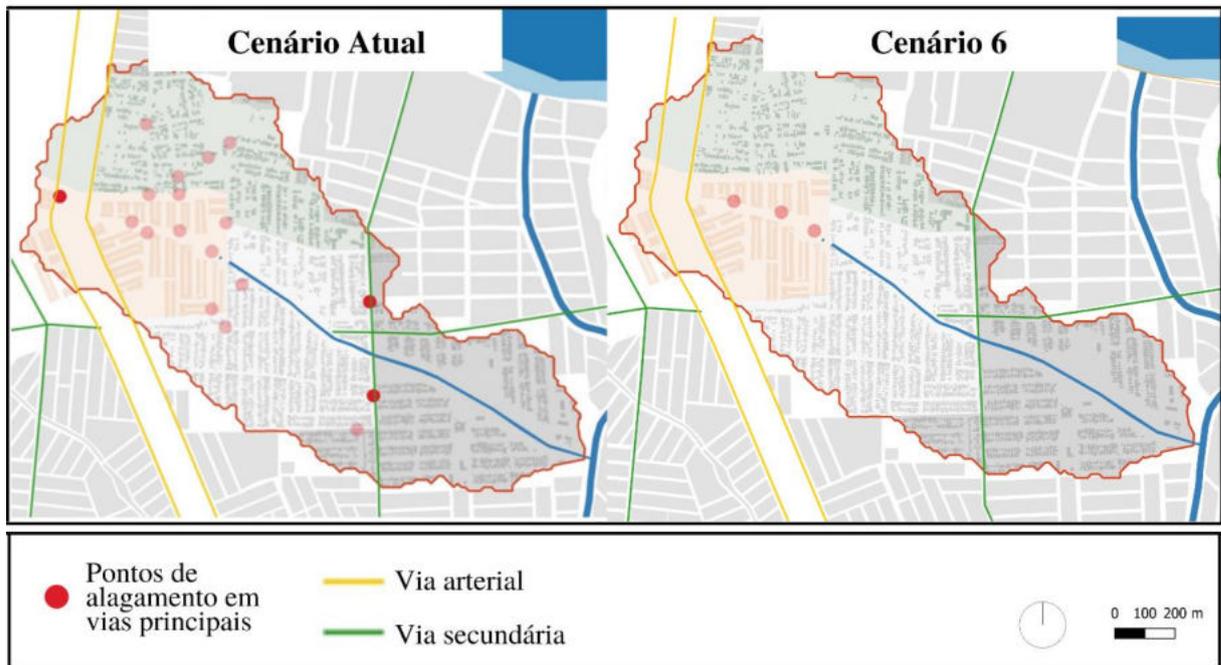


Fonte: A Autora (2021)

4.2.2. Integração da bacia com o entorno

Os pontos de alagamento nas vias principais podem inviabilizar articulação com o entorno, por afetar a mobilidade urbana da bacia, o que acaba prejudicando a qualidade de vida da comunidade e seu acesso às demais áreas da cidade. Com a sobreposição das linhas representativas das vias principais (arteriais e coletoras) da bacia, com os pontos de alagamento referente ao cenário atual observou-se a existência de 3 pontos de alagamento ao longo dessas vias, enquanto que para o cenário 6, este valor também foi reduzido a zero (Ver Figura 62).

Figura 62: Impacto do alagamento na articulação da bacia com o entorno

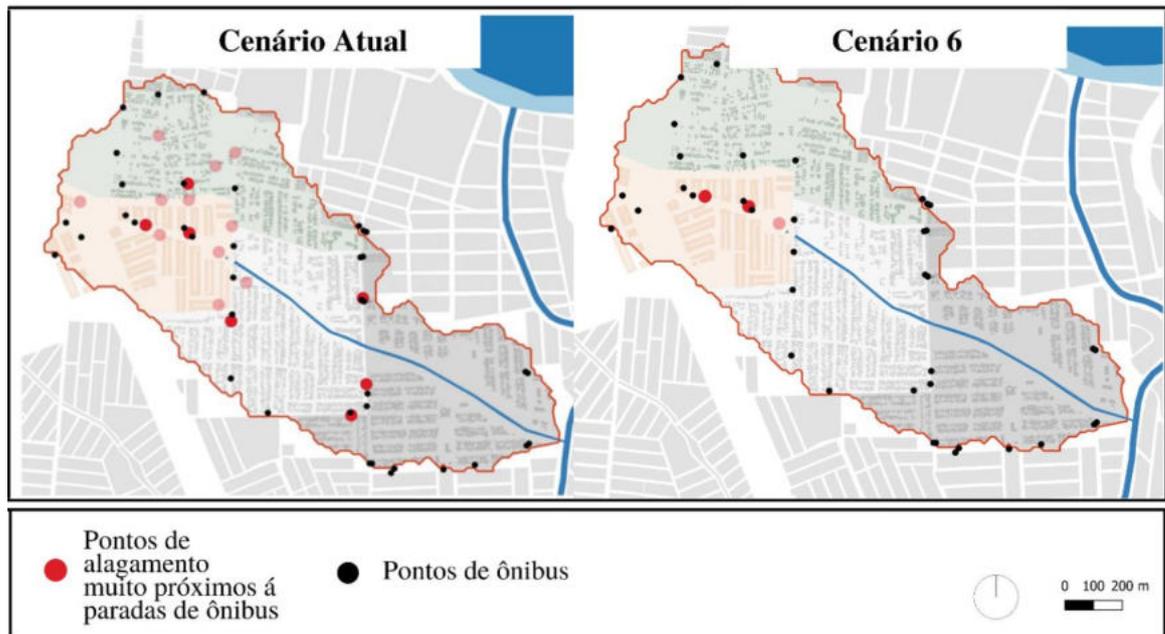


Fonte: A Autora (2021)

4.2.3. Acesso aos pontos de ônibus

Paradas de ônibus em pontos de alagamento dificultam o acesso da comunidade ao transporte público e afetam a qualidade de vida da comunidade uma vez que pessoas que moram próximo às paradas que se encontram alagadas em um determinado período de tempo, terão que se locomover em direção à outra não comprometida pelo alagamento, mas situada à uma distância maior. Para analisar o impacto do alagamento e da aplicação de SUDS no acesso à parada de ônibus da bacia, foram sobrepostos os pontos referentes à localização dos mesmos com os pontos de alagamento referente ao cenário atual e ao com técnicas SUDS (Cenário 6), de modo a identificar paradas muito próximas aos pontos de alagamento obtidos na simulação. No cenário atual, observou-se que 23% das paradas de ônibus estão muito próximas à pontos de alagamento, enquanto que com a implementação de SUDS no cenário 6, este valor reduziu para 8,6 % (Ver Figura 63).

Figura 63: Impacto do alagamento no acesso às paradas de ônibus da bacia



Fonte: A Autora (2021)

4.3. ABORDAGENS PARA AÇÕES DE INTERVENÇÃO

Para além de uma questão técnica e de intervenção no espaço físico, o processo de inclusão de SUDS no meio urbano interfere e sofre interferências do meio social ao qual se insere e dos indivíduos aos quais se destinam. Portanto, priorizar estes aspectos durante abordagens de políticas públicas que visem a inserção de práticas sustentáveis em drenagem, molda comunidades participativamente ativas e engajadas nas problemáticas ambientais da bacia urbana.

Um dos apontamentos feitos durante a análise da área de estudo desta pesquisa, foi a subutilização ou até inutilização de áreas com potencial para se tornarem áreas verdes e equipamentos públicos de lazer integrados a medidas de drenagem urbana sustentável. Esse tipo de intervenção em áreas de ocupações precárias com escassez desses recursos em sua paisagem, tem um poder transformador na vida urbana do local, e, de acordo com Morgan & Fenner (2017), surtem ainda mais efeito do que intervenções onde já se observa considerável disponibilidade destes equipamentos. Portanto, políticas públicas que direcionem recursos para a valorização das áreas verdes e públicas de lazer em assentamentos precários, são de relevante importância. Além disso, as fontes destes recursos

podem estar tanto agregadas a intervenções mais amplas em drenagem quanto podem ser executadas com recursos municipais.

Para o âmbito privado, faz-se necessário entender o comportamento dos habitantes da bacia quanto a sua relação com o espaço não construído de seus lotes. De acordo com Scott Jiusto & Macauley Kenney (2015), indivíduos costumam ter orgulho e zelo de seus jardins e hortas privadas mesmo quando envoltos por situação de precariedade. Portanto, através de programas de suporte, SUDS podem ser integradas à jardins em áreas privadas, descentralizando o sistema, aumentando a mitigação do alagamento e engajando a comunidade. Como abordagem inicial para essa política, pode-se começar a tentativa de intervenção, nos lotes cujos habitantes já possuem o hábito de colher jardins e hortas, pois considera-se que estes serão os mais passíveis à engajamento e mobilização em relação a apropriação e aceitação de SUDS dentro do seu espaço.

Neste viés de sustentabilidade urbana, já existe programas locais que apresentam um histórico de ações com envolvimento da comunidade realizadas com sucesso no município, como é o caso do programa Minha árvore, administrado pela Secretaria Municipal de serviços Urbanos e Meio Ambiente (SESUMA) e que disponibiliza mudas para a população, contribuindo com a arborização da cidade. A Figura 61 mostra este projeto em ação em um lote privado que faz parte do território da bacia da Ramadinha. Assim, agregar as medidas SUDS, como os sistemas de biorretenção, que também requerem plantio de mudas, a estes tipos de programas já reconhecidos, além de diversificar os órgãos envolvidos, também podem aumentar a confiança e aceitabilidade da população quanto às SUDS.

Figura 64: Programa minha árvore atuando na bacia da Ramadinha



Fonte: PMCG (2020)

Ademais, para um constante atualização e calibração dos eventos de chuva na bacia, pode-se haver a transferência do modelo concebido nesta pesquisa, para ser operacionalizado por outros órgãos da prefeitura. Assim, a partir das previsões da Agência executiva de gestão da águas da Paraíba (AESAs), podem ser emitidos alertas de alagamento para a Defesa Civil municipal e Associação de Moradores, estando a universidade na assistência técnica. Com isso, cria-se uma rede entre os órgãos públicos e a comunidade e estabelece-se relações entre ocupação e gestão do espaço urbano com a susceptibilidade ao alagamento.

Ainda no contexto de tentar compreender o papel do envolvimento da comunidade local na implementação das infraestruturas de drenagem sustentável, Beery (2008), constatou que para a intervenção na Lake Superior Coastal Areas, em Minnesota, é necessário a criação de políticas de educação que façam os cidadãos entenderem que os esforços de implementação de SUDS em suas residências, não só protegem seus espaços privados durante eventos extremos, como também, se somados, podem vir a ser uma massiva contribuição para a comunidade como um todo.

Esta abordagem educacional visa, portanto, contribuir com a disseminação do conhecimento e a mitigação do processo alienador que acometem os membros da comunidade, o que é frequentemente observado durante implementação de soluções de drenagem tradicionais. Pompeo (2000) reflete sobre tais questões participativas da sociedade na adoção

de práticas sustentáveis e seu pensamento, exposto abaixo, é uma reflexão crítica e importante a se fazer durante processos de intervenções que envolvam SUDS, como as abordadas durante esta pesquisa:

“[...] devemos construir um espaço de articulação incluyente, onde deve estar presente toda nossa capacidade de negociação, aceitação das diferenças e das dificuldades, dos direitos e deveres, além de exigir muita criatividade e bom senso. Tanto na esfera individual quanto na coletiva, tanto na pública quanto na privada. O espaço da cidadania. A maior possibilidade da sustentabilidade é proveniente da participação da sociedade na definição de seus próprios rumos, na construção e escolha de alternativas. Participação consciente e democrática.” (Pompeo, 2000, p. 22)

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa explorou a adequabilidade do espaço físico e urbano ao recebimento dos dispositivos SUDS, de uma bacia constituída por assentamentos precários e formada por diferentes arranjos de configurações espaciais. Através das simulações dos cenários formados realizadas através do software SWMM, percebeu-se a efetividade da implementação de SUDS ao longo das diferentes configurações urbanas (em locais públicos e privados), quanto a sua capacidade de redução do volume de alagamento em relação ao cenário atual de drenagem da bacia da Ramadinha. Foi observado ainda, como a presença de pontos de alagamento impactam a vida urbana da área de estudo e como a aplicação de SUDS ajudam a mitigar esses impactos. Por fim, os apontamentos feitos para ações de intervenção deram uma base para possíveis futuras abordagens de implementação de SUDS na área de estudo.

Para o espaço público, observou-se através dos cartogramas de adequabilidade, que os sistemas de biorretenção foram as técnicas que apresentaram maior porcentagem de área passível ao recebimento das mesmas, no espaço urbano de todas as configurações da bacia, exceto da delimitada pela área da ZEIS Ramadinha (CU2). Essa configuração, por sua vez, se mostrou mais propícia ao recebimento dos pavimentos permeáveis em áreas públicas, devido sua alta densidade de lotes construídos e grande quantidade de ruas ainda não pavimentadas.

Em relação ao espaço privado, os tanques de armazenamento de água de chuva destacaram-se como a técnica SUDS com a maior porcentagem de áreas aptas ao recebimento das mesmas em todas as configurações urbanas, principalmente nas áreas mais densas, como a CU2. Isso enfatiza a importância de considerar os lotes construídos privados como objeto de análise para intervenções que envolvam medidas SUDS, principalmente em áreas densas com pouca disponibilidade de espaços públicos.

Para o evento de chuva intensa simulado no cenário atual, foi visto que a adoção de um sistema de drenagem tradicional e centralizado, focado quase que exclusivamente na figura do canal de concreto, ao qual as intervenções do PAC-UAP para a Ramadinha deram prioridade, não foi capaz de mitigar por completo a vulnerabilidade ao alagamento da bacia. Esse resultado, revelou ainda mais a necessidade de se considerar medidas descentralizadas com a adoção de medidas SUDS que, além da eficiência hidrológica, levam em conta o melhoramento da paisagem e da vida urbana.

Para os cenários com aplicação dos pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração e sistemas de biorretenção em locais públicos (cenário 3), as configurações urbanas 2, 3 e 4 apresentaram consideráveis redução no volume total de alagamento em relação ao cenário atual (64,2%, 24,3% e 88,0% respectivamente). Na configuração 2, essa redução se deu principalmente pela alta adequabilidade do seu território ao recebimento dos pavimentos permeáveis e nas configurações 3 e 4 pela adequabilidade aos sistemas de biorretenção.

Para os cenários de simulação que uniram intervenções de todas as medidas SUDS estudadas, em áreas públicas e privadas (cenário 6), 100% do volume total de alagamento foi reduzido nas configurações urbanas 2 e 4. Na CU 2, essa completa mitigação do alagamento ocorreu apenas com a adição dos sistemas de biorretenção no cenário 6, enquanto que na CU 4, todo o volume alagado foi reduzido a zero logo após a inserção dos tanques de armazenamento de água de chuva no cenário 4. Na CU 3, não houve mitigação completa do alagamento, porém grande redução de seu volume foi atingida (87,8 %).

A simulação e eficiência hidrológica da implementação de SUDS na bacia da Ramadinha, também refletiu na melhoria de alguns aspectos da vida urbana da sua comunidade. Para o cenário com a aplicação de todas as técnicas SUDS selecionadas, em áreas públicas e privadas (cenário 6), observou-se a redução de até 100% de áreas alagadas em equipamentos públicos, vias de integração com o entorno e paradas de ônibus ao longo da bacia. Esses resultados mostram a importância de considerar não só a oferta e existência dos equipamentos urbanos em áreas de assentamentos precários, como também de analisar se os locais nos quais estão implantados tem seu acesso impedido em eventos de chuva intensa.

Deste modo, este estudo demonstrou a importância de selecionar, alocar e simular medidas de SUDS baseadas nas características particulares de cada espaço urbano, a fim de maximizar seus benefícios hidrológicos e urbanos, especialmente dentro do território heterogêneo de assentamentos precários. Nas partes mais adensadas da bacia, as reduzidas possibilidades de implementação de SUDS em locais públicos, foram compensadas pela eficácia das mesmas quando alocadas em áreas privadas. Entretanto, estas intervenções requerem apropriadas abordagens de ações para os órgãos e pessoas envolvidas, de modo a inserir a comunidade no processo de planejamento e tomada de decisões, fazendo-os compreender as dimensões do risco de alagamento ao qual estão expostos e os benefícios que as SUDS propiciarão a sua comunidade.

A maior dificuldade encontrada durante a concepção do trabalho, foi o nível de detalhamento exigido para o mesmo, tanto no processo de mapeamento dos componentes urbanos, quanto nos dados necessários à parametrização do modelo. Além disso, por este estudo ter focado principalmente nos aspectos quantitativos da implementação de SUDS na redução do alagamento da área de estudo, o mesmo não conseguiu dar a ênfase necessária às vertentes sociais, econômicas e ambientais da drenagem urbana sustentável em assentamentos precários. Estas vertentes, no entanto, podem ser abordadas em futuras pesquisas. O abstract do Apêndice D⁷, por exemplo, vai além dos aspectos hidráulico/hidrológicos e adentra na avaliação sócio-ecológica de SUDS, mostrando as melhorias das relações entre as suas variáveis, após a implementação das técnicas de infiltração e de armazenamento de água da chuva.

Futuras pesquisas podem ainda estudar os aspectos qualitativos do escoamento superficial após a inserção de SUDS, de modo a observar a diminuição dos poluentes das águas destinadas aos canais de macrodrenagem. Também pode-se aprofundar o estudo dos impactos que as medidas SUDS selecionadas exercem sobre outros aspectos do saneamento básico, como a influência dos tanques de armazenamento de água da chuva no abastecimento de água da área de estudo. A fim de detalhar ainda mais o modelo, recomenda-se aprofundar o levantamento das informações dos elementos de drenagem já existentes (como bocas de lobo e poços de visita), com mais visitas em campo e calibrar o modelo com outros eventos de chuva intensa, comparando os resultados simulados com relatos e registros de moradores e das ações de monitoramento da Defesa Civil municipal.

No âmbito da dimensão social da aplicação de SUDS em assentamento precários, próximas pesquisas podem ir além da perspectiva hidrológica e aterem-se a visão sócio hidrológica. Com isso, pode-se explicar como diferentes partes envolvidas, tais quais instituições governamentais e não governamentais, comunidades, universidades e demais órgãos, podem conectar-se entre si, de modo a planejar intervenções no ambiente urbano que sejam socialmente adaptáveis à bacias que englobem assentamentos densos e informais.

⁷ O Abstract intitulado: “A socio-ecological robustness approach for evaluation of urban Green Infrastructure effectiveness in a dense precarious settlement” foi produzido durante o processo de simulação do modelo e apresentado no EGU General Assembly 2021.

CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. **Projeto técnico: pavimento permeável**. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH). ficha técnica de sistematização do projeto, 2016, 21 p. Disponível em <http://www.solucoesparacidades.com.br/wpcontent/uploads/2013/10/AF_Pav%20Permeavel_web.pdf. > Acesso em: 05 de agosto de 2020.

ALADENOLA, O.O.; ADEBOYE, O.B. Assessing the potential for rainwater harvesting. **Water Resources Management**. n. 24, p. 2129–2137. 2010. DOI: 10.1007/s11269-009-9542-y

ALENCAR, A. K. B. Crescimento urbano x assentamentos precários. **Revista Movimentos sociais e dinâmicas espaciais**. Recife, v.03, n. 01, 2014.

ALVES, L. G. F. et. al. Impacto da urbanização no escoamento superficial em bacia ocupada por assentamentos precários em Campina Grande. In. XIII ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, 2020. Porto Alegre – RS.

ARAÚJO, L. E. et. al. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba. **Rev. bras. meteorol.** v.23, n.2, São Paulo, jun. 2008. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862008000200005>

ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M. GOLDENFUN, J. A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. **RBRH – Revista brasileira de recursos hídricos**. v. 5, n. 3, 2000, p. 21-29.

ARIZA, S. L. J. ET. AL. A multicriteria planning framework to locate and select sustainable urban drainage systems (SUDS) in Consolidated Urban Areas. **Sustainability**, v. 11(8), p. 2312. 2019. DOI: 10.3390/su11082312

ASCE - AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **Design and construction of urban stormwater management**. 1992. 724 p.

ASCE - AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **Gravity Sanitary Sewer Design and construction**, ASCE manual of practice nº 60, New York, NY, 1982.

BAPTISTA, M.; BARRAUD, S.; NASCIMENTO, N. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2ª edição. Porto Alegre: ABRH, 2011, 318 p.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266 p.

BARROS, M. T. L. de. Drenagem urbana: bases conceituais e planejamento. In: SANEAMENTO, SAÚDE E AMBIENTE: FUNDAMENTOS PARA UM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública/Núcleo de Informações em Saúde Ambiental, São Paulo, 2005.

BEERY, T. Engaging the private homeowner: Linking climate change and green stormwater infrastructure. **Sustainability**, 10(12), 4791. 2018. DOI: 10.3390/su10124791

BENINI, S. M. **Infraestrutura verde como prática sustentável para subsidiar a elaboração de planos de drenagem urbana: estudo de caso da cidade de tupã/sp**. Tese de doutorado -

Programa de Pós graduação em Geografia (Área de Concentração: Produção do Espaço Geográfico). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente: [s.n.], 2015. 220 p.

BIDONE, F.; TUCCI, C.E.M. Microdrenagem. In: TUCCI, C.E.M.; Porto, R.L.L.; Barros, M.T. Drenagem Urbana. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, v.5, p.277- 347, 1995.

BRASIL. Lei federal nº 11445 de julho de 2020. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências. Brasília, julho de 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES, Secretaria Nacional de Habitação. Guia para o Mapeamento e Caracterização de Assentamentos Precários. Brasília: MCidades, 2010.

BRITO, M. **Habitação Social: a coordenação intergovernamental nos programas federais recentes**. 2015. 157 p. Dissertação (Mestrado em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento) – Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CANHOLI, A. **Drenagem Urbana e Controle de enchentes**. 2 ed. São Paulo, SP: Oficina de textos, 2014.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de textos, 2005.

CEMADEN. *Brazilian natural disasters monitoring network* CEMADEN/MCTIC. 2020. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/>>. Acesso em: 15 de outubro de 2020.

CHRISTOFIDIS, H. DO V. **Drenagem Urbana Sustentável: Análise do uso do Retrofit. Centro de Desenvolvimento Sustentável**. Dissertação de Mestrado-Desenvolvimento Sustentável, área de concentração em Políticas e Gestão Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília, 2010.163 p.

CITIES ALLIANCE. **About slum upgrading**. Disponível em: <http://www.citiesalliance.org/About-slum-upgrading# Why_is_slum_upgrading_important> 2014. Acesso em: 20 de fevereiro de 2020.

COUNTY OF LOS ANGELES. **Low Impact Development Standards Manual**. Los Angeles, 2014.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION. **Pennsylvania Stormwater Best Management Practices Manual**. Pennsylvania, v. 34, 2006, 640 p.

ECYCLE. **Captação de água da chuva: conheça as vantagens e cuidados necessários para o uso da cisterna**. 2020. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/3301-captacao-de-agua-da-chuva-aproveitamento-sistema-cisternas-como-captar-armazenar-coletar-para-aproveitar-vantagens-coletor-modelos-cisterna-ecologica-aproveitando-coleta-pluvial-armazenamento-caseiro-residencial-como-onde-encontrar-comprar>> Acesso em: 08 de maio de 2021.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. EMBRAPA Solos. 2ª ed. Brasília: Distrito Federal. 2006.

EPA - Environmental Protection Agency. **Storm Water Technology Fact Sheet : Permeable pavements**. 832-F-99-006, Office of Water, Washington DC, 1999.

EPA - Environmental Protection Agency . **Stream Corridor Restoration: principles, processes and practices.** EUA. 1998, 648 p.

EPA - Environmental Protection Agency . The Niantic River Watershed Committee. 2015. Disponível em <<https://www.nianticriverwatershed.org/>>. Acesso em: 29 de abril de 2021.

FCTH - **Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo.** São Paulo, v. 01, 170 p. 1999.

FHWA. Federal Highway Administration. **Urban Drainage Design Manual.** Hydraulic Engineering Circular 22, 2ª ed., Washington, D. C. 2009

FLETCHER, T. D., ET. AL. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – the evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, v. 12, 525–542. 2015. DOI: 10.1080/1573062x.2014.916314

GARCEZ, L. N. **Elementos de Engenharia hidráulica e sanitária.** 2 ed. São Paulo, SP: Edgard Blucher. p.3 1974.

GARCIA, J. I. B. **Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia hidrográfica do Arroio Cancela.** Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005, 169 p.

GARCIA-CUERVA, L., BERGLUND, E. Z., RIVERS, L. An integrated approach to place Green Infrastructure strategies in marginalized communities and evaluate stormwater mitigation. **Journal of Hydrology**, 559, p. 648–660. 2018. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.02.066.

GIL, J., BEIRÃO, J. N., MONTENEGRO, N., DUARTE, J. P. On the discovery of urban typologies: Data mining the 785 many dimensions of urban form Urban Morphology. 16(1), p. 27-40. 2012.

GONÇALVES, N. M. S. Impactos pluviais e desorganização do espaço urbano em Salvador. In: CLIMA URBANO. São Paulo, p. 69-91. 2003.

GOOGLE EARTH. 2015. Disponível em: < <Http://mapas.google.com>>. Acessado em 18 de fevereiro de 2021.

GOOGLE EARTH. 2020. Disponível em: < <Http://mapas.google.com>>. Acessado em 20 de novembro de 2020.

GREEN GARAGE DETROIT. Midtown Detroit’s Cass Corridor, Second Avenue, Detroit, 2017. Disponível em: < <https://greengaragedetroit.com/>>. Acessado em: 30 de abril de 2021.

HUBER, W.C; DICKINSON, R.E. **Storm water management model version 4: user’s manual.** Environmental Protection Agency, U.S., 473 p. 1992.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico. Pesquisa Nacional de renda média familiar. Paraíba, 2010.

IPH. **Impacto da urbanização nas cheias urbanas e na produção de sedimento. Bacia do arroio Dilúvio.** Relatório de pesquisa - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto

de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. p. 77-79, 1993.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Curso de capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco. Disponível em: <<https://www.ceped.ufsc.br/curso-capacitacao-em-mapeamento-e-gerenciamento-de-risco/>> Brasília: Ministério das Cidades, 122 p. 2006.

JIUSTO, S.; KENNEY, M. Hard rain gonna fall: Strategies for sustainable urban drainage in informal settlements. **Urban Water Journal**, 13:3, p. 253-269, 2015. DOI: 10.1080/1573062X.2014.991329

JONES, M. P., & HUNT, W. F. Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern united states. **Resources, Conservation and Recycling**, 54, 623–629. 2010.

JOSEPH, J. F.; FALCON, H. E.; SHARIF, H. O. Hydrologic Trends and Correlations in South Texas River Basins: 1950-2009. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 18, n. 12, p. 1653-1662, 2013.

LAMOND, J. E.; ROSE, C. B.; BOOTH, C. A. **Evidence for improved urban flood resilience by sustainable drainage retrofit**. Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers - Urban Design And Planning, [s.l.], v. 168, n. 2, p.101-111, abr. 2015.

Le Jallé, C., Désille, D., Burkhardt, G. **La gestion des eaux pluviales urbaines dans les pays en développement**. Programme Solidarité Eau (pS-Eau). Paris, France. 2013.

LEGEBY, A. **Patterns of co-presence: Spatial configuration and social segregation**. 2013. PhD Dissertation. Akademisk avhandling – Royal Institute of technology, Stockholm.

LI, J.Q.; ZHAO, W.W. Design and hydrologic estimation method of multi-purpose rain garden: beijing case study. In: INTERNATIONAL LOW IMPACT DEVELOPMENT CONFERENCE, Seattle, p. 1-10, 2008. DOI:10.1061/41009(333)67

MARCHIONI, M.; SILVA, C.O. **Pavimento intertravado permeável: melhores práticas**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2010. 10p.

MCCUEN R. H. ; PEGGY A. J. ; ROBERT M. R. **Highway Hydrology Hydraulic Design**. n. 2, 2ª ed. FHWA-AS-96-067, Federal Highway Administration, Washington, DC, 2002.

METCALF & EDDY. **Storm Water Management Model. Water pollution control research series**. University of Florida, Water Resources Engineers, United States. Environmental Protection Agency. U.S. Government Printing Office, v. 02, 1971.

MINUZZI, R. B. SEDIYAMA, G. C. Influência da topografia na precipitação: uma análise estatística e via imagens de satélite. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Fortaleza, 2004.

MONTEIRO, C.A.F. **Clima e Excepcionalismo: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Ed. Da UFSC, Florianópolis – SC, 241 p., 1991.

MORGAN M.; FENNER R. Spatial evaluation of the multiple benefits of sustainable drainage systems. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, **Water Management** 172(1), 2017, p. 39–52, <https://doi.org/10.1680/jwama.16.00048>

- MOTA, S. **Gestão ambiental de recursos hídricos**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2008.
- MUTHANNA, T.M; VIKLANDER, M.; THOROLFFSSON, S.T. **Seasonal climatic effects on the hydrology of a rain garden**. Hydrological Process, v.22, p.1640-1649, 2008.
- ONG NOSSA RAMADINHA MELHOR. 2021. Disponível em <<https://www.facebook.com/Nossa.Ramadinha/>>. Acessado em 15 de Abril de 2021.
- PALME, M., PRIVITERA, R., LA ROSA, D. The shading effects of Green Infrastructure in private residential areas: Building Performance Simulation to support Urban Planning. **Energy and Buildings**, v. 229, p. 1-33, 2020. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.110531
- PAZ, A. R. **Hidrologia Aplicada**. Texto básico. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Caxias do Sul. p. 11, 2004.
- PEIXOTO, V. C. **Análise paramétrica e dimensionamento de poços e infiltração para fins de drenagem urbana**. 2011. 111 p. Dissertação de mestrado (Programa de pós graduação e área de concentração em geotecnia). Escola de engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- PIRES, J. S. R. ; SANTOS, J. E ; DEL PRETTE M. E. **Livro: Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Camargo. Ilhéus, Ba : Editus, 2002. 20p.
- PLANSAB. **Plano Nacional de Saneamento Básico. Versão Conselhos Nacionais**, 2013. Disponível em: <http://www.cecol.fsp.usp.br/dcms/uploads/arquivos/1446465969_Brasil-PlanoNacionalDeSaneamentoB%C3%AAsico-2013.pdf> .Acesso em: 30 mar. 2020.
- PMCG – PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINA GRANDE. Projeto socioambiental. Campina Grande – PB. 2020.
- PMCG. Lei complementar nº 003, de 09 de outubro de 2006. Promove a revisão do Plano Diretor do Município de Campina Grande. Campina Grande – PB. p. 1-50, 2006.
- POMPEO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 5 n.1. Jan/Mar 2000, p. 15-23
- PORTO, R. M. et. al. **Hidráulica Básica**. São Carlos, EESC/USP, v. 4, 516p. 1993.
- REIS, R.P.A.; OLIVEIRA, L.H.; SALES, M.M. Proposição de Parâmetros de Dimensionamento e Avaliação de Poço de Infiltração de Água Pluvial. In: M. 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitaria e Ambiental. Saneamento Ambiental Brasileiro: Utopia ou Realidade?. Rio de Janeiro, RJ, 2005, p.1-9.
- RODRIGUES J.O. et al. Equações de intensidade-duração-frequência. **Scientia Agrária**, Curitiba, v.9 , n. 4, p.514, 2008.
- RODRIGUES, Lorena. **Previsão de investimentos do PAC até 2010 aumentou 26%**. Folha Online. Brasília, 03 dez 2008. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u474638.shtml>>. Acesso em: 11 abr. 2020
- ROSSMAN, L. **Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0**. U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati. 2008.

- SANEBAVI. **Drenagem pluvial**. Prefeitura Municipal de Vinhedo, São Paulo, p. 1-77, 2018
- SANTANA, D.P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo**. Documentos, 30, 2003. 67p.
- SANTOS, B. L. et al. Avaliação integrada das soluções de drenagem urbana em assentamentos precários. **Revista Engenharia sanitária e ambiental**. 2021 (Submetido).
- SANTOS, H. G. et. al. **O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 67 p. (Embrapa Solos. Documentos, 130.)
- SANTOS, V. J.; SANTOS, C. O. **A evolução da urbanização e os processos de produção de inundações urbanas**. Estação Científica (UNIFAP). ISSN 2179-1902. Macapá, v.3 n. 1, p. 19-30, jan.-jun. 2013. Disponível em < <http://periodicos.unifap.br/index.php/estacao> > Acesso em: 18 ago. 2020.
- SCHIMITT, V. F.; HAFEMANN, A. C.; PERON, G. Desafios da regulação da drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: uma análise regional. In: CONGRESSO NACIONAL DE SANEAMENTO DA ASSEMAE, 48.,2018, Fortaleza, p. 780
- SCS - Soil Conservation Service. Estimation of direct runoff from storm rainfall. In: NATIONAL ENGINEERING HANDBOOK. Section 4 – Hydrology. Chapter 10. Hydraulic Engineer. p. 30, 1964.
- SEBUSIANI H. R. V.; BETTINE S. C.; Metodologia de análise do uso e ocupação do solo em micro bacia urbana. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**. Taubaté, SP, Brasil, G&DR, v. 7, n. 1, p. 256-285, jan-abr/2011.
- SEMPRE SUSTENTÁVEL Aproveitamento de água de chuva de baixo custo para residências urbanas. Disponível em: <<http://www.sempresustentavel.com.br/hidrica/aguadechuva/agua-de-chuva.htm>>.2012. Acesso em 08 de maio de 2021.
- SENA, J. P. O.; LUCENA,D. B.; MORAES NETO, J. M . Eventos pluviais intensos e seus impactos em Campina Grande-PB. **REGNE**. Volume 5, p. 69-77, 2019. Número Especial ISSN: 2447-3359.
- SEPLAN. Secretaria de Planejamento do Município de Campina Grande - PB. 2007. Disponível em: <<http://seplan.pmcg.pb.gov.br/>> Acesso em: 20 fev. 2021.
- SEPLAN. Secretaria de Planejamento do Município de Campina Grande - PB. 2011. Disponível em: <<http://seplan.pmcg.pb.gov.br/>> Acesso em: 28 novembro de 2020.
- SILVA M. R. V. et al. Jardins de chuva: técnicas compensatórias para sistemas de drenagem. **Cadernos de graduação: Ciências exatas e tecnológicas**. Alagoas, v. 5, n.1, p. 13-20, 2018.
- SILVA, N. T. **Precipitações diárias intensas na cidade de João Pessoa, Paraíba**. (Trabalho de Conclusão de Curso). Curso de Bacharelado em Geografia. João Pessoa: Departamento de Geociências –UFPB, 2014. 69p.
- SILVEIRA, A. L. L. Problems of modern urban drainage in developing countries. **Water Science and Technology**, 45(7), p. 31–40. 2002. DOI: 10.2166/wst.2002.0114
- SINGAPORE. **ABC Waters Design Guidelines. Public Utilities Board (“PUB”)**. 2. ed.,2011. Disponível em: <

http://www.pub.gov.sg/abcwaters/abcwatersdesignguidelines/Documents/ABCWater sDesignGuidelines_2011.pdf > . Acesso em 16 abr. 2021

SINGH, R. B.; SINGH, S. Rapid urbanization and induced flood risk in Noida, India. **Asian Geographer**, 28(2), 147–169, 2011. doi:10.1080/10225706.2011.629417

SLETTO, B.; TABORY, S.; STRICKLER, K. Sustainable urban water management and integrated development in informal settlements: The contested politics of co-production in Santo Domingo, Dominican Republic. **Global Environmental Change**, V. 54, p. 195–202. 2019 DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2018.12.004.

STOKES, E C., SETO, K. C. Characterizing and measuring urban landscapes for sustainability. **Environ. Res. Lett.** 782 14 045002. P. 1-15. 2019

TAUBENBÖCK, H. (2019). **Remote Sensing for the Analysis of Global Urbanization**. 2019. 93 p. Habilitation thesis, Julius-Maximilians University Würzburg - Department of Geography and Geology.

TEODORO et. al. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n.20, p. 141, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre - RS. Editora da UFRGS/ABRH. 3º ed. 2002. 428 p.

TUCCI, C. E. M. **Gestão das inundações urbanas. Ministério das Cidades – Global Water partnership**. World bank - UNESCO, Porto Alegre - RS, 2005, p. 30.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, 2ª ed., Editora da Universidade, 1993, p. 266-269.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, v. 1, p. 1-15, 2007.

TUCCI, C.E.M. **Águas Urbanas. Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 99., 2008.

TUCCI, Carlos E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade / UFRGS: ABRH, 1995. 428 p.

UN-HABITAT. **The challenge of slums - Global report on human settlements**. Disponível em: <<https://unhabitat.org/the-challenge-of-slums-global-report-on-human-settlements->> Nairobi, Kenya. 2003

VILELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. p. 12-15. Volume único.1 ed. Editora McGraw-Hill do Brasil. São Paulo - SP. 1936.

VILLELA, S. M; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada** . 43 p. Editora McGraw-Hill, São Paulo, 1975.

WOODS-BALLARD, B. et. al. **The SuDS manual**. CIRIA. London -U.K. v. 01. 984p. 2015.

ZANELLA, M. E; SALES, M. C. L.; ABREU, N. J. A análise das precipitações diárias intensas e impactos gerados em Fortaleza-CE. **GEOUSP-Espaço e Tempo**, São Paulo, n° 25, p 53-68, 2009.

APÊNDICE A

**IMPACTO DA URBANIZAÇÃO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM
BACIA OCUPADA POR ASSENTAMENTOS PRECÁRIOS EM CAMPINA
GRANDE**

Luma Gabriela Fonseca Alves¹; Bervylly Lianne de Farias Santos¹; Maria Eduarda Barbosa da Veiga¹; Carlos de Oliveira Galvão¹ & Érica Cristine Medeiros Machado²

RESUMO – A urbanização crescente, desarticulada do planejamento da ocupação do solo, promove um crescimento desordenado com altas taxas de impermeabilização que, aliada à carência de infraestrutura urbana para atender às demandas da população, pode levar a diversos desastres associados à alteração do ciclo hidrológico, como enchentes e inundações. Tal processo põe em risco comunidades em situação de vulnerabilidade socioambiental concentradas em conglomerados urbanos precários que, por vezes, são os principais acometidos pela fragilidade sanitária e pelas sobrecargas do sistema de drenagem. Neste sentido, o presente artigo quantifica, através de uma análise multitemporal entre os anos de 1986 e 2019, os efeitos dessas alterações no uso e ocupação do solo refletidas no escoamento superficial de uma bacia urbana localizada na cidade de Campina Grande, Paraíba, caracterizada pela ocupação de áreas ambientalmente fragilizadas próximas à cursos de água. Utilizando-se da modelagem hidrológica, foi estimado um aumento na vazão superior a 200% para todos os períodos de retorno analisados, sendo mais expressivo para o evento chuvoso com TR=2 anos, no qual a vazão máxima de 2019 foi cinco vezes maior que a observada em 1986.

ABSTRACT– The growing urbanization with lack of land use planning promotes disorderly growth with high impermeabilization rates, which combined with the lack of urban infrastructure to meet the demands of the population, can lead to several disasters associated with alteration of the hydrological cycle, such as floods and inundations. Such a process endangers communities in a situation of socio-environmental vulnerability concentrated in precarious urban conglomerates, which are sometimes the main ones affected by fragile health and overloads of the drainage system. In this sense, this article quantifies, through a multitemporal analysis between the years 1986 and 2019, the effects of these changes in land use and occupation reflected in the surface runoff of an urban basin located in the city of Campina Grande, Paraíba, characterized by occupation of environmentally vulnerable areas close to water courses. Using hydrological modeling, an increase in flow greater than 200% was estimated for all the return periods analyzed, being more expressive for the rainfall event with TR = 2 years, in which the maximum flow of 2019 was five times greater than that observed in 1986.

Palavras-Chave – Urbanização; Escoamento Superficial; Assentamentos Precários.

1) Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Rua Aprígio Veloso 882, Campina Grande, PB, 58429-900, Tel (83) 2101-1461, lumagabriela2010@hotmail.com, bervylly.santos@gmail.com, eduardav83@gmail.com, carlos.galvao@ufcg.edu.br
2) Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Rua Jario Vieira Feitosa S/N, Pombal, PB, 58840-000, Tel (83) 3431-4000, erica@ccta.ufcg.edu.br

INTRODUÇÃO

Em suas condições naturais o ciclo hidrológico é entendido como um sistema em constante equilíbrio dinâmico; porém, o crescimento urbano desordenado acarreta em diversas modificações no comportamento do ciclo, comprometendo a bacia hidrográfica e transformando parte das cidades em áreas de solo impermeabilizado. Dessa forma, as águas da chuva que escoam superficialmente são transportadas e descarregadas de forma muito mais rápida em se comparado a sua condição natural. Tais problemas são gerados, principalmente, pelo modo com que a ocupação da bacia se desenvolve, frequentemente desarticulada do planejamento de uso do solo e com diversas apropriações e construções em terrenos que se caracterizam como áreas de risco, revelando a falta de planejamento, de gestão e de controle municipal e ainda, a ausência de fiscalização na aplicação das legislações nos âmbitos municipal e estadual (Mota, 2008; Barros, 2005; Tucci, 2007). Isto torna-se ainda mais evidente nos assentamentos precários que, no processo de dualização da cidade formal e informal, acabam sendo renegados às áreas mais ambientalmente frágeis do município.

Esse processo desigual de ocupação urbana gera consequências além das alterações no ciclo hidrológico, registradas na oscilação dos níveis de conforto urbano dentro do município, ocasionando transtornos advindos de alagamentos e inundações, dificuldades no tráfego de pessoas e veículos, e disseminação de diversas doenças, que acabam por atingir de forma mais intensa a parcela da população mais vulnerável. Segundo Tucci (2008), esses problemas são consequências de uma visão distorcida do controle por parte dos profissionais e do poder público que, por vezes, ainda priorizam projetos localizados sem visão integrada da bacia e dos aspectos sociais das cidades.

O conhecimento do hidrograma de pré urbanização da bacia é fundamental na escolha de futuras intervenções em drenagem a serem adotadas em áreas urbanas. Neste contexto, como forma de abordar de forma integrada e realista as diversas bacias urbanas, a modelagem hidrológica-hidráulica se mostra como uma ferramenta cada vez mais importante na caracterização e quantificação dos impactos que as ações antrópicas e a urbanização, acelerada e sem planejamento, têm exercido no meio ambiente e nos consequentes processos de escoamento superficial (Santos, 2009).

O presente trabalho analisa, através de uma abordagem multitemporal, o impacto da urbanização e da alteração do uso e ocupação do solo de uma bacia urbana na cidade de Campina Grande, constituída, em sua maioria, por assentamentos precários. Utilizou-se o modelo de simulação *HEC-HMS* para simular o escoamento e as vazões de pico na bacia, visando estimar seus efeitos intensificadores.

METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo, ilustrada na Figura 1, faz parte dos bairros de Bodocongó e Ramadinha, na cidade de Campina Grande, estado da Paraíba, que, nos últimos tempos foi beneficiada por intervenções de micro e macrodrenagem, com a construção do Canal da Ramadinha, cujas obras foram finalizadas em 2014 e totalizam uma extensão de 1,4 km. A bacia de contribuição do canal abrange uma área urbana de 129 hectares, onde cerca de 30% fazem parte de uma das Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS) do município. Caracteriza-se por uma ocupação predominantemente residencial, com carência de infraestrutura e equipamentos públicos, bem como pela incidência de loteamentos irregulares e núcleos habitacionais de baixa renda (PMCG, 2006).

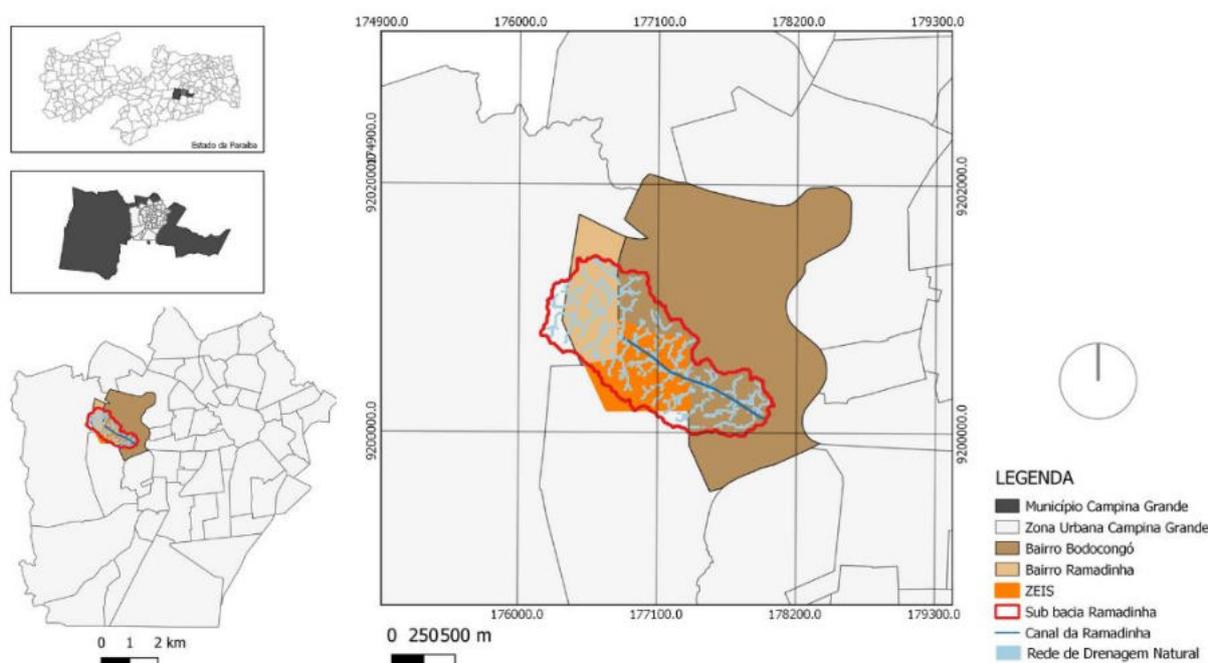


Figura 1 – Localização da bacia de contribuição do canal da Ramadinha

Definição e caracterização dos cenários de urbanização

A fim de compor a análise multitemporal de ocupação da bacia para diferentes cenários de urbanização foram analisados dois períodos distintos da mesma. O primeiro cenário é representado por uma ocupação menos urbanizada e menos impermeável, ano de 1986, enquanto que o segundo corresponde a um período mais recente, o ano de 2019. Mapas de uso e ocupação do solo foram gerados a partir de imagens de satélite obtidas com o auxílio do Google Earth Pro, e processadas no software de geoprocessamento QGis versão 3.10.4. Pela classificação supervisionada das imagens foi

possível analisar o avanço da extensão da mancha urbana que ocorreu neste período de 33 anos entre os cenários (Figura 2).

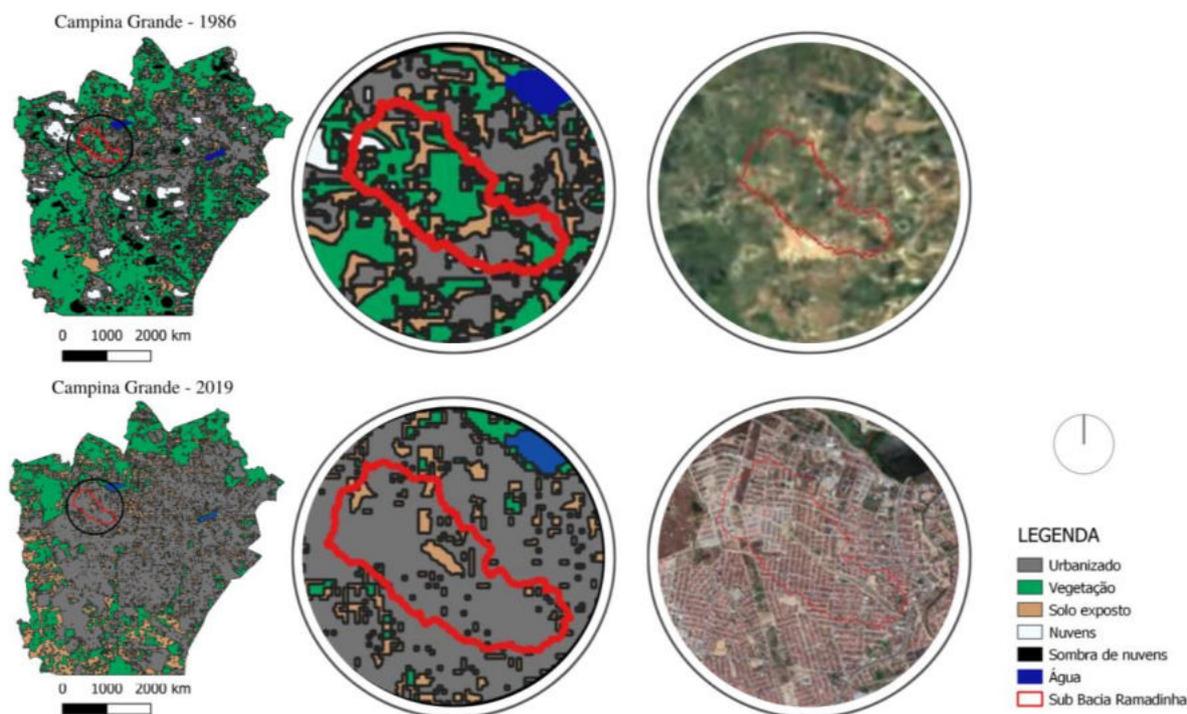


Figura 2 – Cobertura do solo da cidade de Campina Grande para os anos de 1986 e 2019 com enfoque na bacia da Ramadinha

Comparando as imagens da bacia na Figura 2 e pelo conhecimento da área, é possível observar que, no ano de 1986, grande parte era composta por vegetação rasteira e solo exposto, com a parcela urbanizada mais concentrada a jusante. Em 2019, a urbanização crescente na cidade afetou de forma significativa esta área de contribuição do canal da Ramadinha, que se encontra, atualmente, em uma condição urbana totalmente consolidada, com grande extensão de ruas pavimentadas e lotes ocupados de caráter residencial. Além disso, em uma análise mais detalhada do território da bacia em seu cenário atual (Figura 3), percebe-se a irregularidade com que se deu a ocupação da mesma em relação à disposição das suas áreas construídas, fato este que reflete a carência de um planejamento urbano adequado em regiões caracterizadas por assentamentos precários.



Figura 3 - Tipologias das áreas construídas na bacia

Simulação Hidrológica

As simulações hidrológicas, com o intuito de quantificar o escoamento superficial para ambos os cenários de urbanização, foram realizadas com uso do modelo computacional HEC-HMS, com geração de escoamento pelo modelo do Soil Conservation Service – SCS (SCS, 1964) e propagação de cheias pelo método de Muskingum. Os parâmetros de entrada necessários para o modelo de simulação estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros necessários no modelo HEC HMS

Dados de Entrada	Sigla	Unidade
Área	A	Km ²
CN-Curva Número	CN	-
Tempo de concentração	tc	Min.
Comprimento de Talvegue	L	Km
Tempo de Translado	t_t	Min.
Tempo de entrada	t_e	Min.

Fonte: Os autores (2020)

Para permitir um detalhamento das condições de uso e ocupação do solo necessário à representação adequada no modelo, a bacia foi discretizada em 28 sub-bacias. Para ambas as simulações hidrológicas de 1986 e 2019, foram feitas estimativas do parâmetro CN em cada sub-bacia condizentes com os padrões de uso e ocupação do solo observados para cada época. Considerou-se também, nos trechos de escoamento do cenário de 2019, a influência da construção do canal da

Ramadinha, que era inexistente no primeiro cenário. Além disso, o talvegue para a composição das sub-bacias no cenário menos urbanizado seguiu os trechos da rede de drenagem natural, mostrada na Figura 1. Para a situação atual de urbanização consolidada, seguiu-se os arruamentos principais, uma vez que o escoamento das águas pluviais em direção ao canal da Ramadinha ocorre de maneira superficial. Este fato influenciou diretamente nos resultados do tempo de entrada, de traslado e de concentração, calculados através do método da onda cinemática (Barbosa, 1996).

Três eventos de precipitação intensa, associados a diferentes períodos de retorno, foram obtidos por meio da equação da curva IDF proposta para cidade de Campina Grande por Aragão et al. (2000), explicitada na Equação 1.

$$i = \frac{334T^{0,227}}{(t + 5)^{0,595}} \quad (1)$$

onde: i é a intensidade média da chuva máxima (mm/h), T é o período de retorno (anos); e t é a duração da chuva (minutos).

A distribuição temporal dos eventos de projeto foi obtida para os períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos de acordo com as recomendações do manual de drenagem urbana de São Paulo para micro e macrodrenagem (DAEE/CETESB,1980), com duração de 40 minutos, e passo de tempo a cada 10 minutos (Tabela 2). Os dados encontrados independem das condições de uso e ocupação do solo da bacia e, portanto, os hietogramas para ambas as condições de urbanização são iguais.

Tabela 2 – Dados de precipitação para chuva de projeto com TR de 2, 10 e 25 anos

DURAÇÃO (min)	P (mm)		
	TR25	TR10	TR2
10	7,72	6,27	4,35
20	23,01	18,69	12,97
30	10,93	8,88	6,16
40	6,16	5,00	3,47

Fonte: Os autores (2020)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da delimitação das classes de uso e ocupação do solo mapeadas na Figura 2, foi possível caracterizar o desenvolvimento do processo de urbanização que ocorreu na área para os anos de 1986 e 2019 e estimar as porcentagens de ocupação de cada uso. A partir disso, foi determinado o valor de CN médio de cada sub-bacia (Figura 4), com os valores apresentados por Tucci (2002) e através do modelo SCS (1964). O solo da bacia foi considerado, em sua totalidade, como do grupo B pela sobreposição da categorização de solos definidos pelo SCS (1964) com a classificação dos solos do Brasil realizada pela EMBRAPA (2006).

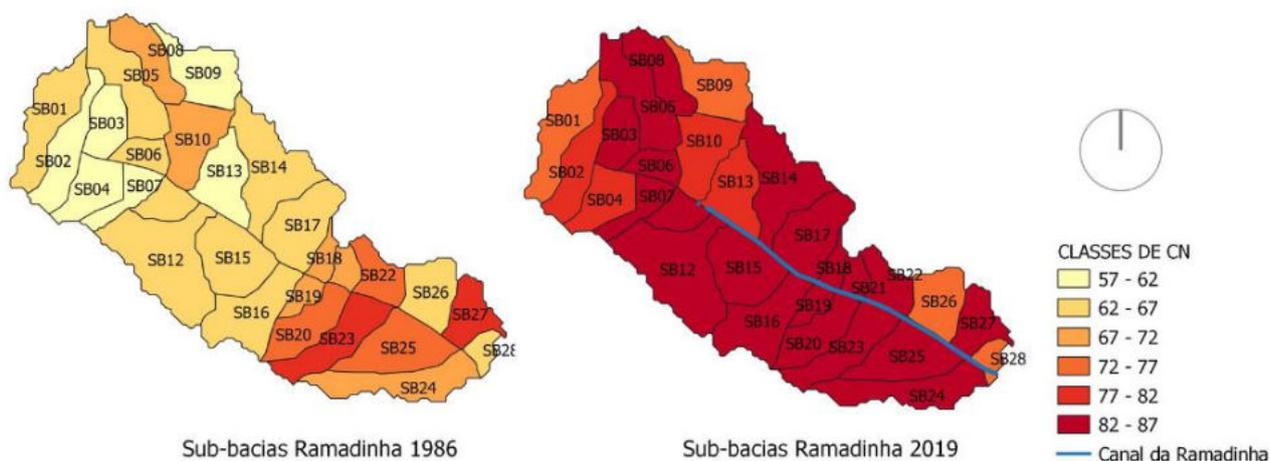


Figura 4 – Intervalos de CN para cada área discretizada em ambos os cenários estudados

Com a análise das imagens de satélite disponíveis para a região, percebeu-se que, em consonância com o avanço da urbanização, as edificações de caráter residencial impermeabilizaram cada vez mais seus terrenos, entrando em desacordo com a porcentagem de áreas permeáveis estabelecida pelo Código de Obras do Município de Campina Grande, que estipula uma porcentagem permeável mínima de 20% por lote construído (PMCG, 2013). Tal prática é comum em bairros que se encontram em Zonas de Recuperação Urbana, como apontam Santos et al. (2017), em estudos feitos para os bairros de Catolé e Sandra Cavalcante do município de Campina Grande.

Com base nestas informações e nos cálculos dos parâmetros de entrada necessários à simulação no HEC-HMS, bem como nos dados dos eventos de precipitação e o do uso e ocupação do solo, foram gerados os hidrogramas no exutório da bacia para o cenário de pré e pós urbanização consolidada (anos de 1986 e 2019, respectivamente), que estão ilustrados na Figura 5. A Tabela 3 apresenta o aumento percentual da vazão de pico e do volume escoado para os diferentes tempos de retorno no exutório da bacia, explicitando as diferenças destas variáveis em ambos os cenários analisados.

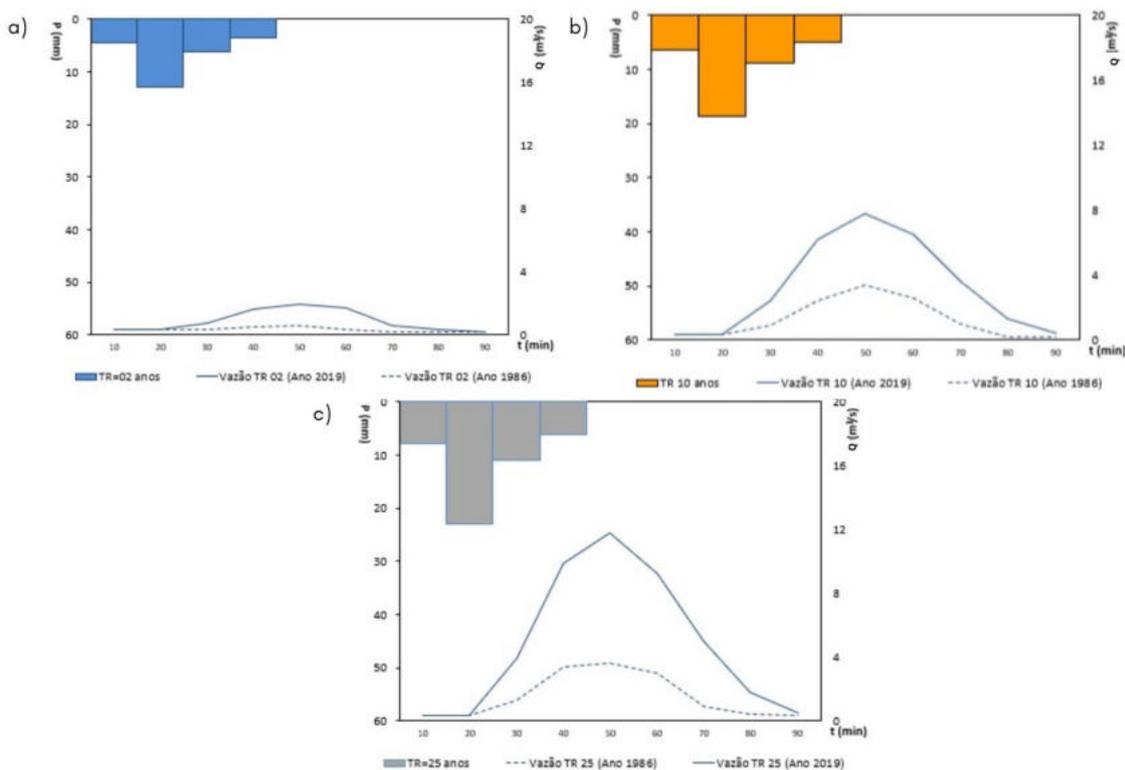


Figura 5 – Hidrogramas dos anos de 1986 e 2019 para os períodos de retorno de 2 anos (a), 10 anos (b), e 25 anos (c)

Tabela 3 – Aumento percentual nas vazões e volume escoado na bacia para os cenários 1986 e 2019.

	Tempo de duração	VOLUME	Vazão Máxima
	120min	Escoado(m ³)	(m ³ /s)
TR= 02 anos	1986	2100	0,6
	2019	7200	3,4
	Aumento (%)	243%	466%
TR = 10 anos	1986	4900	1,9
	2019	17900	7,8
	Aumento (%)	265%	310%
TR=25 anos	1986	8500	3,6
	2019	26600	11,8
	Aumento (%)	213%	228%

Fonte: Os autores (2020)

Os resultados mostram que a impermeabilização do solo da bacia, advinda principalmente da urbanização através de construções residenciais e pavimentação das vias, levou a um aumento na vazão superior a 200% para todos os períodos de retorno, sendo mais expressivo para o evento chuvoso com TR=2 anos e maior probabilidade de ocorrência, onde a vazão máxima é quase cinco vezes superior ao observado no ano de 1986, dados que se refletem também nos volumes escoados no exutório da bacia. Tais mudanças implicam, conseqüentemente, no aumento da vulnerabilidade da

população residente na bacia, sobretudo aqueles que ocupam áreas ambientalmente fragilizadas, e próximas ao curso do riacho, que teve a canalização finalizada em 2011 como forma de controlar a ocorrência de inundações na área, mas que acaba por contribuir com o aumento da vazão a jusante.

Silva (2009), analisando as mudanças no uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do riacho Reginaldo na cidade de Maceió, verificou que a vazão do exutório do riacho passou de 32 m³/s na década de 60 para 70 m³/s no ano de 2004, para um tempo de retorno de 2 anos, constatando que uma das maiores causas do aumento se deu pelos padrões de urbanização da bacia, composta majoritariamente por lotes pequenos quase que 100% impermeáveis. Esta situação é bastante similar à ocupação observada na área de estudo do presente artigo.

CONCLUSÕES

As análises presentes neste artigo constataram que a bacia vivencia um forte impacto no seu ciclo hidrológico natural, advindo da urbanização, que aumentou 55% nos últimos 30 anos, levando à redução da infiltração do solo e ao aumento expressivo das vazões escoadas, sobretudo para chuva com período de retorno de 2 anos e, conseqüentemente, maior probabilidade de ocorrência, que é quase 500% maior para o cenário atual, em comparação com o ano de 1986.

Dessa forma, além das intervenções estruturais já realizadas a fim de mitigar os problemas de inundações, é imprescindível observar as soluções de drenagem através de uma visão holística, integrada à ocupação da malha urbana. Conhecer as mudanças no uso e ocupação do solo, portanto, permite entender o efeito da urbanização no escoamento superficial, sendo importante para estudos voltados à análise da aplicação de técnicas de drenagem efetivas e sustentáveis que visem manter o hidrograma da bacia o mais próximo do seu natural.

AGRADECIMENTOS

Os estudos apresentados neste artigo foram realizados no projeto "A dimensão ambiental e as infraestruturas na urbanização de favelas: concepções de projeto, formas de produção das redes e especificidades dos assentamentos precários", associado ao INCT Observatório das Metrôpoles, financiado pelo CNPq e FAPERJ. Os autores são bolsistas CAPES e CNPq. Demóstenes Andrade de Moraes e Eldson Fernandes de Oliveira contribuíram com material e discussões sobre os aspectos urbanísticos do estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAGÃO, R.; FIGUEIREDO, E.E.; SRINIVASAN, V.S.; GÓIS, R.S.S. (2000). “*Chuvas intensas no Estado da Paraíba*” In: Anais do V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal, 2, pp. 74-85.
- BARBOSA, L. M. (Coord). (1996). Simpósio sobre Mata Ciliar. In Anais Campinas: Fundação Cargill, 1996. 335p.
- BARROS, M. T. L. (2005). *Drenagem urbana: bases conceituais e planejamento*. In: PHILIPPI JR, A. Saneamento, saúde e ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri: Manole.
- DAEE/CETESB (1980). *Drenagem Urbana* 2 ed., São Paulo, 486 p.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.(2006). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. EMBRAPA Solos. 2ª ed. Brasília.
- MOTA, S. (2008). *Gestão ambiental de recursos hídricos*. ABES. 3 ed. Rio de Janeiro.
- PMCG (2006). *Lei Complementar n.º 3, de 9 de outubro de 2006: promove a revisão do Plano Diretor do Município de Campina Grande*. Campina Grande-PB.
- PMCG (2013). *Lei n.º 5.410/13, de 23 de dezembro de 2013: Código de Obras - dispõe sobre o disciplinamento geral e específico dos projetos e execuções de obras e instalações de natureza técnica, estrutural e funcional do município de Campina Grande, alterando a Lei de n.º 4.130/03, e dá outras providências*. Campina Grande. pp. 69.
- SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. (2017). “*Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande - PB.*” Eng. Sanit. Ambient. 22(5), pp. 943-952.
- SANTOS, L.L. (2009). *Modelos Hidráulicos e Hidrológicos: Conceitos e Aplicações*. Revista Brasileira de Geografia Física 2 (3), pp. 01-19.
- SCS-Soil Conservation Service. (1965). *Estimation of direct runoff from storm rainfall*. In: National Engineering Handbook. Section4 – Hydrology. Chapter 10. USDA, Washington D.C.. pp. 1-22..
- SILVA, R. I. J. (2009). “*Evolução da urbanização e seu efeito no escoamento superficial na bacia do riacho Reginaldo Maceió-AL*”. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 90 p.
- TUCCI, C. E. M (2002). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre - RS. Editora da UFRGS/ABRH. 3º ed.
- TUCCI, C. E. M. (2007). *Inundações urbanas*. ABRH/RHAMA. Porto Alegre - RS.
- TUCCI, C.E.M. (2008). *Águas Urbanas. Estudos Avançados*. São Paulo-SP. v. 22, n. 63. p. 99.

APÊNDICE B

Avaliação integrada das soluções de drenagem urbana em assentamento precário

Integrated evaluation of urban drainage solutions in a precarious settlement

Bervylly Lianne de Farias Santos; Luma Gabriela Fonseca Alves; Carlos de Oliveira Galvão; Demóstenes Andrade de Moraes

RESUMO – O crescimento das cidades tem sido um dos catalisadores da ocupação de áreas precárias e de risco. A urbanização desses assentamentos precários com o apoio de programas governamentais busca inseri-los no tecido urbano por meio, entre outras, de intervenções na infraestrutura, como o saneamento básico. Métodos de avaliação da eficácia dessas intervenções nesses assentamentos ainda não estão consolidados, dadas as suas particularidades. Este artigo propõe uma abordagem integrada de avaliação de intervenções na infraestrutura de drenagem de águas pluviais, baseada em três pilares: simulação hidráulica e hidrológica, impactos sociais e desempenho institucional. A abordagem foi aplicada na bacia da Ramadinha, localizada no município de Campina Grande, Paraíba. Para a avaliação dos impactos sociais e do desempenho institucional foram entrevistados moradores, e equipes técnica e social da prefeitura municipal. Os resultados mostram que as principais intervenções hidráulicas (microdrenagem e canal) seguiram o conceito tradicional de escoamento das águas pluviais, não eliminando, portanto, em algumas áreas, problemas de insalubridade ambiental e alagamentos. Houve, inclusive, um grande superdimensionamento do canal de macrodrenagem. Falhas na articulação institucional contribuíram para erros de concepção dos projetos, atrasos e paralisações das obras. A equipe de trabalho técnico-social da prefeitura municipal continua presente no assentamento e a comunidade está bem organizada, o que tem contribuído para o monitoramento e a resolução dos problemas. A avaliação integrada trouxe, à avaliação da eficácia das intervenções de urbanização de assentamentos precários, informações novas que contribuem à concepção de novos projetos e mitigação dos problemas remanescentes.

Palavras – Chave: Urbanização de favelas. Modelagem Hidráulico-Hidrológica. Percepção social. Avaliação institucional.

34 **ABSTRACT** – The growth of cities has been one of the catalysts for the occupation of precarious
35 and risky areas. The urbanization of these precarious settlements with the support of governmental
36 programs seeks to insert them into the urban fabric through interventions in infrastructure, such as
37 basic sanitation. Methods for assessment of interventions in such settlements are not yet
38 consolidated, given their particularities. This article proposes an integrated approach to evaluate
39 infrastructure interventions in urban drainage, based on three pillars: hydraulic and hydrologic
40 simulation, social impact and institutional assessment. The approach was applied to the Ramadinha
41 basin, located in the municipality of Campina Grande, State of Paraíba, Brazil. The assessments of
42 social impacts and institutional performance were accomplished through interviews with
43 community members and city council’s technical and social teams, respectively. Results show that
44 the main hydraulic interventions (minor and major drainage systems) followed the traditional
45 drainage design concepts, therefore unable to mitigate, in some areas, inundation and sanitation
46 problems. The main canal has been, indeed, highly oversized. Deficiencies in the inter-institutional
47 articulation contributed to mistakes in project design concepts, delays and standstill in the
48 execution of the infrastructure works. The city council’s socio-technical team is still working in
49 the settlement and the community is well organized in associations. These facts have contributed
50 to adequate infrastructure monitoring and problem resolution. The integrated assessment added, to
51 the assessment of such interventions, new information for improvement of new projects conception
52 and mitigation of the remaining problems in the already built infrastructure.

53

54 **Key words:** Urbanization of slums. Hydraulic and hydrological modeling. Social perception.
55 Institutional assessment.

56

57 **1. INTRODUÇÃO**

58

59 O acesso às infraestruturas urbanas de saneamento básico e a urbanização de áreas precárias
60 têm sido uma das preocupações internacionais, sendo inclusive reconhecida dentre os Objetivos do
61 Desenvolvimento Sustentável, que integram a Agenda 2030. Aproximadamente 68% da população
62 global viverá em aglomerados urbanos até o ano de 2050 (O’DONNELL E THORNE, 2020), o
63 que é alarmante, pois a expansão urbana acelerada somada à tendência do mercado imobiliário de
64 marginalizar os pobres no processo de produção do espaço urbano, tornam-se catalisadores da
65 ocupação de áreas precárias e de risco. No cenário brasileiro, as ações que priorizavam a

66 erradicação de favelas passaram a dar espaço para intervenções de urbanização a partir dos anos
67 1990 na agenda da União, por meio de programas federais e locais, que deram suporte
68 posteriormente à formulação do eixo “Urbanização de Assentamentos Precários” do Programa de
69 Aceleração de Crescimento (PAC-UAP), em 2007 (DENALDI et al., 2016).

70 Recentemente, várias avaliações foram realizadas desses programas, sob diferentes eixos,
71 como a caracterização dos assentamentos precários (BRUECKNER et al., 2019), condições de
72 salubridade ambiental (PEDROSA, 2014; MONTEIRO, 2019), avaliações pós-ocupação de
73 conjuntos habitacionais (SCHÄFER & GOMIDE, 2014), e avaliação dos resultados das
74 intervenções do PAC em favelas (BALBIM et al., 2013). A importância dos aspectos locais e
75 contexto social na avaliação das intervenções em infraestrutura é bastante ressaltada nesses
76 trabalhos. Por outro lado, na temática de manejo de águas pluviais em áreas irregulares e favelas,
77 o debate interdisciplinar das soluções urbanísticas tem sido negligenciado, sobretudo na concepção
78 das soluções de drenagem, que se configuram como um eixo integrador nos projetos de urbanização
79 (ADELEKAN & ASIYANBI, 2016; NKWUNONWO et al., 2016; JIANG et al., 2018;
80 ADELEKAN, 2010).

81 Uma abordagem integrada de concepção e avaliação dos projetos e soluções de drenagem
82 urbana em assentamentos precários deve considerar diferentes aspectos técnicos, sociais e
83 institucionais, e suas interrelações. Uma intervenção como essa é complexa e requer informações
84 e conhecimentos diversos. Por exemplo, modelos computacionais, aliados à análise da percepção
85 dos atores técnicos envolvidos e vivência dos moradores, permitem um melhor conhecimento dos
86 desastres hidrológicos, inserindo a perspectiva da comunidade como meio de validar as simulações
87 hidrológicas e avaliar as melhorias e a transformação proporcionadas pelas intervenções na
88 realidade local (RAMALHO et al., 2020; WANG et al., 2018).

89 Este artigo propõe uma abordagem integrada de avaliação de intervenções na infraestrutura
90 de drenagem de águas pluviais em assentamentos precários, baseada em três pilares: simulação
91 hidráulica e hidrológica, impactos sociais e desempenho institucional. Avalia um caso real, da
92 urbanização da bacia da Ramadinha, recorte da Região Bodocongó, uma das intervenções do PAC-
93 UAP em Campina Grande (OLIVEIRA. 2019).

94

95

96 **2. METODOLOGIA**

97 **2.1 Bacia da Ramadinha**

98 O município de Campina Grande, no estado da Paraíba, localiza-se na região do semiárido
99 brasileiro, tendo população estimada em 411.807 habitantes, sendo aproximadamente 95% dela
100 residente em seu perímetro urbano (IBGE, 2020). As áreas selecionadas no PAC-UAP em Campina
101 Grande possuíam como característica comum a proximidade com cursos d'água e a necessidade de
102 solucionar problemas relativos à drenagem. Destas áreas, a Região Bodocongó recebeu o aporte
103 financeiro mais expressivo, com investimento inicial de R\$ 31.500.000,00 que após
104 reprogramações totalizou R\$ 50.000.000,00, em valores de 2007 (OLIVEIRA, 2019). O escopo da
105 intervenção, beneficiando 1783 famílias, abrangeu obras de macro e microdrenagem, esgotamento
106 sanitário, pavimentação de ruas e construção de unidades habitacionais. Houve duas áreas de
107 intervenção, não contíguas: a Comunidade São Januário e o entorno do curso d'água entre os
108 bairros Bodocongó e Ramadinha (Figura 1). Na área Ramadinha houve ênfase na drenagem e
109 urbanização e, por isso, foi aqui estudada. A Bacia da Ramadinha foi então delimitada como a
110 contribuinte para o exutório do curso d'água canalizado.

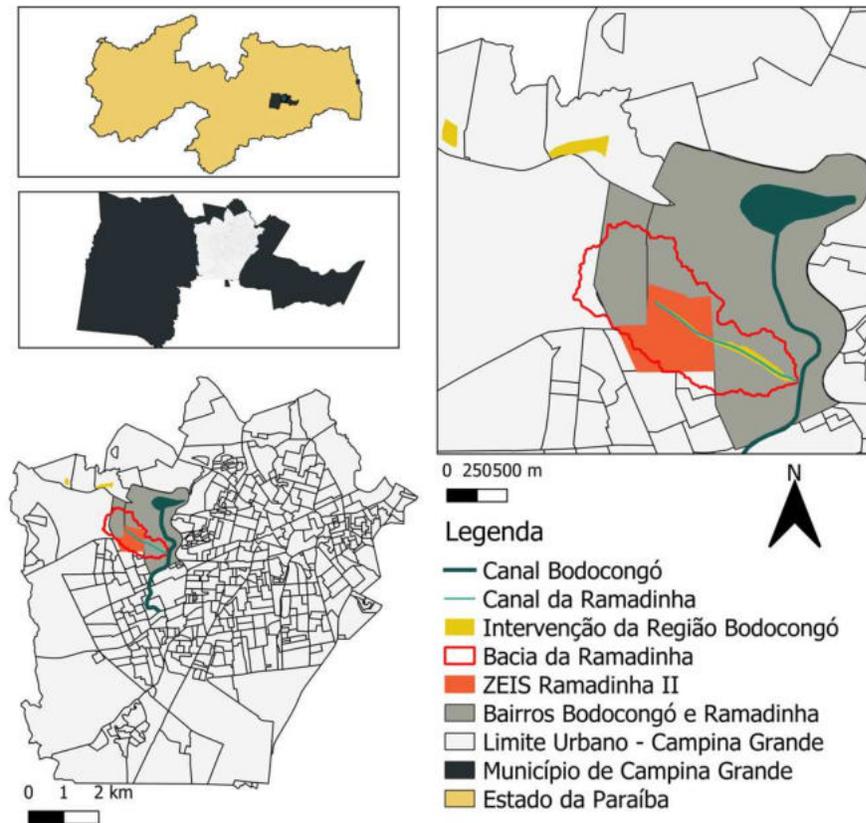
111 De acordo com o Plano Diretor Municipal (Lei nº 003/2006), a bacia localiza-se em Zona de
112 Recuperação Urbana, com carência de infraestrutura, equipamentos públicos e incidência de
113 loteamentos irregulares e núcleos habitacionais de baixa renda. Ademais, abrange uma das Zonas
114 Especiais de Interesse Social – ZEIS do município (Ramadinha II) e coincide com aglomerado
115 subnormal delimitado pelo IBGE (2010). No Art. 116, o Plano elenca ações prioritárias voltadas
116 para o manejo de águas pluviais como mecanismos de fomento para usos do solo compatíveis com
117 as áreas de interesse para drenagem (parques lineares, área de recreação e lazer, hortas comunitárias
118 e manutenção da vegetação nativa), a implantação de medidas de prevenção de inundações,
119 incluindo controle de assentamentos clandestinos, o investimento na renaturalização dos cursos
120 d'água e a recuperação dos sistemas de macro e microdrenagem. No entanto, tais ações não têm
121 sido observadas nas intervenções realizadas no município, embora a seleção da Região Bodocongó
122 como objeto de intervenção tenha ocorrido por se enquadrar nos requisitos relacionados à presença
123 de ocupação com risco de inundações nas margens de cursos d'água e, concomitantemente, a
124 inexistência de intervenções anteriores na bacia.

125

126

127

Figura 1: Localização da Bacia da Ramadinha



128

129

Fonte: Base cartográfica da SEPLAN (2011). Cartogramas adaptados pelos autores (2021)

130

131 2.2 Bases metodológicas

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

A metodologia do estudo (Figura 2) foi elaborada visando à avaliação integrada da intervenção de drenagem urbana realizada no Programa PAC-UAP na Bacia da Ramadinha. Foi possível interligar e confrontar as informações técnicas, institucionais e as experiências pessoais dos moradores, para uma análise mais fidedigna do desempenho do projeto e mudanças proporcionadas à comunidade. A avaliação técnica das condições hidrológicas e hidráulicas foi realizada a partir de modelagem computacional e informações sobre o projeto e sua execução, obtidas de bases documentais e de depoimentos da equipe técnica da prefeitura municipal. A avaliação dos impactos sociais teve como base a percepção dos moradores sobre a eficácia da intervenção. Finalmente, a avaliação do desempenho institucional, utilizou a percepção dos atores técnicos da prefeitura municipal envolvidos na elaboração e execução do projeto de intervenção.

A etapa de análise de documentos consistiu no levantamento dos dados disponíveis da intervenção na Região Bodocongó. O memorial descritivo do projeto do Canal da Ramadinha, com

144 as especificações e dimensionamento da drenagem, foi analisado a fim de identificar a metodologia
 145 adotada pelos projetistas e quais os parâmetros utilizados.

146

147

Figura 2: Etapas metodológicas



148

149

150

Fonte: Autoria própria (2021)

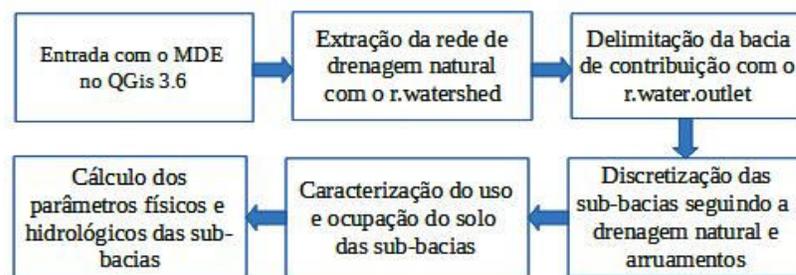
151 2.3 Delimitação da bacia

152 A delimitação da bacia foi uma etapa preliminar à modelagem hidrológica e hidráulica,
 153 realizada através do software livre QGIS 3.6, utilizando o programa de criação de bacias
 154 hidrográficas *r.watershed* para gerar a rede de drenagem natural a partir do Modelo Digital de
 155 Elevação do Terreno (MDE) com resolução de 10 m x 10 m e o programa *r.water.outlet* para
 156 delimitar a bacia de contribuição. O fluxograma para preparação dos dados está na Figura 3.

157

158

Figura 3: Fluxograma para delimitação da bacia de estudo



159

160

161

Fonte: Autoria própria (2021)

162 A bacia tem área de 129 hectares, e foi discretizada em 23 sub-bacias (Figura 4),
 163 considerando como critérios a rede natural de drenagem, declividade do terreno, pontos favoráveis
 164 a alagamentos, presença de passarelas e bueiros ao longo do canal e os arruamentos, uma vez que
 165 a microdrenagem na área de estudo é majoritariamente superficial. Dessa forma, os exutórios das

166 sub-bacias constituíram-se como pontos de interesse para verificação da magnitude das vazões
 167 máximas escoadas.

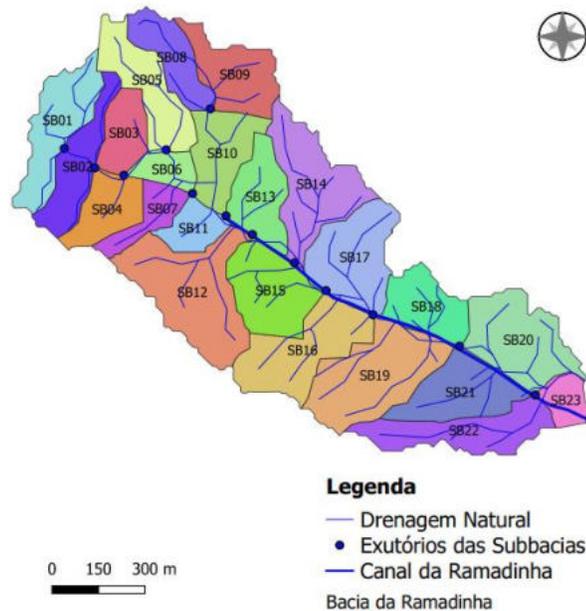
168

169

170

Figura 4: Bacia da Ramadinha e sub-bacias

Fonte: Autoria própria (2021)



171

172 2.4 Modelagem hidrológica e hidráulica

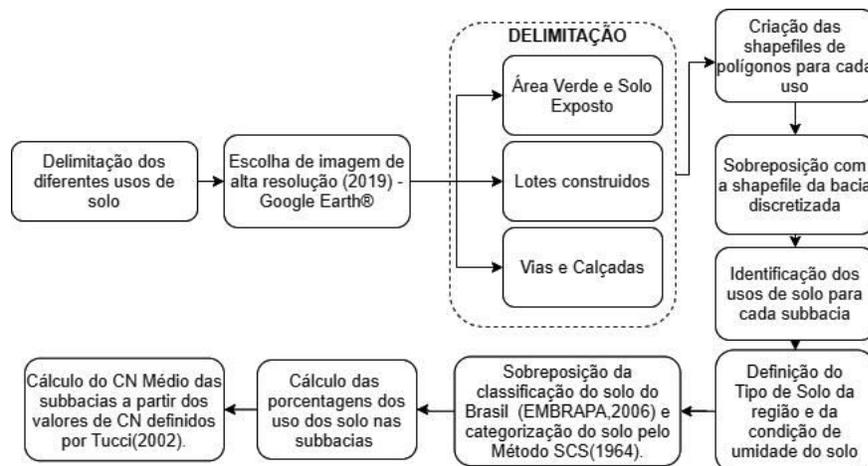
173 As simulações hidrológicas, com o intuito de quantificar o escoamento superficial, foram
 174 realizadas no modelo *Hydrologic Modeling System* – HEC-HMS. Para separação do escoamento
 175 utilizou-se o modelo do *Soil Conservation Service* – SCS (SCS, 1964) e a propagação de cheias
 176 pelo método de Muskingum. A caracterização do uso e ocupação do solo foi feita através da
 177 observação detalhada de imagens do Google Earth e do Google Street View, alternativa viável para
 178 as dimensões das microbacias. Utilizou-se o QGis 3.6 para delimitar as áreas correspondentes a
 179 cada tipo de uso do solo (áreas verdes, solo exposto, lotes construídos, vias e calçadas) e planilhas
 180 Excel para ponderação do parâmetro CN. Considerou-se o solo tipo B para bacia (EMBRAPA,
 181 2006), com condição de umidade anterior II (medianamente úmido), utilizada para estimativa da
 182 precipitação efetiva nas aplicações de projeto (SCS, 1986). As etapas de parametrização do modelo
 183 são apresentadas no fluxograma da Figura 5.

184

185

186

Figura 5: Metodologia para cálculo do CN



Fonte: Autoria própria (2021)

Os dados pluviométricos foram obtidos por meio da equação IDF proposta para Campina Grande por Aragão et al. (2000), dada na Equação 1.

$$i(\text{mm}/h) = \frac{334T^{0,227}}{(t+5)^{0,596}} \quad (1)$$

onde: i é a intensidade média da chuva máxima (mm/h), T é o período de retorno (anos); e t é a duração da chuva (minutos).

Selecionaram-se os tempos de retorno (TR) de 10, 25 e 100 anos a fim de verificar a capacidade de suporte para diferentes tormentas extremas, em consonância com as recomendações de TR para obras de macrodrenagem (DAEE/CETESB, 1980; SUDEERHSA, 2002), e a duração de 30 minutos, que corresponde ao tempo de concentração da bacia. A desagregação temporal considerou a distribuição da precipitação ao longo do evento crítico observado no dia 21/01/2020 (CEMADEN, 2020), que provocou inúmeros alagamentos e inundações no município (Tabela 1).

As vazões geradas a partir dos eventos extremos no modelo HEC-HMS foram utilizadas posteriormente para analisar a capacidade hidráulica do canal no modelo HEC-RAS. Foram usados os hidrogramas de projeto, a geometria e revestimento do canal, e perfil longitudinal com a elevação do terreno. Para sanar a incompletude do perfil longitudinal e indisponibilidade do projeto topobatimétrico, foi feita a compatibilização dos dados de projeto com informações georreferenciadas do terreno. Neste caso, para o perfil longitudinal, disponibilizado somente para o trecho inicial de 580 m, foi admitida a mesma declividade de 1,58% para extensão total do canal com 1340 m e 21,4 metros de desnível. Ademais, selecionou-se no HEC-RAS o modelo de remanso e escoamento uniforme, considerando as características do canal e da bacia.

212

Tabela 1: Dados pluviométricos das chuvas de projeto.

Chuva de Projeto				Chuva Observada	
t(min)	TR=10	TR=25	TR=100	t(min)	P(mm)
5	4,30	5,29	7,24	10	6,6
10	12,23	15,06	20,63	20	18,8
15	6,25	7,69	10,54	30	9,6
20	8,85	10,90	14,93	40	13,6
25	1,95	2,40	3,29	50	3,0
30	0,26	0,32	0,44	60	0,4
Ptotal (mm)	33,84	41,665	57,075	Ptotal (mm)	52,0

213

Fonte: Autoria própria (2021)

214

215 2.5 Avaliações de impactos sociais e desempenho institucional

216 O canal da Ramadinha possui um tecido urbano heterogêneo no seu entorno, com sua parte
 217 mais a montante na área mais precária da bacia. Há diversos problemas ambientais, menor
 218 distanciamento entre as edificações e a várzea do canal e, ao longo da sua extensão, passa por
 219 mudanças nas características ambientais, chegando numa área mais consolidada e urbanizada, com
 220 largas faixas de preservação nas suas margens.

221 Foram entrevistados moradores de diferentes áreas da bacia, para identificar como estas
 222 diferenças se relacionam com o impacto da intervenção de drenagem e urbanização da bacia no seu
 223 cotidiano. Além disto, buscaram-se moradores que residem nas proximidades dos nós de simulação
 224 do modelo ao longo do curso d'água. As entrevistas foram realizadas por chamadas telefônicas e
 225 de vídeo, necessidade decorrente da pandemia da COVID-19 que impossibilitou as visitas a campo.
 226 Foram abordadas questões acerca da ocorrência de alagamentos antes e depois da intervenção,
 227 dificuldades enfrentadas durante eventos chuvosos, manutenção da infraestrutura urbana,
 228 problemas ambientais e outras mudanças proporcionadas pela intervenção. Além disto, os
 229 moradores também classificaram os serviços urbanos disponibilizados pelo município, aos quais
 230 têm acesso, em uma escala de 1 a 5, sendo: 1-péssimo, 2-ruim, 3-regular, 4-bom e 5-excelente.

231 Os atores municipais foram selecionados de acordo com o levantamento dos integrantes das
 232 equipes técnicas que atuaram e ainda são atuantes na urbanização de assentamentos precários em
 233 Campina Grande, e mais especificamente na Bacia da Ramadinha. Eles são lotados nas Secretarias
 234 de Planejamento (SEPLAN) e de Obras (SECOB), e na Equipe de Trabalho Técnico-Social da
 235 Prefeitura. O roteiro de entrevista semiestruturada foi composto por questões abertas, com algumas

236 perguntas comuns a todos e outras personalizadas de acordo com a área de atuação. Também foram
 237 esclarecidas dúvidas que surgiram durante a análise dos projetos e da modelagem.

238

239 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

240 3.1 Avaliação do dimensionamento do canal

241 De acordo com o levantamento documental, o dimensionamento da micro e macrodrenagem
 242 da intervenção foi realizado através do Método Racional, amplamente adotado nos projetos
 243 convencionais de engenharia. Dessa forma, buscou-se verificar a capacidade hidráulica de suporte
 244 do canal para as vazões máximas obtidas pelo Método Racional e pelo modelo HEC-HMS. Os
 245 dados utilizados nos métodos são apresentados na Tabela 2.

246

247

Tabela 2: Comparação entre os dados hidrológicos utilizados

DADOS HIDROLÓGICOS	Método Racional (Memorial)	Modelagem Hidrológica
Tempo de Retorno (TR)	10 anos	10, 25 e 100 anos
Tempo de Concentração(tc)	10 min	30 min
Uso e Ocupação do Solo	Coefficiente de Deflúvio (C) = 0,6	Cn médio = 83,2
Intensidade (i)	91 mm/h	67,68; 83,33 e 114,15 mm/h
Área (Km ²)	0,378 km ²	1,29 km ²
Seção – Canal Retangular	Base-3,0 m Altura-2,5 m	Base-3,0 m Altura-2,5 m

248

249 Para verificar o impacto da diferença nos valores dos parâmetros adotados, utilizaram-se os
 250 valores calculados para aplicação do Método Racional. Dessa forma, encontrou-se uma vazão de
 251 projeto de 16,85 m³/s, aproximadamente 200% superior a vazão de projeto do memorial descritivo
 252 do projeto do canal. Essa discrepância é decorrente dos erros na definição da área e tempo de
 253 concentração da bacia no projeto. Vale ressaltar que o coeficiente de escoamento adotado pelos
 254 projetistas não corresponde à impermeabilização do solo e/ou às projeções de urbanização da bacia.
 255 Através da equação de Manning (Equação 2), verificou-se que o canal construído possui
 256 capacidade de suporte para uma vazão máxima de 42,53 m³/s.

257

$$258 \quad Q = \frac{A \cdot Rh^{2/3} \cdot \sqrt{i}}{n} \quad (2)$$

259 Q é a vazão calculada em m³/s; Rh é o raio hidráulico da seção, i é declividade do canal em m/m,

260 A é a área da seção transversal em m² e n o coeficiente de Manning.

261 Utilizando-se a Equação 2, o canal foi redimensionado, considerando a vazão máxima de
 262 16,85 m³/s, a base de 3,0 m tal como construído, e a profundidade (h) como incógnita. Um canal
 263 com seção 3,0 m x 1,30 m suportaria as vazões calculadas através do Método Racional, com uma
 264 redução de quase 50% em relação à profundidade de 2,50 m do canal construído. Houve, portanto,
 265 a superestimação das dimensões do canal, que poderia ter sido evitada com o dimensionamento
 266 correto, bem como consideração de outras particularidades, como a variação da profundidade e da
 267 largura de base ao longo do seu comprimento.

268

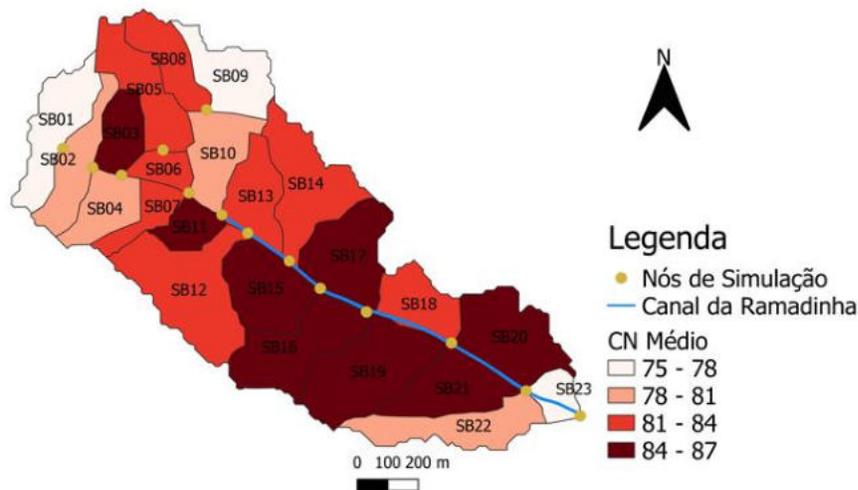
269 3.2 Simulação hidrológica e hidráulica

270 O detalhamento das condições de uso e ocupação do solo e consideração do desenho urbano
 271 heterogêneo no escoamento superficial, já que as estruturas de microdrenagem concentram-se
 272 somente na chegada das ruas transversais ao canal, permitiu a modelagem mais detalhada da bacia.
 273 A Figura 6 contém o mapa com o CN médio das sub-bacias, sendo possível notar os altos níveis de
 274 impermeabilização da bacia, sobretudo nas áreas adjacentes ao canal, que é mais fortemente
 275 urbanizada, com presença maior de áreas verdes e de solo exposto a montante.

276

277

Figura 6: Caracterização do uso e ocupação do solo da bacia pelo CN médio



278

279

Fonte: Autoria própria (2021)

280

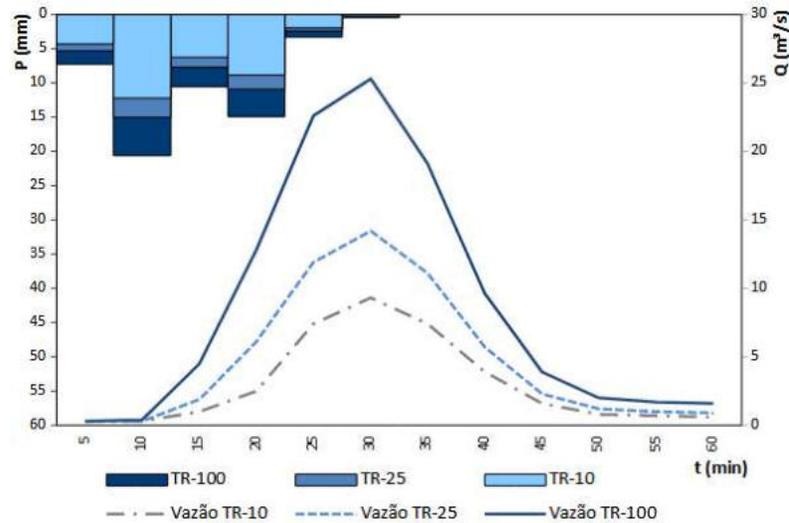
281

Após o cálculo dos demais parâmetros de entrada, os eventos foram simulados no HEC-HMS e gerados hidrogramas para cada nó de simulação. Na Figura 7 são apresentados os hidrogramas

282 no exutório da bacia e último nó da simulação, com vazões máximas de 9,3, 14,2 e 25,5 m³/s, para
 283 os eventos de projeto para os TR=10, 25 e 100 anos, respectivamente.

284

285 Figura 7: Hidrogramas de vazões máximas no exutório da bacia para os eventos de projeto



Fonte: Autoria própria (2021)

286

287

288 A fim de verificar o comportamento do escoamento das águas no canal, integraram-se as
 289 vazões obtidas pelo HEC-HMS ao modelo hidráulico HEC-RAS, bem como as informações de
 290 revestimento, geometria de seção transversal com a planície de inundação e perfil longitudinal do
 291 canal. Foram inseridas 15 seções transversais ao longo do canal, com espaçamento máximo de 120
 292 metros, com 7 destas coincidindo com os nós de simulação do HEC-HMS. No modelo de
 293 escoamento uniforme, inseriram-se as vazões máximas em cada seção/nó para cada tempo de
 294 retorno, conforme a Tabela 3.

295 Segundo os resultados obtidos com a modelagem, o canal suporta as cheias de projeto para
 296 os TR=10, 25 e 100 anos, como ilustra a Figura 8, e mostra-se coerente com os relatos dos
 297 moradores, que apontaram que não houve extravasamento sobre estrutura do canal desde a sua
 298 construção. No entanto, o canal Bodocongó, que recebe as águas do canal da Ramadinha, se
 299 configura como área de alto risco de inundações (CPRM, 2013), de modo que a transposição das
 300 vazões e problemas de alagamentos da bacia da Ramadinha aumentam o risco das comunidades a
 301 jusante.

302

Tabela 3: Vazões máximas nas seções transversais do Canal da Ramadinha

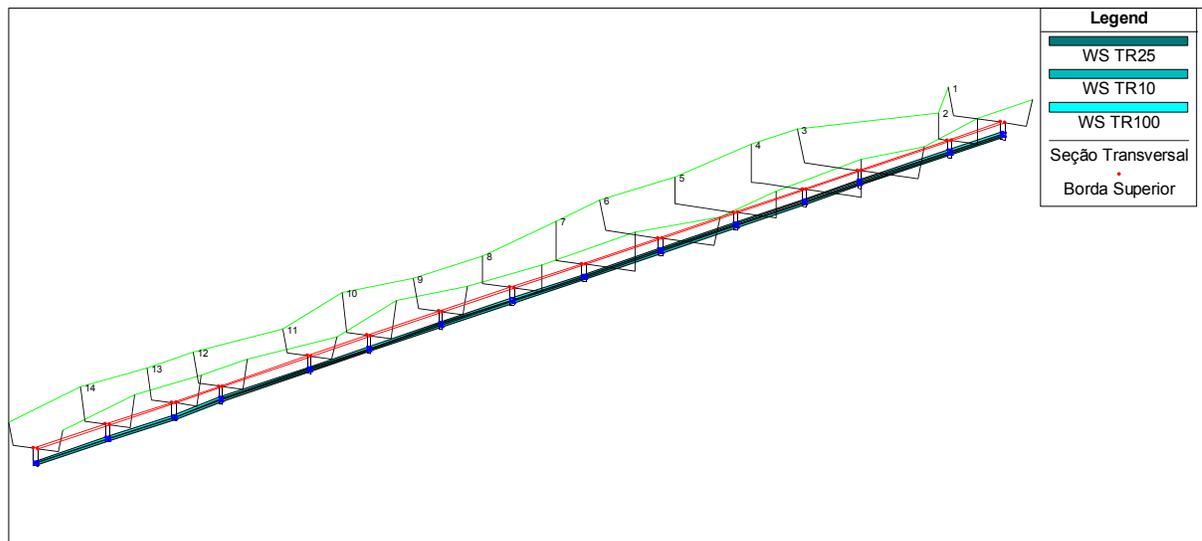
SEÇÃO	TR10	TR25	TR100
-------	------	------	-------

	Q(m ³ /s)	Q(m ³ /s)	Q(m ³ /s)
15	4,0	6,3	11,4
12	5,8	9,0	16,3
11	6,3	9,3	17,6
9	7,4	11,7	20,6
6	8,3	12,7	22,6
3	9,3	14,2	25,5
1	9,3	14,2	25,5

303

304

Figura 8: Nível d'água nas seções transversais do Canal da Ramadinha - TR=100 anos



305

306

307

308

309

310

311

312

313

314

Segundo a verificação da capacidade hidráulica (Equação 2), o canal suporta as cheias de projeto para os TR=10, 25 e 100 anos, como ilustra a Figura 8, com níveis máximos d'água de 0,66 m, 0,86 m e 1,34 m na seção final do canal para os TR=10, 25 e 100 anos, respectivamente, que correspondem a 31,40%, 40,95% e 63,80% da altura da seção do canal, considerando uma borda livre mínima de 0,40 m. Observou-se que o canal redimensionado (seção 3,0 m x 1,30 m), citado anteriormente, atenderia às vazões máximas com TR=10 e 25 anos. Para atender ao evento chuvoso com TR=100 anos, a profundidade mínima do canal seria de 1,70 m, também inferior à profundidade do canal construído. A velocidade de escoamento máxima nas seções ultrapassa o limite máximo recomendado nos manuais de projetos de drenagem urbana, de 5 m/s.

315

316

317

318

319

A avaliação das intervenções em drenagem urbana devem ir além dos critérios técnicos e de suporte da vazão das estruturas drenantes, pois apesar do canal, como medida estrutural convencional, suportar os cenários extremos, não é necessariamente indicativo de que foi adotada a solução que mais atende às necessidades da comunidade, uma vez que o problema não foi mitigado, e sim deslocado com a canalização. Para a compreensão da adequabilidade da

320 intervenção, a comunidade assume um papel fundamental, de modo que, durante o processo de
 321 modelagem, os relatos da equipe técnica foram imprescindíveis para sanar dúvidas sobre as
 322 características do canal e de sua execução, e validar os resultados obtidos, uma vez que não foi
 323 possível realizar visitas em campo e não há dados observados para calibração e validação do
 324 modelo. Estudos realizados em escala de quadra, utilizando o modelo SWMM (*Storm Water*
 325 *Management Model*), reforçam que persistem alagamentos em pontos afastados do curso d'água
 326 canalizado após as intervenções realizadas na bacia (ALVES et al., 2021).

327

328 3.3 Avaliação do desempenho institucional

329 As entrevistas com as equipes técnicas e sociais da prefeitura municipal mostraram-se
 330 imprescindíveis para compreensão das etapas de projeto e avaliação dos resultados obtidos com a
 331 urbanização e intervenções na bacia. Os principais apontamentos acerca do projeto são
 332 apresentados no Quadro 1, sendo consenso entre os entrevistados que os conflitos na
 333 desapropriação das famílias na várzea do canal consistiram em um dos principais entraves ao
 334 projeto. Ademais, a proposta foi licitada apenas com o projeto básico devido ao curto prazo
 335 disponível durante o processo licitatório, tendo sido o projeto executivo elaborado posteriormente.

336 A gestão participativa e integrada dos órgãos, secretarias e comunidade foi analisada como
 337 um indicativo da articulação ou desarticulação institucional, uma vez que a comunicação e
 338 integração das instituições influencia positiva ou negativamente na concepção, elaboração e
 339 implantação do projeto. Observou-se uma comunicação mais ativa entre as construtoras contratadas
 340 e a SECOB, enquanto a SEPLAN manteve um relacionamento mais próximo à equipe de Trabalho
 341 Técnico-Social, sendo possível notar uma segmentação dos setores envolvidos, embora houvesse
 342 comunicação entre as secretarias municipais. Quanto à participação social nos processos decisórios
 343 da intervenção, esta ocorreu fortemente relacionada às negociações das desapropriações realizadas
 344 no entorno do canal e às atividades desenvolvidas pela equipe de trabalho social.

345

346

347 Quadro 1: Considerações e apontamentos das equipes técnica e social sobre as etapas de projeto

ELABORAÇÃO	EXECUÇÃO	FISCALIZAÇÃO
O projeto objetivou a remoção de famílias de áreas de risco e melhoria da salubridade ambiental	As obras de urbanização da Região Bodocongó foram iniciadas com a elaboração do projeto executivo	A fiscalização tinha periodicidade variável.

do entorno do Canal da Ramadinha.	em andamento.	Controle feito através de fotografias, relatórios de campo e medição física mensal.
Não houve o diagnóstico prévio do assentamento precário e as obras foram licitadas a partir do projeto básico de engenharia.	As desapropriações de imóveis irregulares foram um dos entraves na execução do projeto, que foi executado em 2 etapas.	Acumulavam-se itens a serem incluídos ou modificados no projeto para se justificar o aditivo e notificar a CAIXA.
Não houve discussão técnica acerca da concepção do projeto com a equipe técnica da prefeitura após a entrega do projeto.	A implantação de microdrenagem foi condicionada pela presença ou ausência de pavimentação nas vias.	Escavações de material de 3ª categoria – rochas – não considerados no projeto, e o atraso no repasse de recursos levaram a atrasos na obra.
Aplicou-se a mesma metodologia para todos os projetos do PAC-UAP em Campina Grande.	A rede de microdrenagem concentrou-se na chegada das ruas transversais ao canal da Ramadinha.	

348

349 3.4 Percepção dos impactos sociais

350 O contexto de pandemia implicou na redução do número de entrevistados possíveis.
351 Buscaram-se moradores mais antigos, residentes em diferentes áreas ao longo do canal, para obter-
352 se respostas representativas da vivência da comunidade como um todo. Foram entrevistados 11
353 moradores, 5 mulheres e 6 homens, com faixa etária majoritária entre 40 e 50 anos. No Quadro 2
354 são apresentadas a avaliação predominante dos moradores acerca dos serviços urbanos e suas
355 considerações. Destaca-se que não foram levantadas informações oficiais dos prestadores destes
356 serviços na pesquisa.

357 Através dos relatos dos moradores foi possível mapear e comparar as áreas alagáveis antes
358 da construção do canal – 1ª etapa (2007-2012) e 2ª etapa (2017-2018) – e após a canalização. No
359 cenário anterior à intervenção, ocorreram alagamentos na várzea do canal e nos pontos mais baixos
360 das ruas transversais, com relatos de invasão de água durante as chuvas, mostrados na Figura 9.
361 Com a canalização do curso d'água sem a conclusão das obras de microdrenagem e pavimentação,
362 há continuidade de alagamentos nas ruas próximas, inclusive nas vias paralelas do canal, indicados
363 na Figura 10. Há também entrada de água em residências próximas ao canal, nas ruas que ainda
364 não foram beneficiadas com a implantação de bocas de lobo para coleta das águas pluviais e
365 pavimentação, favorecendo situações de insalubridade ambiental. Em algumas residências,
366 localizadas nos pontos baixos das ruas, os moradores construíram barreiras nas portas, instalaram
367 tubulações nas calçadas e/ou aterraram a construção (Figura 11), como medidas de proteção contra
368 a entrada de água durante chuvas intensas, necessárias mesmo após a construção do canal.

369

370

Quadro 2: Avaliação dos serviços urbanos pelos entrevistados

SERVIÇOS URBANOS	AVALIAÇÃO	CONSIDERAÇÕES DOS ENTREVISTADOS
Abastecimento de água	Bom a Excelente	<ul style="list-style-type: none"> • Intermitência no fornecimento de água, agravada no período de racionamento (2015-2017) - Moradores da Ramadinha II.
Esgotamento sanitário	Regular a Bom	<ul style="list-style-type: none"> • Esgotamento sanitário aparente em algumas ruas, principalmente na área mais carente da bacia. • Contribuição de esgotamento sanitário no canal de drenagem. • Extravasamento de poços visita, bem como tubulações rompidas frequentemente durante eventos chuvosos.
Coleta de resíduos	Bom a Excelente	<ul style="list-style-type: none"> • Apesar da coleta de resíduos regular, os depósitos irregulares em terrenos baldios persistem.
Iluminação pública	Bom a Excelente	<ul style="list-style-type: none"> • A principal área indicada como carente de iluminação corresponde às vias paralelas ao canal na Ramadinha II.
Vias de circulação de pedestres	Bom a Excelente	<ul style="list-style-type: none"> • Não há padronização das calçadas, com diferenças de altura, e pedestres caminham na via de veículos. • Calçadas regulares no bairro Severino Cabral.
Transporte público	Excelente	<ul style="list-style-type: none"> • Bom atendimento em relação ao número de ônibus, mas há falhas na distribuição dos pontos de parada.
Limpeza urbana	Inexistente	<ul style="list-style-type: none"> • Não há serviços de varrição das ruas.
Áreas verdes	Excelente	<ul style="list-style-type: none"> • Número considerável de áreas verdes próximas às residências, sendo a mais significativa nas margens do canal da Ramadinha.
Áreas de lazer	Regular	<ul style="list-style-type: none"> • Faltam opções de lazer, e as existentes (campo de futebol e academias públicas em praças) não são distribuídas uniformemente.
Drenagem pluvial das vias	Bom a Excelente	<ul style="list-style-type: none"> • As obras micro drenagem e pavimentação sanaram os problemas no escoamento das chuvas para a maior parte dos entrevistados. • Moradores das partes mais baixas da bacia próximas ao canal relataram a necessidade de instalar barreiras na entrada das casas.

371

372

Figura 9: Áreas alagáveis identificadas por moradores antes da intervenção



373

374

Figura 10: Áreas alagáveis identificadas por moradores após a intervenção



375

376

Figura 11: Medidas de proteção contra água de chuvas nas residências



377

Fonte: Acervo pessoal dos moradores (2021)

378

379 **4. CONCLUSÕES**

380

381 As análises apresentadas neste artigo permitem concluir que a abordagem integrada das
 382 intervenções em assentamentos precários se configura como ferramenta apropriada para avaliação
 383 realista da adequabilidade e desempenho das soluções urbanísticas e de drenagem urbana adotadas
 384 na urbanização dessas áreas. A avaliação integrada trouxe, à avaliação da eficácia das intervenções
 385 de urbanização de assentamentos precários, informações novas que contribuem à concepção de
 386 novos projetos e mitigação dos problemas remanescentes em projetos já implantados.

387

388 No caso da Bacia da Ramadinha, são elevados os índices de impermeabilização do solo. A
 389 capacidade hidráulica do canal construído foi superdimensionada, de modo que um canal menor
 390 atenderia às vazões máximas de projeto, reduziria os custos econômicos da intervenção e
 391 possibilitaria a aplicação dos recursos em outras medidas alternativas e/ou não estruturais. As
 392 soluções de drenagem seguiram a concepção tradicional de canalização e distanciamento das águas.
 393 O desempenho hidráulico da infraestrutura implantada não pode ser considerado como único
 394 indicativo do sucesso da intervenção, embora tenha contribuído para mitigação dos alagamentos
 395 no fundo do vale.

396

397 A partir da percepção social da comunidade, conclui-se que a melhoria das condições de
 398 salubridade ambiental, urbanísticas e sociais do assentamento foram alcançadas de maneira
 399 desigual na bacia. Parte da população segue enfrentando condições insalubres e alagamentos
 400 durante eventos chuvosos mais intensos. Os atrasos e paralisações das obras, decorrentes de
 entraves políticos e falhas institucionais, contribuíram para a continuidade de problemas
 ambientais, como a presença de depósitos de lixo nas margens do canal, proliferação de vetores de
 doenças, erosão do solo e a deterioração das obras já finalizadas.

401 Destaca-se a importância de se considerar a percepção social dos moradores para uma visão
 402 integrada da intervenção e o papel crucial da participação comunitária para que sejam entregues os
 403 melhores resultados possíveis à comunidade. Esse papel fica claro ao observar-se demandas atuais,
 404 como a de equipamentos públicos de lazer, tais como praças e academias, que não fazem parte do
 405 escopo da intervenção de urbanização, mas poderiam ter sido integradas, aliando as funções de
 406 drenagem e de lazer, através da adoção de técnicas compensatórias de drenagem sustentável
 407 articuladas a propostas urbanísticas para ampliação de espaços livres públicos.

408

409 **AGRADECIMENTOS**

410 Este trabalho teve o apoio do CNPq e dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT)
 411 Observatório das Metrópoles e Mudanças Climáticas. É parte do projeto em rede “A dimensão
 412 ambiental e as infraestruturas na urbanização de favelas: concepções de projeto, formas de
 413 produção das redes e especificidades dos assentamentos precários”. Os autores agradecem a
 414 contribuição dos demais pesquisadores do projeto.

415 **REFERÊNCIAS**

- 416 ADELEKAN, I. O.; ASIYANBI, A. P. Flood risk perception in flood-affected communities in Lagos,
 417 Nigeria. *Natural Hazards*, v.80, n.1, 2016, p.445-469.
- 418 ADELEKAN, I. O. Vulnerability of poor urban coastal communities to flooding in Lagos, Nigeria.
 419 *Environment and Urbanization*, v.22, n.2, 2010, p.433-450.
- 420 AKINBOADE, O.A.; KINFACK, E.C.; MOKWENA, M.P. An analysis of citizen satisfaction with
 421 public service delivery in the Sedibeng district municipality of South Africa. *International Journal of*
 422 *Social Economics*, v.39, n.3, 2012, p. 182-199.
- 423 ALVES, L. G. F.; GALVÃO, C. O.; SANTOS, B. L. F.; OLIVEIRA, E.F.; MORAES, D.A. Modelling
 424 and assessment of sustainable urban drainage systems in dense precarious settlements subject to flash
 425 floods In: *SimHydro 2021: Models for complex and global water issues - Practices and expectations*,
 426 2021 (submetido).
- 427 BALBIM, R.; KRAUSE, C.; BECKER, M. F.; LIMA NETO, V. C. CASSIOLATO, M. M.; ANDRADE,
 428 C. C. *Metodologia de Avaliação de Resultados: O Caso das Intervenções do Pac Urbanização de*
 429 *Favelas*. Brasília: Ipea, 2013. (Texto para Discussão, n. 1.903).
- 430 BRUECKNER, J.; MATION, L.; NADALIN, V. Slums in Brazil: Where are they located, who lives in
 431 them, and do they ‘squeeze’ the formal housing market? *Journal of Housing Economics*, v.44, 2019, p.
 432 48-60.
- 433 CAMPINA GRANDE. *Lei complementar N° 003, de 09 de outubro de 2006*. Promove a revisão do
 434 Plano Diretor do Município de Campina Grande, 2006.
- 435 CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Pluviômetros
 436 Automáticos. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/pluviometros-automatico/>> Acesso em:
 437 20/05/2020.

- 438 CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Ação Emergencial para Delimitação de Áreas*
 439 *em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa*. Campina Grande, Paraíba, 2013.
- 440 DAEE/CETESB. *Drenagem Urbana* 2 ed., São Paulo, 1980, 486 p.
- 441 DENALDI, R.; MORETTI, R.; PAIVA, C.; NOGUEIRA, F.; PETRAROLLI, J. Urbanização de favelas
 442 na Região do ABC no âmbito do Programa de Aceleração do Crescimento-Urbanização de
 443 Assentamentos Precários (PAC-UAP). *Cadernos Metrópole (PUCSP)*, v.18, n.35, 2016, p.101-118.
- 444 EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema Brasileiro de*
 445 *Classificação de Solos*. EMBRAPA Solos. 2ª ed. Brasília, 2006, 306p.
- 446 IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Dados censitários, 2010. Disponível em:
 447 <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>> Acesso em: 25.09.2020.
- 448 IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. População da cidade de Campina Grande.
 449 Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/campina-grande/panorama>> Acesso em:
 450 05.11.2020.
- 451 JIANG, Y.; ZEVENBERGEN, C.; MA, Y. Urban pluvial flooding and stormwater management: A
 452 contemporary review of China’s challenges and “sponge cities” strategy. *Environmental Science &*
 453 *Policy*, v.80, 2018, p.132-143.
- 454 MONTEIRO, F. A. Análise das condições de moradia e do meio ambiente em assentamentos precários
 455 da região metropolitana de Curitiba a partir do PAC habitação. *Rev. Tamoios*, v.15, n.2, 2019, p. 73-99.
- 456 NKWUNONWO, U. C.; WHITWORTH, M.; BAILY, B. A review and critical analysis of the efforts
 457 towards urban flood risk management in the Lagos region of Nigeria. *Natural Hazards and Earth*
 458 *System Sciences*, v.16, n.2, 2016, p. 349-369.
- 459 O’DONNELL, E. C.; THORNE, C. R. (2020) Drivers of future urban food risk. *Phil Trans R Soc.*
 460 v.378, n.2168, 2020.
- 461 OLIVEIRA, E. F. Panorama do PAC UAP em Campina Grande – PB. *Trabalho de Conclusão de Curso*.
 462 Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2019.
- 463 PEDROSA, R. N. Avaliação pós-ocupação sob o aspecto do saneamento ambiental em área de interesse
 464 social urbanizada no município de Campina Grande. *Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-*
 465 *Graduação em Engenharia Civil e Ambiental*, Universidade Federal de Campina Grande, Campina
 466 Grande, Paraíba, 2014.
- 467 SCHÄFER, E. F.; GOMIDE, F. P. B. Avaliação Pós-Ocupação do conjunto habitacional Moradias
 468 União Ferroviária Bolsão Audi/União, Curitiba (PR). *Eng Sanit Ambiental*, v.19, 2014, p. 155-164.
- 469 SCS-Soil Conservation Service. Estimation of direct runoff from storm rainfall. In: *National*
 470 *Engineering Handbook*. USDA, Washington D.C., 1964, pp. 1-22.
- 471 RAMALHO, P. B.; RUFINO, I. A. A.; DJORDJÉVIC, S.; JAVADI, A.; COSTA, A. K. S. Abordagem
 472 socioambiental para a calibração de modelos de alagamentos. In: *XIII ENAU 2020 e III Simpósio de*
 473 *Revitalização de Rios Urbanos*, Anais... Porto Alegre-RS, 2020, p.1-10.
- 474 WANG, Y.; CHEN, A. S.; FU, G; DJORDJEVIĆ, S.; ZHANG, C.; SAVIĆ, D. A. An integrated
 475 framework for high-resolution urban flood modelling considering multiple information sources and
 476 urban features. *Environmental Modelling & Software*, v. 107, 2018, p. 85 – 95.

APÊNDICE C

MODELLING AND ASSESSMENT OF SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS IN DENSE PRECARIOUS SETTLEMENTS SUBJECT TO FLASH FLOODS

Luma Gabriela Fonseca Alves^{1 2}
lumagabriela2010@hotmail.com

Carlos de Oliveira Galvão¹, Bervylly Lianne de Farias Santos¹
carlos.galvao@ufcg.edu.br, bervylly.santos@gmail.com

Eldson Fernandes de Oliveira¹, Demóstenes Andrade de Moraes¹
eldsonoliveira@gmail.com, damoraes6@gmail.com

¹Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 58429-900, Brazil

KEYWORDS

Brazil, SWMM, urban planning, urban design, flooding

ABSTRACT

In developing countries, dense, precarious, and informal settlements are common. In the tropics, the occurrence of intense rainfall and the increased impervious surfaces have led to disastrous flash floods. Sustainable urban drainage systems (SUDS) are an alternative to enhance stormwater management and runoff control, providing benefits related to social and environmental domains. However, the manner in which solutions in urban drainage are implemented can impact in distinct ways the urban fabric. This study identifies priority sub-catchments and their different spatial patterns of land use, as well as strategic locations for intervention, in order to ground the development of procedures for SUDS implementation for mitigate flooding, also maximizing the urban benefits for the entire catchment. We present a modeling framework of SUDS implementation, using the Storm Water Management Model (SWMM) to simulate different SUDS scenarios. An application to a small catchment in Brazil considered permeable pavements, bioretention systems, infiltration trenches, and rainwater harvesting systems, introduced both in public and private areas. The results demonstrate that SUDS measures implemented in public spaces, although may increase access to public facilities, are not enough to completely avoid flooding in the denser parts of the catchment. In such cases, measures must be implemented in private lots due to the reduced amount of available public spaces. Such evidence shows that one of the key elements for flash floods management in consolidated dense and precarious urban settlements is the integration between SUDS measures and the mobilization and engagement of local inhabitants in planning and decision-making.

1. INTRODUCTION

In the developing world, rapid, increasing, and frequently unplanned urbanization leads to the formation of large impervious surface areas, that allied to the occurrence of flash floods during extreme precipitation events, can aggravate local flooding and create significant problems downstream due to faster runoff, overwhelming traditional and highly centralized drainage systems and highlighting persistent failures in grey infrastructures based on the 19th-century sanitary philosophy [1]. During such events, entire communities are harassed by flooded roads and pathways, making walking and vehicle

² Corresponding author

access difficult for some, while run-off from roads and paths pour into the houses of others, causing problematic circumstances [2].

In informal and precarious settlements, which can be seen as another outcome of the unequal and unplanned urbanization in developing countries, flooding problems are even more remarkable due to the socioeconomic vulnerability, high dense occupation patterns and lack of basic infrastructure services, as well as the presence of houses in vulnerable locations, such as floodplains [3]. However, precarious settlements are often neglected and not considered as an integral part of the city, excluding their residents from the right to the city and its services [4]. Furthermore, in most cases there are attempts of implementing, in the informal and high dense settlements, successful social and technical approaches for developed areas without considering their particularities, which can lead to disastrous failures, once any intervention in such areas must be adapted thoughtfully to their particular social, environmental, and occupation characteristics [2].

In contrast to the traditional and highly centralized grey infrastructure, the sustainable urban drainage systems (SUDS) have emerged as a preferred alternative to enhance stormwater management and runoff control by capturing it at its source, through the processes of evapotranspiration, infiltration, and detention, approximating the hydrological cycle from its natural conditions [5, 6]. As a result, SUDS measures and techniques can help to enhance the urban landscape, reducing flooding vulnerability throughout the catchment, and aggregating benefits related to social and environmental aspects [6]. A range of SUDS techniques can be applied both in public and private spaces, such as permeable pavements, bioretention systems, infiltration trenches, and rainwater harvesting systems. However, their effectiveness will strongly depend on the characteristics of their locations. According to Silveira (2002) [1], these types of modern urban drainage solutions are applicable in developing countries and consolidated areas only if they explore spaces still available or under-utilized. It is important to note that SUDS will not behave the same in all types of spaces. This is why it is necessary to develop urban planning involving SUDS measures based on the community's and catchment's needs and stakeholders' context [7]. Otherwise, all the efforts for their implementation may be in vain due to lack of maintenance, functionality, and citizen engagement.

The trend observed in SUDS allocation is implementing them in places with a good and already adequate urban infrastructure, or in areas not yet consolidated, which facilitates the process due to space availability and possibility of integration with urban planning since its conception. Some research has been done to identify potential areas for SUDS implementation in already consolidated urban catchments using the analysis of the physical, urban and socioeconomic variables [7]. However, few studies have focused their attention on SUDS implementation in precarious settlements considering their urban heterogeneity and highlighting the difficulties to model the impacts of extreme events in these areas [8].

SUDS can motivate residents to environmental protection [9], since they are decentralized solutions applied on a local scale and involving several stakeholders. Such characteristics enable the local community to take a leading role in the processes of planning and decision making, in contrast to the lack of community participation observed in traditional implementation of drainage systems. Jiusto & Kenney (2015) [2] highlight that social participation is much more important to urban drainage planning in informal settlements than in developed areas, because their communities' members are the main active agents of interventions in their urban space.

Modeling rainfall-runoff events to identify susceptible areas for flooding and the effectiveness of SUDS interventions in highly dense informal and precarious settlements may be challenging. It requires a significant level of detail and careful spatial observation, due to their unique patterns of occupation and land use, markedly different from the surrounding areas, with varying sizes of lots. Divergence from the normative legislation and lack of data result in a considerable challenge to the process of planning and decision making. Moreover, the absence of some drainage elements throughout these areas, such as underground pipeline network and storm sewer conduits, impairs the parametrization of the model used to simulate urban flooding.

For an integral approach to select and model flooding mitigation measures, this article presents a SUDS modeling framework suited to precarious informal settlements and low-income communities.

The approach is applied to a suburban catchment in a Brazilian city. Flooding susceptible areas as well as suitable locations for SUDS measures implementation were identified, based on spatial patterns of urban configuration. The effectiveness of the alternative measures was analyzed and evaluated through hydrological and hydraulic modeling simulations.

2. CASE STUDY

The area of study is located in Campina Grande, a city in Northeastern Brazil that faced rapid urbanization and a remarkable increase of impervious surface within the last few years. Furthermore, informal and precarious settlements of low-income communities are affected by flooding problems that are aggravated due to high socioeconomic vulnerability, high dense occupation patterns, and basic infrastructure deficits. The Ramadinha catchment is one of such areas (Figure 1). It has about 2.4 km of streams over an urban area of 1.29 km². It is a highly dense area characterized by a predominantly residential occupation, with a lack of infrastructure and public facilities. In recent years, infrastructure works were planned in the delimited precarious settlements of the municipality, aiming to eliminate the risks caused by floods and inundations to which the communities were exposed. One of these interventions took place at the Ramadinha Catchment, where a concrete canal was constructed along the main catchment stream.

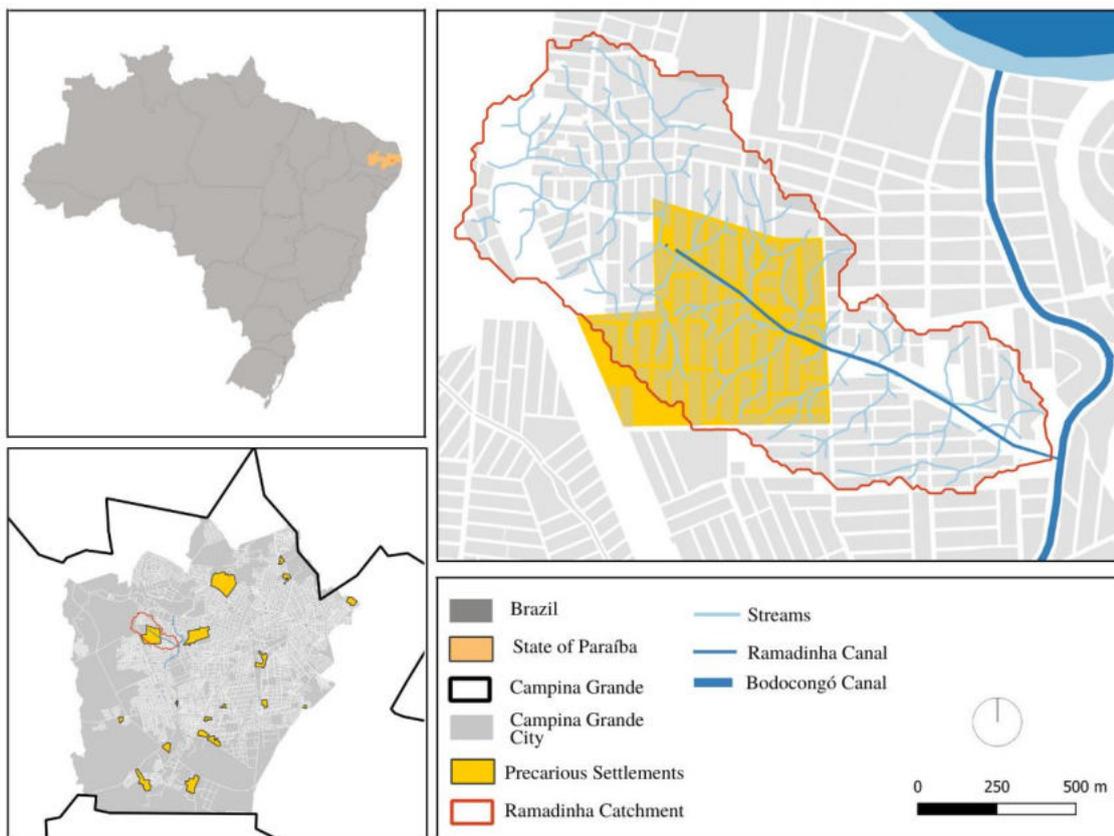


Figure 1: Case study location and main elements of the Ramadinha Catchment

Although the canal construction played an important role in mitigating the flooding vulnerability at the Ramadinha catchment, the flooding issues still persist in some areas. The community still faces significant challenges regarding the lack of proper infrastructure, such as paved roads, appropriate sidewalks, pedestrian spaces, public facilities, and green and open spaces for social interaction. Besides, many houses do not present setbacks from the roads (Figure 2), which increases the chances of the runoff from roads and paths pour into the houses. This problem has led, in some areas of the catchment, residents to build barriers to protect their houses against the entrance of water, as shown in Figure 3.



Figure 2: Houses without setbacks from roads. Source: Google Earth [10]



Figure 3: Improved barriers to protect households against the entrance of water during stormwater events. a) Rubble barriers, b) and c) Brick masonry barriers in the house's front door. Source: a) Google Earth [10], b) and c) Photos taken by the catchment's inhabitants in 2021

Such provocative challenges, along with the fact that urban patterns and configuration are not homogeneous throughout the catchment, were the main reasons that made the Ramadinha Catchment appropriate for this study. It faces problems that may be overcome by the multiple benefits that decentralized solutions, such as SUDS implementation, bring to the catchment and the community, considering the variety of urban spaces characteristics and the possibilities of a more participatory social engagement.

3. URBAN CONFIGURATION AND COMPONENTS

The urban space presents different arrangements of urban structure, with varying patterns of vegetated and impervious surface cover, a mixed configuration of building forms, greenspace configurations, street network patterns, and distribution of public and private open spaces. Such arrangements affect stormwater runoff generation and propagation, the quality of life of the inhabitants and the appropriate approach to mitigate such issues, including the allocation of SUDS measures and techniques. The diversity of the urban configuration and land cover can be analyzed in several scales, “from the city scale to a single land unit” [11].

In the case of the Ramadinha Catchment scale, some urban components are of more importance: streets network and pavements, sidewalks configuration, public and private parking areas, side roads, public green and open spaces (parks, squares and open spaces inside government institutions, such as public schools and hospitals), empty spaces and vacant lots with potential to be converted into public social interaction spaces, and pervious and open spaces inside private lots (residential and business lots). These components can play an essential role for the approach needed for the implementation of SUDS.

Taking this into account, we identified four Urban Configuration types throughout the Ramadinha Catchment (Figure 4). They present different urban densities, layouts of open spaces, and urban components available to implement SUDS measures. Such heterogeneity makes the analysis of these different spatial configurations even more important to evaluate SUDS suitability and effectiveness in the urban space.

Urban Configuration 1 is an area characterized mainly by regular building configuration, density attenuation due to the presence of public open spaces, similar configuration to the catchment surroundings and the presence of paved roads and regular sidewalks in almost all its extension. Urban Configuration 2 is the area delimited by the precarious settlement at the catchment. It presents a high building density, absence of open public spaces, and very few areas with the potential to be converted into public green spaces. It is composed mainly of unpaved roads along with the absence of sidewalks, which may increase the vulnerability of households to flooding, once most of the houses do not present a setback from the streets. Urban Configuration 3 is composed of a regular building form. It presents a high building density in some areas but large unoccupied spaces in others. Besides, it is composed of paved roads and regular sidewalks throughout all its extension. Urban Configuration 4 is characterized by an irregular building form with low density and a significant quantity of empty spaces with the potential to be converted into green areas, along with the presence of unpaved roads and absent or irregular sidewalks, also increasing the vulnerability of households to flooding, once most of the houses don't present a setback from the streets.

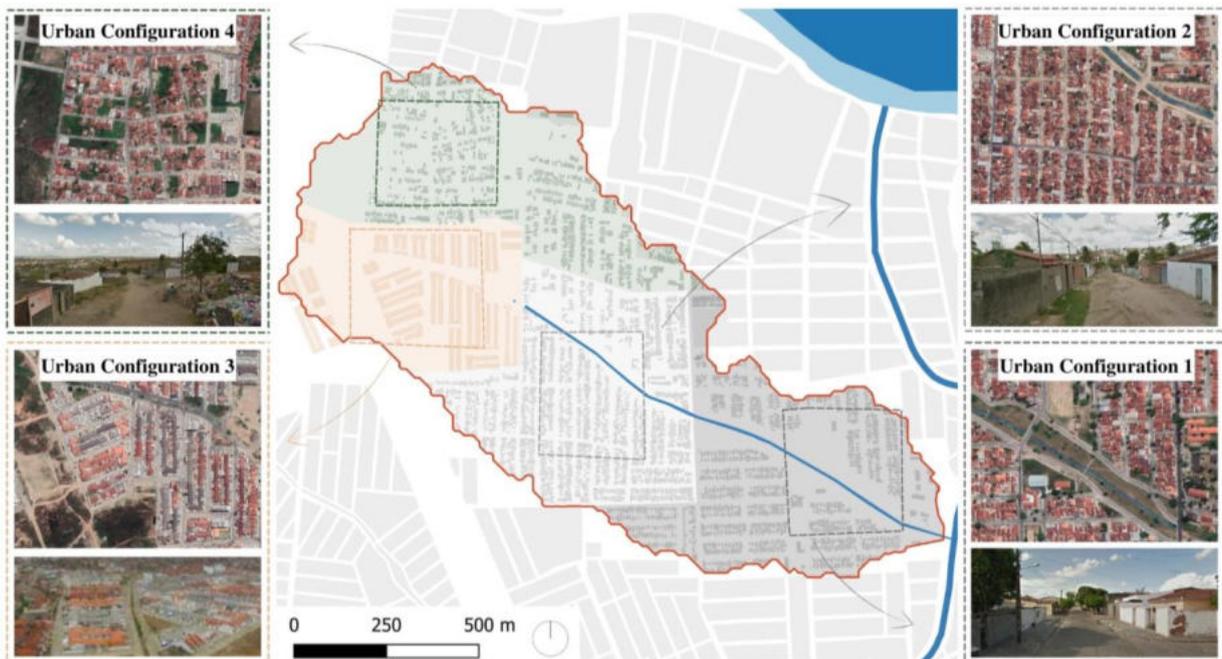


Figure 4: Urban Configurations identified throughout the Ramadinha catchment. Source: Google Earth [10]

4. METHODOLOGY

4.1. Storm Event

Extreme rainfall events in the region are mostly generated by convective storms, with short duration. For this study, we selected the heaviest rainfall event capable of producing flash floods in the Ramadinha Catchment in the year 2020, which resulted in 60 mm of precipitation during approximately one hour (Figure 5).

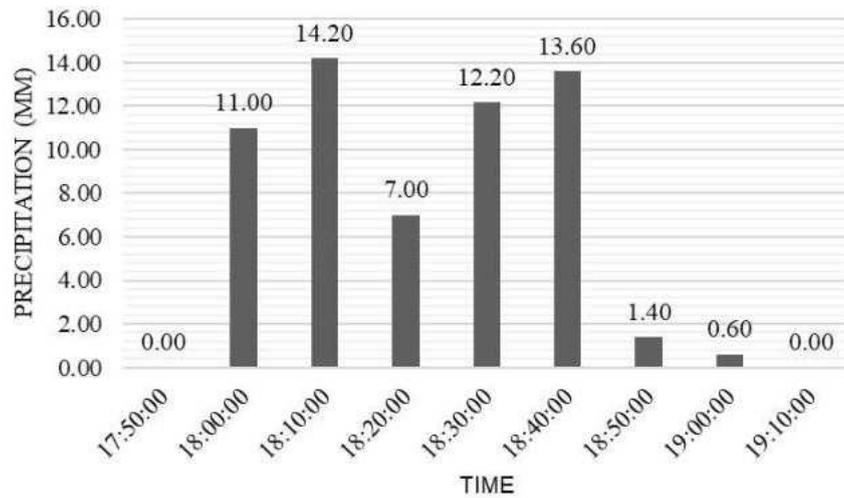


Figure 5: Intense rainfall event. Source: CEMADEN (2020) [12]

4.2. Selection of SUDS Measures

Four types of SUDS measures were taken into account for determining the potential areas for implementation: bioretention systems, permeable pavements, infiltration trenches and rainwater harvesting systems. These techniques were chosen considering that they can be more easily implemented in already established areas and housings, and considering the socio-economic profile of the inhabitants of the catchment, since they present a low level of complexity in their maintenance and installation [13]. Besides, these SUDS measures can be integrated into areas that could potentially be transformed into social interaction spaces and, thus, appropriated by the community [13].

4.3. Suitable Places for SUDS Implementation

The implementation of SUDS throughout the Ramadinha Catchment was analyzed according to the specific characteristics of the urban space (configuration and urban components identified for the catchment) and the physical condition of the area (slope): i) Permeable pavements (PP): at absent and irregular sidewalks, parking lots (including private areas with large paved surfaces for parking areas), and unpaved low traffic roads and areas where the slopes are smaller than 10% [14]; ii) Bioretention systems (BS): at green and open spaces (parks, squares and open spaces inside government institutions), empty spaces, vacant lots with the potential to be converted into social interaction spaces, pervious open private spaces inside residential and commercial lots, and areas where the slopes are smaller than 20% [13]; iii) Infiltration trenches (IT): at side roads and areas where the slopes are smaller than 5% [13]; iv) Rainwater harvesting systems (RH): at all the buildings (residential, commercial and institutional) with the availability of open space within the catchment. A rainwater harvesting system with tanks with a total capacity of 200 liters was assumed for simulation. RH has the potential to reduce stormwater runoff and increase water supply for indoor usages [15], and have been widely used in the city, which faces water supply shortages during the frequent droughts in the region.

Parking areas, unpaved roads, absent and irregular sidewalks, side roads, parks, squares, and empty spaces were identified as georeferenced polygons and lines with the aid of a highly quality orthophoto and registry information [16]. For open space analysis inside lots (both public and private), the building area was subtracted from the total lot area, obtained by the buildings vectorization [17]. The slopes were calculated from a digital elevation model with 2 m resolution accuracy. In summary, the urban components used to identify the suitable areas for each SUDS technique, both in public and private spaces, are shown at Table 1

		Permeable Pavement	Infiltration Trenches	Bioretention Systems	Rainwater Harvesting Systems
Physical Aspects	Slope (< 5%)		X		
	Slope (< 10%)			X	
	Slope (< 20%)	X			
Urban Aspects (Public)	Parking areas	X			
	Absent and irregular sidewalks	X			
	Unpaved roads	X			
	Side roads		X		
	Parks and squares			X	
	Empty spaces and vacant lots with potential to be converted into social interaction spaces			X	
	Open spaces inside government institutions			X	X
Urban Aspects (Private)	Parking areas	X			
	Open spaces inside residential and commercial lots			X	X

Table 1: Urban components needed for each type of SUDS

4.4. SUDS Management Scenarios

SUDS scenarios were composed based on iterative simulation by SWMM in order to evaluate the reduction of flooding vulnerability throughout the catchment, according to the different levels of suitable urban spaces (public and private spaces) for SUDS implementation. First, permeable pavements were located in public spaces. In the case of non-occurrence of complete mitigation of flooding vulnerability at the catchment, other scenarios composed of infiltration trenches, followed by bioretention and rainwater harvesting systems were located, as shown at Figure 6.

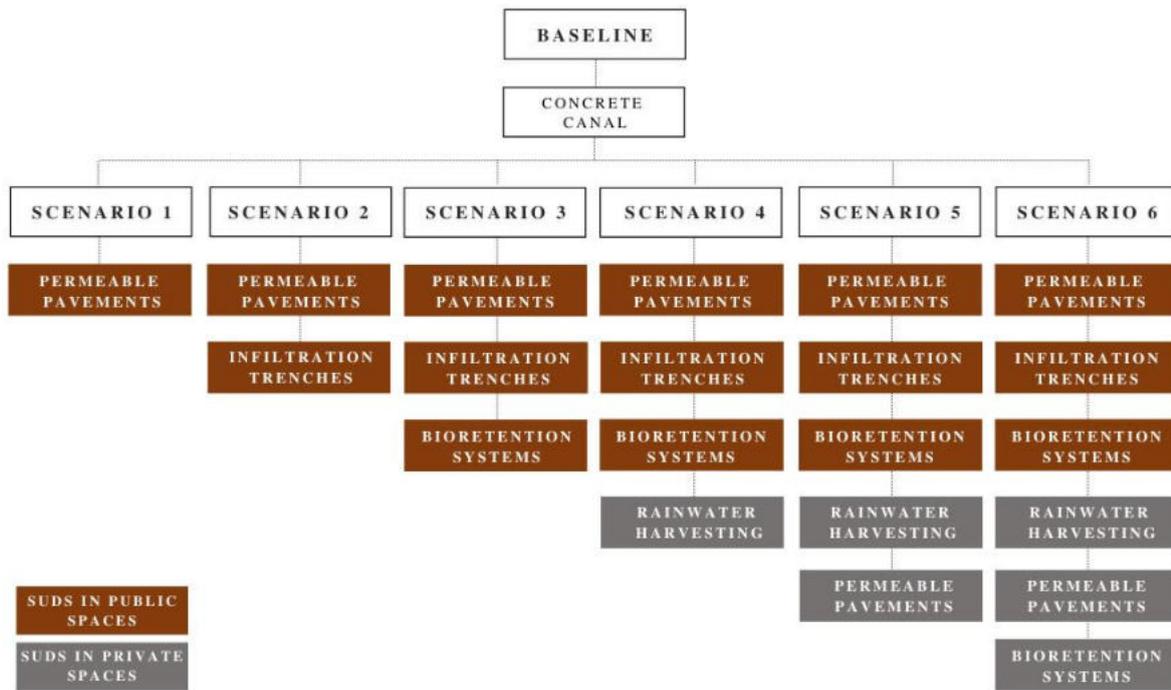


Figure 6: SUDS management scenarios.

4.5. SWMM Model Parameterization

SWMM is a well-known dynamic rainfall-runoff and hydraulic simulation model developed by the US Environmental Protection Agency, frequently used for simulating urban flooding [18]. SWMM only considers flow within closed or open pipes. Then, for modeling Ramadinha Catchment, the streets were assumed as rectangular open canals, and junctions as points scattered along them, since the runoff propagation in the study area occurs over the roads, until reaching the concrete canal, due to the absence of micro drainage infrastructure. The parameterization of the current land use and occupation, representing the patterns of lots and streets that determine runoff propagation, took into account several physical characteristics of the catchment.

To obtain a greater level of detail of the study area, the catchment was discretized according to the boundaries of each block, which included the streets which contribute to the flow propagation, totaling 199 sub-catchments. For each sub-catchment, area, slope, flow direction, imperviousness and width were determined. The infiltration process throughout the sub catchments was modelled using the Curve Number (CN) method. The average terrain slope and flow direction vectors were measured using a digital elevation model with 2 m resolution accuracy. Each sub-catchment slope was calculated as an area-weighted average and its values range from 2% to 24%. The percentage of the impervious area for each sub-catchment was defined based on visual analysis of orthophotos, where it was differentiated the impermeable areas, constituted by constructed areas and paved roads, from the permeable areas, constituted by unpaved roads, green and open spaces, and permeable spaces inside the private lots. The values of imperviousness for each sub-catchment range from 3% to 80%. Width was calculated for each sub-catchment with the expression suggested by Collodel (2009) [19].

The model was parameterized to identify flooding whenever water depth exceeds a particular value above street level which makes walking and vehicle access difficult, also entering the houses. This maximum depth varies according to the streets' characteristics, and it is shown in Table 2, along with the Manning roughness coefficient for different surface areas and the depth of depression storage.

SWMM can be used to analyze the effect of SUDS techniques at the catchment, which will “capture surface runoff and provide some combination of detention, infiltration, and evapotranspiration to it” [18]. Therefore, through alterations in the catchment parameters and using the appropriate SUDS data in the simulation model [13,18,20], it was possible to evaluate the effectiveness of the selected SUDS techniques. Besides, in this article, SUDS measures were placed in the existing sub-catchments working in parallel, each one “treating a different portion of the runoff generated from the fraction of the sub-catchment without SUDS measures” [18].

Parameter	Area	Value
Manning Roughness	Impervious	0,015
	Pervious	0,13
	Concrete Canal	0,02
Depth of depression storage (mm)	Impervious	1,27
	Pervious	2,54
Minimum Water Depth to cause flooding(m)	Unpaved Streets	0,05
	Paved Streets	0,1

Table 2: Parameters of the SWMM model. Source: McCuen et al. (1996) [21], ASCE (1992) [22]

5. RESULTS AND DISCUSSION

5.1. The Suitability of the Catchment for SUDS Implementation

Figure 7 shows the spaces suitable for each SUDS technique, and Figure 8 shows the percentage of SUDS suitability for each Urban Configuration type (UC), throughout the catchment. For public space, bioretention systems were the most suitable SUDS for all the Urban Configuration types, except for UC 2, which presents only 3.5% of its area suitable for this measure. This UC is characterized by a high building density, with absence of open public space, and very few unoccupied areas with potential to be converted into green spaces. In contrast, UC 2 is the most suitable area for implementing permeable pavements, with 15.8% of suitability, because it presents a significant quantity of unpaved roads and absent sidewalks. In this way, future interventions aiming to improve urban mobility can consider the use of permeable pavements techniques, which could improve urban infrastructure and enhance flooding mitigation.

The low suitability of permeable pavements in UC 3 (only 1.1%) lies in the fact that this area is covered by paved roads and regular sidewalks throughout almost all of its extension, presenting already good infrastructure in the urban mobility domain. For the public SUDS interventions analyzed, the least suitable technique, with less than 2% of suitability for all the UCs, is the infiltration trenches. Although it did not present relevant urban restrictions, its use was limited by the slope values in the catchment, mainly at UC 3 and 4, which shows ranges of slope greater than 5%.

For private spaces, the most suitable SUDS technique for all the UCs is the rainwater harvesting system, which does not require the availability of vast spaces and, as a consequence, it can be integrated even in the denser areas of the catchments, such as UC 2 and 3. Also, bioretention systems have a great potential to be applied in private lots throughout all the catchment, including UC 2, with 25.1% of suitability for this technique in private areas, in contrast with only 3.5% for the public spaces. This fact emphasizes the importance of considering interventions inside the private lots in the denser parts of the catchment. However, the potential areas for permeable pavements in private spaces are almost zero because of the reduced availability of the urban component analyzed to implement it (private parking areas) throughout the catchment.

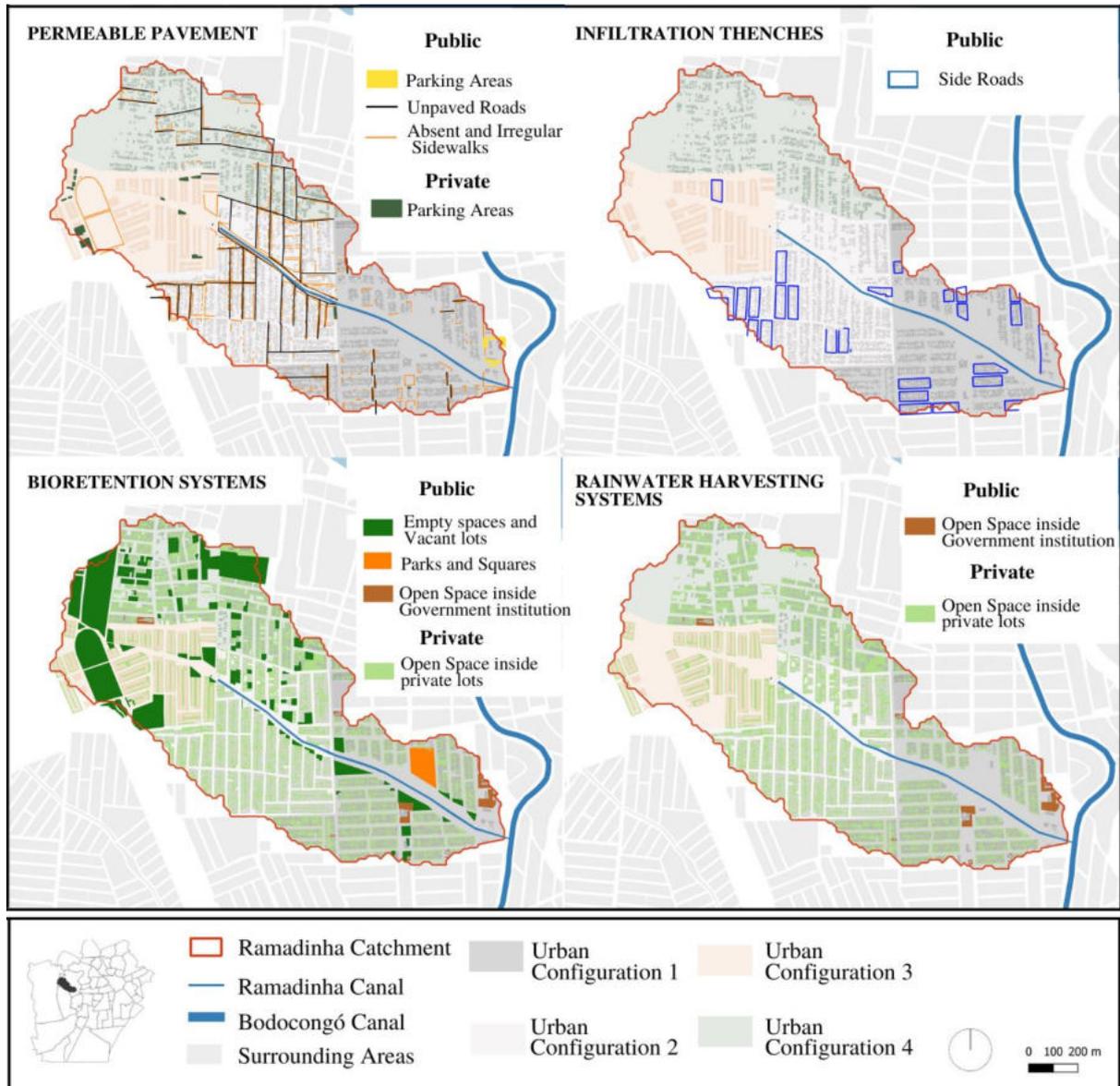


Figure 7: Suitable public and private areas for each SUDS technique

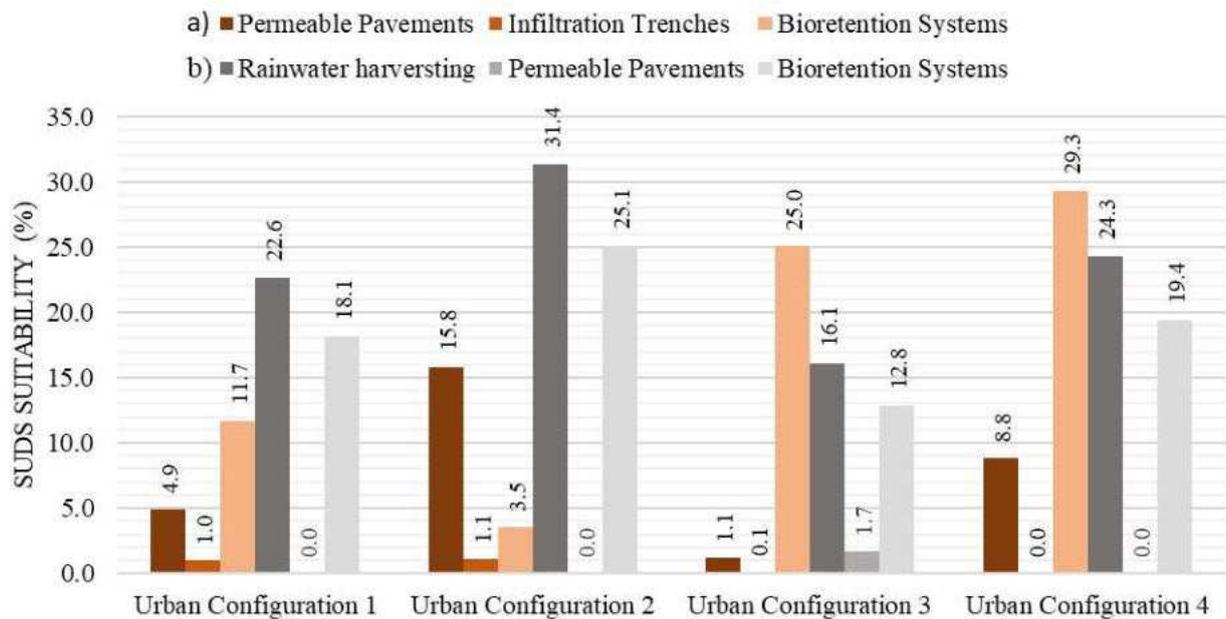


Figure 8: Percentage of area where SUDS can be potentially implemented for each Urban Configuration. a) SUDS evaluated in public areas, b) SUDS evaluated in private areas.

5.2. Flooding Vulnerability

For the rainfall event simulated in all six scenarios, flooding hotspots were identified throughout the Ramadinha Catchment, impacting the UCs in distinct ways (Figure 9). The results show that a centralized drainage system, represented by the Ramadinha Canal in the baseline scenario, was not capable of eliminating the flooding issues. Also, such a system did not take into consideration the improvement of the urban landscape, especially in the areas further away from the canal, which revealed the necessity to consider a decentralized and effective approach for these issues.

As a result of the great suitability of permeable pavements in public spaces at UC 2, the flooding vulnerability in this area, represented by the total flooding volumes in Figure 10, was reduced by 60.7%, only with the application of Scenario 1, which shows that this type of intervention can provide urban infrastructure, hydrological, and environmental benefits. However, its implementation had a limited effect on flooding in the other parts of the catchment. The infiltration trenches of Scenario 2 had no additional effectiveness regarding flooding mitigation in the entire catchment, even in the spaces most suitable for it, such as at UM 2. On the other hand, with the integration of bioretention systems in public areas in Scenario 3, greater reduction in flooding vulnerability was achieved at UC 3 (24.3%) and at UC 4 (88.0%). Such results show that, although these areas do not benefit from high hydrologic performance with the application of permeable pavements, their urban landscapes and flooding reductions can be considerably enhanced with the addition of bioretention systems within parks, unoccupied areas, and other vacant lots with potential to be converted into social interaction spaces.

SUDS measures implemented only at public spaces, although may propitiate better urban conditions to the community, such as paved streets, regular sidewalks and access to public parks and squares, were not enough to altogether avoid flooding in the denser areas of the catchment. The reasons were the lack of sufficient vacant lots and open spaces at UC 2, and the priority that it was given to traditional pavements at UC 3. For Scenario 4, the implementation of rainwater harvesting systems had a remarkable effect in reducing flooding at UC 2 (52.9%) and at UC 3 (85.7%), which can be explained by the high density of private households in these areas. Although bigger capacity tanks could be even more effective in reducing the total volume of flooding, it would require more financial resources and difficult maintenance, which may impair the implementation of these systems in all the private properties throughout the catchment. Besides, RH is important during extreme precipitation events, especially in precarious settlements located in arid and semi-arid regions, combining stormwater attenuation with water supply [23]. The integration of permeable pavements in private areas simulated by Scenario 5

only had effect at UC 3 (10.0%). Nevertheless, with the incorporation of bioretention systems in Scenario 6, a considerable reduction in flooding volume was achieved, with only 12.2% of the total flooding hotspots remaining at UC 3.

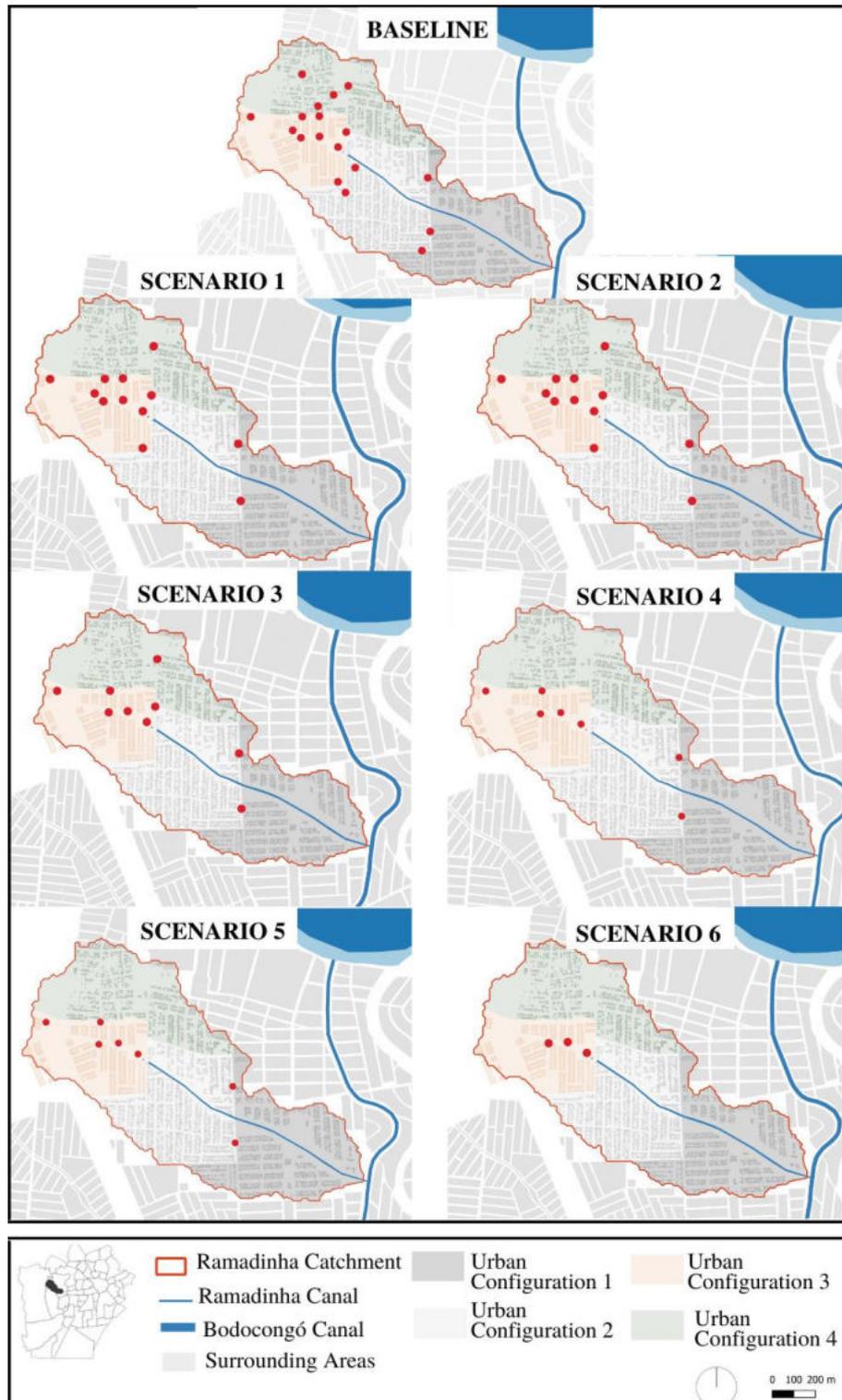


Figure 9: Flooding hotspots identified throughout the Ramadinha Catchment

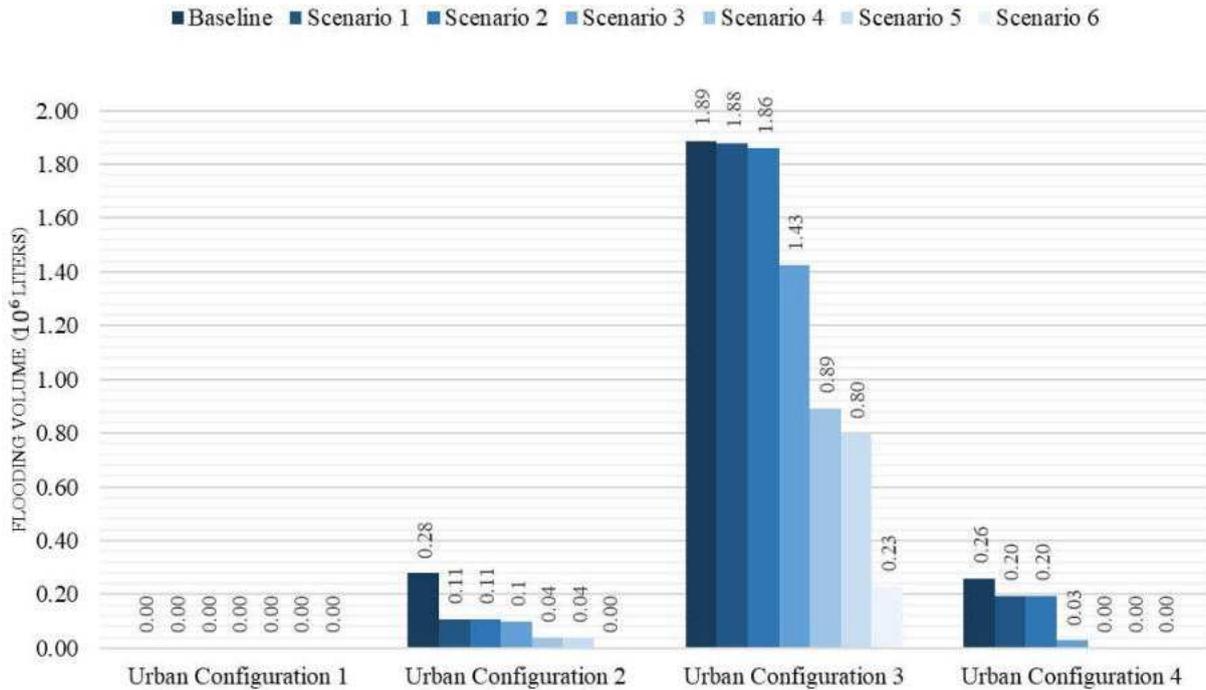


Figure 10: Total flooding volume for the SUDS scenarios simulated for each Urban Configuration type

6. CONCLUSIONS

This study demonstrated the importance of selecting, allocating and simulating SUDS measures based on the singular characteristics of each urban space, in order to maximize their urban and hydrological benefits, especially in the heterogeneous territory of precarious settlements. The scenarios simulated for an intense rainfall event resulted in various configurations of SUDS coverage in the catchment, which led to different results of SUDS suitability and flooding mitigation throughout the Urban Configurations. In the denser parts of the catchment, the reduced possibilities for implementing SUDS in public areas were compensated by their effectiveness when introduced in private households. However, the interventions in private spaces require an appropriate approach towards the stakeholders, which can be achieved by supporting programs aiming to integrate the communities' members in the process of planning and decision making, and offering education opportunities regarding flooding issues as well as water conservation and its benefits for the community in which they live. Although this study focused on the quantitative aspects of SUDS implementation and flooding mitigation in the particular study area, further research could be done in order to evaluate the social, economic and environmental benefits and challenges to integrate SUDS measures in the different suitable areas of precarious settlements.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the Brazilian agencies CAPES, CNPq, FINEP, Rede Clima, and the National Institutes of Science and Technology on Climate Change, and on Metropolis Observatory. Camila Silva provided some of the maps used in the study.

REFERENCES

- [1] Silveira, A. L. L. (2002). Problems of modern urban drainage in developing countries. *Water Science and Technology*, 45(7), 31–40. DOI: 10.2166/wst.2002.0114
- [2] Jiusto, S., & Kenney, M. (2015). Hard rain gonna fall: Strategies for sustainable urban drainage in informal settlements. *Urban Water Journal*. DOI: 10.1080/1573062X.2014.991329
- [3] UN-Habitat (2003). *The challenge of slums - Global report on human settlements*. Nairobi, Kenya.
- [4] Cities Alliance (2014). *About slum upgrading [online]*, Retrieved from http://www.citiesalliance.org/About-slum-upgrading# Why_is_slum_upgrading_important
- [5] Sletto, B., Tabory, S., & Strickler, K. (2019). Sustainable urban water management and integrated development in informal settlements: The contested politics of co-production in Santo Domingo, Dominican Republic. *Global Environmental Change*, 54, 195–202. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2018.12.004.
- [6] Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J. L., Mikkelsen, P. S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D., Viklander, M., Steen Mikkelsen, P. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – the evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*. 12, 525–542. DOI: 10.1080/1573062x.2014.916314
- [7] Ariza, S. L. J., Martínez, J. A., Muñoz, A. F., Quijano J. P., Rodríguez, J. P., Camacho, L. A., Díaz-Granados, M. (2019). A multicriteria planning framework to locate and select sustainable urban drainage systems (SUDS) in Consolidated Urban Areas. *Sustainability*, 11(8), 2312. DOI: 10.3390/su11082312
- [8] Garcia-Cuerva, L., Berglund, E. Z., Rivers, L. (2018). An integrated approach to place Green Infrastructure strategies in marginalized communities and evaluate stormwater mitigation. *Journal of Hydrology*, 559, 648–660. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.02.066.
- [9] Perales-Momparler, C.S. (2015). *A Regenerative urban stormwater management methodology. The role of SUDS construction and monitoring in the transition of a mediterranean City*. Ph.D. Thesis, Polytechnic University of Valencia, Valencia, Spain.
- [10] GOOGLE (2015) Google Earth website. <http://earth.google.com/>
- [11] Palme, M., Privitera, R., La Rosa, D. (2020). The shading effects of Green Infrastructure in private residential areas: Building Performance Simulation to support Urban Planning. *Energy and Buildings*. Volume 229. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.110531
- [12] CEMADEN (2020). *Brazilian natural disasters monitoring network CEMADEN/MCTIC*. <http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/>
- [13] Woods-Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., K ellagher, R. (2015). *The SuDS manual*. CIRIA. London, United Kingdom.
- [14] COUNTY OF LOS ANGELES (2014). *Low Impact Development standards manual*. County of Los Angeles Department of Public Works. Los Angeles, USA.

-
- [15] Aladenola, O.O., Adeboye, O.B. (2010). Assessing the potential for rainwater harvesting. *Water Resources Management*. 24, 2129–2137. DOI: 10.1007/s11269-009-9542-y
- [16] SEPLAN/PMCG (2014) *High resolution land use map of Campina Grande*. Campina Grande.
- [17] Souza, T. J. (2015). *Rainwater Harvesting potencial in urban areas: A study in Campina Grande, Brazil*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.
- [18] Rossman, L. (2008). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0*. U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati.
- [19] Collodel, M. G (2009). *Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetidas ao processo de transformação chuva-vazão*. Universidade de São Paulo. São Carlos.
- [20] Brown, S. A.; Stein, S. M.; Warner, J. C. (2009) *Urban Drainage Design Manual*. Hydraulic Engineering Circular 22, Second Edition. Federal Highway Administration Washington, D. C.
- [21] MCCuen, R. H., Jonhson, P. A., Ragan M. R. (1996). *Highway hydrology*. Federal Highway Administration. Hydrology. 96-067. Washington, DC.
- [22] ASCE (1992). *Design and construction of urban stormwater management systems*. American Society of Civil Engineers, New York. 724 p.
- [23] Le Jallé, C., Désille, D., Burkhardt, G. (2013). *La gestion des eaux pluviales urbaines dans les pays en développement*. Programme Solidarité Eau (pS-Eau). Paris, France.

APÊNDICE D



EGU21-11893, updated on 09 May 2021

<https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-11893>

EGU General Assembly 2021

© Author(s) 2021. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.



A socio-ecological robustness approach for evaluation of urban Green Infrastructure effectiveness in a dense precarious settlement

Maria Eduarda Barbosa Veiga, Luma Gabriela Fonseca Alves, and Carlos de Oliveira Galvão

Federal University of Campina Grande, Department of Civil Engineering, Aprígio Veloso 882, Campina Grande, PB, Brazil

The implementation of Green Infrastructure (GI) for hazard management has been studied and evaluated for reducing the risk of and increasing resilience to flood events, flooded areas and damage costs. Still, less attention has been given to the governance aspects involved in the implementation of GI. We present the GI assessment through a robustness approach, where the urban environment is referred to as a socio-ecological system. Robustness can be assumed as the “maintenance of system performance either when subjected to external, unpredictable perturbations, or when there is uncertainty about the values of internal design parameters” (Carlson and Doyle, 2002). In this sense, it is required to investigate the socio-ecological configurations of GIs as a new component introduced within the urban system in addition to their technical aspects. We use the Robustness of Coupled Infrastructure Systems Framework (Anderies et al., 2019) to analyse the dynamics of the system through the connections between its components (resource users, public infrastructure, public infrastructure providers and natural infrastructure) and to evaluate the associated robustness through their critical feedback structures links, by analysing human behaviour (relationships and perceptions), monitoring actions, conflicts, and resource appropriation limits. In this way, it is possible to assess the changes [MEV1] that influence the functioning of the system. We applied this framework to a case of a dense precarious urban settlement subject to flash floods in Brazil. We developed three scenarios considering the application of GI, and they were simulated using SWMM model: (i) the current one; (ii) the implementation of three infiltration-based GI (permeable pavements, bioretention systems, and infiltration trenches) throughout the catchment, not only in public areas but also inside the lots, aimed at reducing flooding hotspots; (iii) the implementation of low-storage rainwater harvesting systems in all households within the catchment. We used a representative heavy rainfall event capable of producing flash floods as input for simulation of all scenarios. The SWMM was parameterised for the current land use and land occupation, representing the spatial patterns that determine runoff overflow propagation, producing, for each scenario, the spatial distribution of flooding hotspots throughout the catchment. In the current state scenario, the system has exhibited poorly robust links, furthermore flooding spots have been detected along the catchment. By applying the infiltration-based GI, besides all flooding spots have been mitigated, the system has the potential to acquire robustness by enabling trust in relationships, improvement in users' perception of resources, monitoring of actions and conflict resolution. The implementation of rainwater harvesting systems could strengthen the robustness through popular participation, processes perception by the users and appropriation limits, apart from

reducing 26% of the flooding spots. The robustness analysis points out that the implementation of GI in the catchment will be effective only if it is reached a household-level engagement, resource importance and a proper environment for conflict resolution, besides the mitigation of flood events.

Anderies, J.M. et al. (2019). *Reg Environ Change*, <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01529-0>

Carlson, J.M.; Doyle, J. (2002) *PNAS*, <https://doi.org/10.1073/pnas.012582499>