

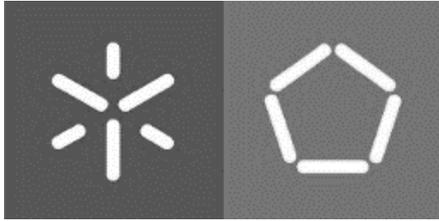
UNIVERSIDADE DO MINHO

Escola de Engenharia

Josias Rodrigo Breda

Impacto de tecnologias verdes no
escoamento de águas pluviais.
Aplicação ao caso de estudo da
Avenida Nações Unidas, Bauru-
Brasil

Braga, março de 2022



UNIVERSIDADE DO MINHO

Escola de Engenharia

Josias Rodrigo Breda

Impacto de tecnologias verdes no escoamento de águas pluviais. Aplicação ao caso de estudo da Avenida Nações Unidas, Bauru-Brasil

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Urbana

Trabalho realizado sob a orientação da

Professora Doutora Maria Manuela Carvalho de Lemos Lima

Braga, março de 2022

Direitos de autor e condições de utilização do trabalho por terceiros

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Agradecimentos

O presente trabalho não seria possível sem a ajuda de algumas pessoas que de forma direta e indireta contribuíram para seu êxito. Agradeço à minha orientadora, sempre muito paciente e atenciosa com minhas falhas, a Professora Doutora Maria Manuela C. Lemos Lima. Este trabalho não seria possível sem a sua valiosa assistência e ideias que iluminaram o caminho. Agradeço igualmente à prefeitura municipal de Bauru pela ajuda, ao fornecer os dados usados neste trabalho.

Faz-se mais do que necessário mostrar minha gratidão à Universidade do Minho, pois muito mais do que laboratórios e salas de aula, esta instituição acolheu-me, através dos seus professores e servidores. Sem estes para transmitir os conhecimentos e experiências, de nada valeriam as carteiras cheias de alunos das salas de aula ou os equipamentos dos laboratórios.

Há ainda aqueles que estiveram do meu lado em Portugal, os amigos, tanto os brasileiros das mais variadas regiões do Brasil, quanto os portugueses. Lembrar-me-ei sempre com carinho de todos que aqui se tornaram amigos. Agradeço de maneira especial à Daniela, à Márcia e ao Sidney que, desde os primeiros dias, estiveram presentes nas múltiplas tardes de trabalho e noites de estudo. Foram sem dúvida de grande mais-valia, quer nos dias bons, quer nos ruins.

Reservo este último espaço para agradecer a quem de fato possibilitou tudo isto: a minha família. Aos meus pais, Neusa e Nelson, agradeço por terem me dado muito mais do que apenas o básico, todavia, por terem nutrido em mim o apreço pela honestidade, liberdade e trabalho. Agradeço ainda ao meu irmão Júlio, pelo seu apoio fraternal.

Declaração de integridade

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio, nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Resumo

O crescimento das cidades, acelerado pela revolução industrial, originou um aumento da impermeabilização dos solos, acarretando um maior escoamento superficial relacionado com episódios de precipitações intensas e uma pressão significativa sobre os sistemas de drenagem de águas pluviais. Este trabalho analisa o escoamento de água pluvial em ambiente urbano, com o objetivo de contribuir para a mitigação dos efeitos de cheias e inundações em centros urbanos e incentivar a gestão sustentável da água pluvial. Analisou-se o efeito no escoamento de águas pluviais da adoção de tecnologias verdes na drenagem de águas pluviais, promotoras de processos como o armazenamento e a infiltração. Estes processos contribuem para o aproveitamento da água pluvial, considerando-a um ativo importante para a posterior reutilização ou para a recarga de aquíferos.

Para o efeito, foi selecionado um caso de estudo correspondente ao sistema de drenagem de águas pluviais da Avenida Nações Unidas, situada na cidade brasileira de Bauru, no Estado de São Paulo. A área foi modelada no *software Storm Water Management Model*, analisando-se o comportamento hidráulico do sistema de drenagem de águas pluviais existente, com e sem o emprego de tecnologias verdes.

Analisaram-se cinco cenários correspondentes à utilização: de trincheiras de infiltração; de microrreservatórios; simultânea de trincheiras de infiltração e microrreservatórios para diferentes percentagens de combinação (40% e 60%; 50% e 50%; 60% e 40%, do caudal gerado na área impermeável a ser destinado, respetivamente, aos microresservatórios e às trincheiras de infiltração).

Em quase todos os cenários estudados, observou-se uma redução dos caudais de pico e dos volumes de água a serem drenados pelo sistema, principalmente no correspondente à combinação das duas tecnologias de baixo impacto na proporção 60% do caudal destinado aos microresservatórios e 40% às trincheiras de infiltração. Na maioria dos locais (nós) analisados observou-se uma redução, tanto no tempo de duração dos eventos adversos, quanto no volume dos extravasamentos, o que pode implicar numa diminuição da intensidade e duração das inundações causadas por esses extravasamentos.

Tal efeito foi de maior monta para os menores tempos de retorno de 5 e 10 anos, observando-se em algumas simulações uma redução do caudal de pico de $121,30\text{m}^3/\text{s}$ para $56,78\text{m}^3/\text{s}$ e também o seu atraso em aproximadamente 20 minutos. É importante salientar também que houve a melhoria nas capacidades infiltrativas da área analisada, atingindo-se valores próximos de $2,06\text{mm}/\text{hr}$, nos cenários que contemplavam a utilização de trincheiras de infiltração.

Palavras-chave: Drenagem urbana, infiltração, técnicas de aproveitamento de águas pluviais, SWMM.

Abstract

The growth of cities, accelerated by the industrial revolution, led to an increase in impervious soil, causing greater surface runoff related to episodes of intense rainfall and significant pressure on storm water drainage systems. This work analyses the storm water drainage in an urban environment, with the objective of contributing to the mitigation of the effects of floods in urban centres and encouraging storm water sustainable management. The effect on storm water drainage of the adoption of green drainage technologies was analysed, promoting processes such as storage and infiltration. These processes contribute to the use of rainwater, considering it an important asset for later reuse or for the recharge of aquifers.

For this purpose, a case study was selected corresponding to the storm water drainage system of Avenida Nações Unidas, located in the Brazilian city of Bauru, in the State of São Paulo. The area was modelled in the Storm Water Management Model software, analysing the hydraulic behaviour of the existing rainwater drainage system, with and without the use of green technologies.

Five scenarios were analysed corresponding to the use of: infiltration trenches only; microreservoirs only; simultaneous use of infiltration trenches and microreservoirs for different combination ratios (40% and 60%; 50% and 50%; 60% and 40%, of the impervious runoff flowrate generated to be destined, respectively, to the microreservoirs and infiltration trenches).

In almost all the scenarios studied, there was a reduction in peak flows and in the volumes of water to be drained by the system, mainly in the one corresponding to the combination of the two low-impact technologies in the proportion 60% of the flow destined for microreservoirs and 40% to the infiltration trenches. In most of the sites (nodes) analysed, a reduction was observed, both in the duration of adverse events and in the volume of overflows, which may imply a decrease in the intensity and duration of the floods caused by these overflows.

This effect was of greater importance for the shortest return times of 5 and 10 years, and in some simulations a reduction in the peak flow from 121.30 m³/s to 56.78 m³/s and also its delay in approximately 20 minutes were observed. It is also important to point out that there was an improvement in the infiltration capacities of the analysed area, reaching values close to 2.06 mm/hr, in the scenarios that contemplated the use of infiltration trenches.

Keywords: Urban drainage, infiltration, rainwater harvesting techniques, SWMM.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos.....	6
1.3 Estrutura da dissertação.....	6
2 Revisão bibliográfica.....	8
2.1 Legislação e intenções.....	8
2.2 Demais conceitos ao redor do mundo	11
2.3 Tecnologias no âmbito da gestão sustentável de águas pluviais	12
2.3.1 Técnicas não estruturais	13
2.3.2 Técnicas estruturais	14
2.3.3 Técnicas localizadas de controlo na fonte.....	15
2.3.4 Técnicas lineares de controlo na fonte	23
2.3.5 Técnicas de controlo centralizado.....	31
2.3.6 Técnicas de tratamento de efluentes.....	36
3 Metodologia.....	42
3.1 O município de Bauru.....	42
3.1.1 O clima.....	46
3.1.2 O solo.....	49
3.1.3 A canalização do Córrego das Flores	55
3.2 Simulação.....	57
3.2.1 A divisão das sub-bacias.....	58
3.2.2 As tubagens	60
3.2.3 Os nós.....	62
3.2.4 Os dados pluviométricos	62

3.2.5 As intervenções propostas.....	64
4 Resultados e discussão.....	74
4.1 Rua Benjamin Constant.....	74
4.1.1 Trincheiras de infiltração.....	75
4.1.2 Microrreservatórios.....	78
4.1.3 Análise dos resultados obtidos para a rua Benjamin Constant.....	81
4.2 Aplicação das tecnologias na bacia hidrográfica do Córrego das Flores.....	82
4.2.1 Trincheiras de infiltração.....	83
4.2.2 Microrreservatórios.....	87
4.2.3 Associação entre os microrreservatórios e trincheiras de infiltração.....	91
5 Considerações finais.....	106
5.1 Conclusões.....	106
5.2 Propostas para trabalhos futuros.....	108
Referências bibliográficas.....	109

Lista de figuras

Figura 1 – Evolução da população urbana entre 1960 e 2020	2
Figura 2 - Taxas de infiltração e escoamento superficial em diferentes cenários	3
Figura 3 - Hidrograma de acordo com a urbanização	4
Figura 4 – Características de uma inundação	4
Figura 5 - 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável	10
Figura 6 - técnicas estruturais e não estruturais para o trato de águas pluviais	13
Figura 7 – Exemplos das principais categorias de medidas não estruturais	14
Figura 8 – Microrreservatório residencial de captação de águas pluviais	16
Figura 9 - Telhado verde em prédio	17
Figura 10 - Esquema de camadas de um telhado verde	18
Figura 11 - Esquema de um poço de infiltração	19
Figura 12 - Imagem da instalação de um poço de infiltração em um jardim	20
Figura 13- Esquema de Superfície de infiltração	22
Figura 14 - Superfície de infiltração associado a jardim de chuva	23
Figura 15 - Esquema de trincheira de infiltração	24
Figura 16 - Trincheira de infiltração ao longo de um arruamento	25
Figura 17 - Esquema de vala de retenção e infiltração	27
Figura 18 - Faixa relvada em arruamento.....	28
Figura 19 - Esquema de pavimento asfáltico permeável com dreno.....	29
Figura 20 - Pavimento permeável relvado	30
Figura 21 - Esquema de funcionamento de uma bacia de retenção	32
Figura 22 - Bacia de retenção seca, usada como quadra esportiva	33
Figura 23 - Bacia de retenção subterrânea de Tóquio	34
Figura 24 - Esquema de uma bacia de retenção	35
Figura 25 - Bacia de retenção transformado em parque	36
Figura 26 – Sistema de Gradeamento	38
Figura 27 - Bueiro com gradeamento.....	39
Figura 28 – Plano de infiltração com sistema de biorretenção	40
Figura 29 - Localização geográfica de Bauru.....	43
Figura 30 - Avenida Nações Unidas - Bauru/SP.....	44
Figura 31 - Ribeirão das Flores, Bauru-SP.....	44
Figura 32 - Obras para o tamponamento do Ribeirão das Flores, Bauru-SP.....	45

Figura 33 - Enchente na Avenida Nações Unidas, Bauru/SP	45
Figura 34 - Mapa de clima do Brasil com a localização do município de Bauru	46
Figura 35 – Detalhe da legenda do mapa de clima do Brasil com a demarcação das características climáticas do município de Bauru, modificado.....	47
Figura 36 – Mapa dos domínios tectônicos do estado de São Paulo.....	50
Figura 37 - Mapa pedológico do estado de São Paulo.....	51
Figura 38 - Planta de uso e ocupação do solo da bacia do Córrego das Flores em Bauru/SP ...	52
Figura 39 - Bacia do Córrego das flores com local de nascimento, desague e área crítica de inundações	56
Figura 40 - Diagrama unifilar do sistema de drenagem do Córrego das Flores (adaptado)	57
Figura 41 - Perfil do sistema de galerias sob a Avenida Nações Unidas (adaptado)	57
Figura 42 - Sub-bacias drenadas pela canalização do Córrego das Flores.....	59
Figura 43 – Alturas pluviométricas das chuvas com duração de 120 minutos para os diferentes tempos de retorno.....	63
Figura 44 - Representação de trincheira de infiltração sob calçada.....	64
Figura 45 - Representação da localização das trincheiras de infiltração na rua Benjamin Constant	65
Figura 46 - Dados da Sub-bacia da área 1	67
Figura 47 - Dados da Sub-bacia da área 2	67
Figura 48 - Dados da Sub-bacia da área 3	68
Figura 49 - Dados da trincheira de infiltração no software SWMM, Editor de controles LID (A-Superfície, B-Armazenamento, C-Dreno)	68
Figura 50 - Dados das trincheiras de infiltração atrelados à sub-bacia (A-Dados da sub-bacia SB_6, B-Controles LID para a sub-bacia SB_6, C-Editor de uso do LID)	69
Figura 51 - Dados do microrreservatório no software SWMM, Editor de controles LID (A-Armazenamento, B-Dreno).....	71
Figura 52 - Dados da sub-bacia da área 1	72
Figura 53 - Dados da sub-bacia da área 2	72
Figura 54 - Dados da sub-bacia da área 3	72
Figura 55 - Dados dos microrreservatórios atrelados à sub-bacia (A-Dados da sub-bacia SB_7, B-Controles LID para a sub-bacia SB_7, C-Editor de uso do LID)	73
Figura 56 - Gráficos de Caudal e taxa de infiltração para a rua Benjamin Constant, área 1, trincheiras de infiltração (A-tempo de recorrência de 5 anos, B-tempo de recorrência de 5 anos, C-tempo de recorrência de 50 anos, D-tempo de recorrência de 100 anos)	75
Figura 57 - Gráficos de Caudal e taxa de infiltração para a rua Benjamin Constant, área 2, trincheiras de infiltração (A-tempo de recorrência de 5 anos, B-tempo de recorrência de 5 anos, C-tempo de recorrência de 50 anos, D-tempo de recorrência de 100 anos)	76

Figura 58 - Gráficos de Caudal e taxa de infiltração para a rua Benjamin Constant, área 3, trincheiras de infiltração (A-tempo de recorrência de 5 anos, B-tempo de recorrência de 5 anos, C-tempo de recorrência de 50 anos, D-tempo de recorrência de 100 anos)	77
Figura 59 - Gráficos de Caudal e taxa de infiltração para a rua Benjamin Constant, área 1, microrreservatórios (A-tempo de recorrência de 5 anos, B-tempo de recorrência de 5 anos, C-tempo de recorrência de 50 anos, D-tempo de recorrência de 100 anos)	79
Figura 60 - Gráficos de Caudal e taxa de infiltração para a rua Benjamin Constant, área 2, microrreservatórios (A-tempo de recorrência de 5 anos, B-tempo de recorrência de 5 anos, C-tempo de recorrência de 50 anos, D-tempo de recorrência de 100 anos)	80
Figura 61 - Gráficos de Caudal e taxa de infiltração para a rua Benjamin Constant, área 3, microrreservatórios (A-tempo de recorrência de 5 anos, B-tempo de recorrência de 5 anos, C-tempo de recorrência de 50 anos, D-tempo de recorrência de 100 anos)	81
Figura 62 - Gráficos de caudal e taxa de infiltração para a totalidade da bacia do Córrego das Flores com e sem a implantação das trincheiras de infiltração (A-tempo de recorrência de 5 anos, B-tempo de recorrência de 10 anos, C-tempo de recorrência de 50 anos, D-tempo de recorrência de 100 anos)	84
Figura 63 - Gráficos de caudal e taxa de infiltração para a totalidade da bacia do Córrego das Flores com e sem a implantação dos microrreservatórios (A-tempo de recorrência de 5 anos, B-tempo de recorrência de 10 anos, C-tempo de recorrência de 50 anos, D-tempo de recorrência de 100 anos).	88
Figura 64 - Gráficos de caudal e taxa de infiltração para a totalidade da bacia do Córrego das Flores com e sem a implantação dos microrreservatórios e trincheiras de infiltração na proporção de 40 e 60% (A-tempo de recorrência de 5 anos, B-tempo de recorrência de 10 anos, C-tempo de recorrência de 50 anos, D-tempo de recorrência de 100 anos)	93
Figura 65 - Gráficos de caudal e taxa de infiltração para a totalidade da bacia do Córrego das Flores com e sem a implantação dos microrreservatórios e trincheiras de infiltração na proporção de 50 e 50% (A-tempo de recorrência de 5 anos, B- tempo de recorrência de 10 anos, C-tempo de recorrência de 50 anos e D-tempo de recorrência de 100 anos)	97
Figura 66 - Gráficos de caudal e taxa de infiltração para a totalidade da bacia do Córrego das Flores com e sem a implantação dos microrreservatórios e trincheiras de infiltração na proporção de 60 e 40% (A-tempo de recorrência de 5 anos, B- tempo de recorrência de 10 anos, C-tempo de recorrência de 50 anos e D-tempo de recorrência de 100 anos)	102

Lista de tabelas

Tabela 1 - Bauru: Previsão de máximas intensidades de chuvas em mm/h	49
Tabela 2 - Bauru: Previsão de máximas alturas de chuvas em mm	49
Tabela 3 - Uso e ocupação da bacia do Córrego das Flores e CN, modificada	53
Tabela 4 - Taxa mínima de infiltração de acordo com a classificação hidrológica dos solos	54
Tabela 5 - Infiltração média de água nos horizontes A, E e Bt, e a espessura do horizonte A	54
Tabela 6 – Velocidade básica de infiltração em mm/h para os diferentes tipos de solos e métodos	54
Tabela 7 - Dados para a simulação das sub-bacias.....	60
Tabela 8 - Características dos condutos sob a Avenida Nações Unidas em Bauru/SP.....	61
Tabela 9 - Características dos nós	62
Tabela 10 - Precipitações segundo o primeiro quartil de Huff	63
Tabela 11 - Dados da rua Benjamin Constant.....	66
Tabela 12 - Lista dos nós que apresentaram fuga de caudal a considerar apenas as trincheiras de infiltração, extravasamentos.....	85
Tabela 13 - Diferenças percentuais nas características dos extravasamentos, a considerar apenas as trincheiras de infiltração.	86
Tabela 14 - Lista dos nós que apresentaram fuga de caudal a considerar apenas os microrreservatórios extravasamentos.....	89
Tabela 15 - Diferenças percentuais nas características dos extravasamentos, a considerar apenas os microrreservatórios.....	90
Tabela 16 - Lista dos nós que apresentaram fuga de caudal a considerar 40% do caudal das áreas impermeáveis drenadas para os microrreservatórios e 60% drenado para as trincheiras de infiltração.....	94
Tabela 17 - Diferenças percentuais nas características dos extravasamentos a considerar 40% do caudal das áreas impermeáveis drenadas para os microrreservatórios e 60% drenado para as trincheiras de infiltração.....	95
Tabela 18 - Lista dos nós que apresentaram fuga de caudal a considerar 50% do caudal das áreas impermeáveis drenadas para os microrreservatórios e 50% drenado para as trincheiras de infiltração.....	99
Tabela 19 - Diferenças percentuais nas características dos extravasamentos a considerar 50% do caudal das áreas impermeáveis drenadas para os microrreservatórios e 50% drenado para as trincheiras de infiltração.....	100
Tabela 20 - Lista dos nós que apresentaram fuga de caudal a considerar 60% do caudal das áreas impermeáveis drenadas para os microrreservatórios e 40% drenado para as trincheiras de infiltração.....	104

Tabela 21 - Diferenças percentuais nas características dos extravasamentos a considerar 60% do caudal das áreas impermeáveis drenadas para os microrreservatórios e 40% drenado para as trincheiras de infiltração..... 105

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A água é indispensável para a vida na Terra, a sua disponibilidade, escassez e qualidade modificam e definem quase todas as características dos seres vivos, sejam elas morfológicas, de distribuição pelo globo e até as suas formas de interação.

Aproximadamente 70% da superfície do planeta é coberta por água (Ward, 2003), sendo que quase 97,075% de seu volume se encontra nos oceanos e os 2,925% restantes, se encontram sob a forma de gelo (1,915%), águas subterrâneas (0,988%) e lagos (0,016%), por fim os últimos 0,005% dividem-se em humidade no solo, na atmosfera, rios e organismos vivos (Sperling, 2006).

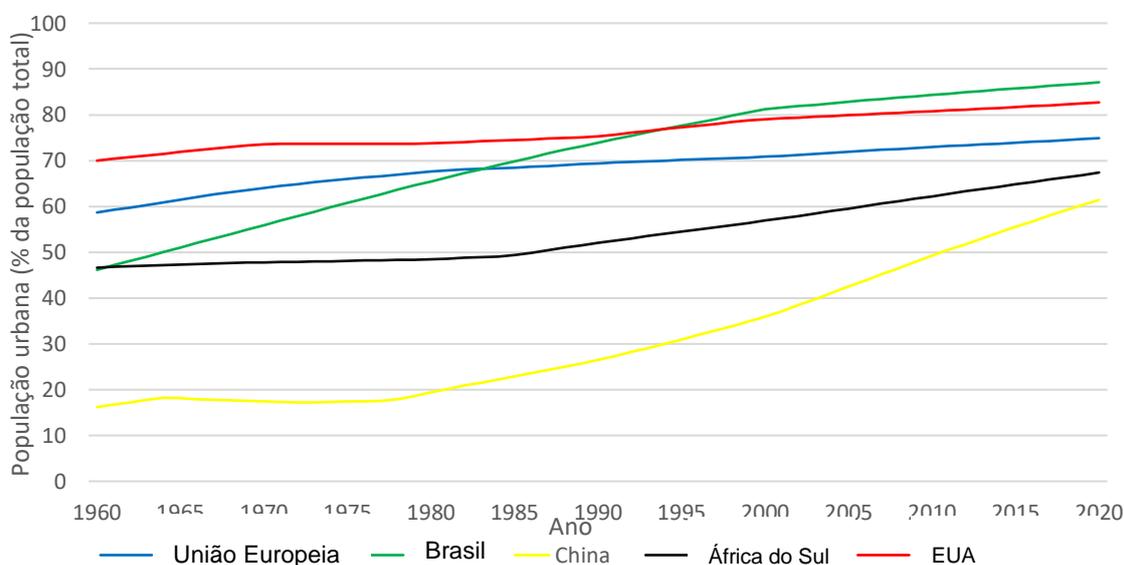
O volume total de água no planeta não se encontra imobilizado, mas sim em constantes mudanças, tanto de forma física quanto de localização geográfica. Assim, o ciclo da água pode ser descrito como um ininterrupto fluxo de massa desse elemento devido a processos como: a evaporação, a precipitação, o escoamento (superficial ou subterrâneo) e a infiltração. A maneira como ocorre esse fluxo tende a variar com o clima terrestre, causando eventos dos mais diferentes graus de intensidade, nomeadamente, secas e enchentes.

O ser humano durante muito tempo de sua história ficou à mercê destes eventos, os quais tiveram papel relevante na distribuição das populações pelo globo. Não é coincidência que, as primeiras cidades e civilizações importantes da história antiga tenham surgido perto de fontes de água (Chichagov, 2010), as quais proviam segurança hídrica essencial para sobrevivência e progresso. Todavia, é relevante ressaltar que, com o crescimento do conhecimento acumulado ao longo dos séculos, o homem aprendeu a prever eventos e a modificar o seu ambiente natural por meio de estruturas artificiais, diminuindo a sua dependência daquelas fontes.

Salvo alguns raros exemplos na história antiga, como o da Atenas do século IV a.C., que contava com uma população aproximada de 250000 pessoas (Carugati et al., 2015), ou Roma antiga, que próximo ao séc. II d.C. contava com quase 500000 habitantes (Storey 1997), as sociedades, na maior parte de sua história, tinham um caráter mais agrícola, vivendo separadas em povoados menos urbanizados e em comunidades mais espalhadas. Após o século XVIII e a revolução industrial, ocorreu um avanço tecnológico sem precedentes, que foi causa de um grande processo de mudanças sociais e económicas.

Com a demanda por trabalhadores a crescer nas cidades, muitas populações migraram do campo para os centros urbanos à procura de subsistência e melhores condições de vida, aumentando sobremaneira tanto a densidade, quanto a extensão dos mesmos. Esse processo de urbanização teve início em meados de 1800 nos países mais desenvolvidos e acentuou-se ainda mais no pós segunda grande guerra, expandindo-se de forma descontrolada para os países menos desenvolvidos da América Latina, Ásia e em menor grau à África (Silva et al., 2014).

Dados provenientes do Banco Mundial (*World Bank*), **Figura 1**, mostram que a urbanização tardia destas três regiões se concentrou num curto período de tempo. Enquanto os Estados Unidos da América, que no começo dos anos 60 do século XX já tinham quase 70% da sua população a viver em cidades, apresentaram um crescimento até 2020 de aproximadamente 10 pontos percentuais, o Brasil, com taxas de urbanização iniciais inferiores a 50%, apresentou um crescimento 3,5 vezes maior no mesmo período. Como consequência o Brasil é mais urbanizado, comparativamente aos Estados Unidos.

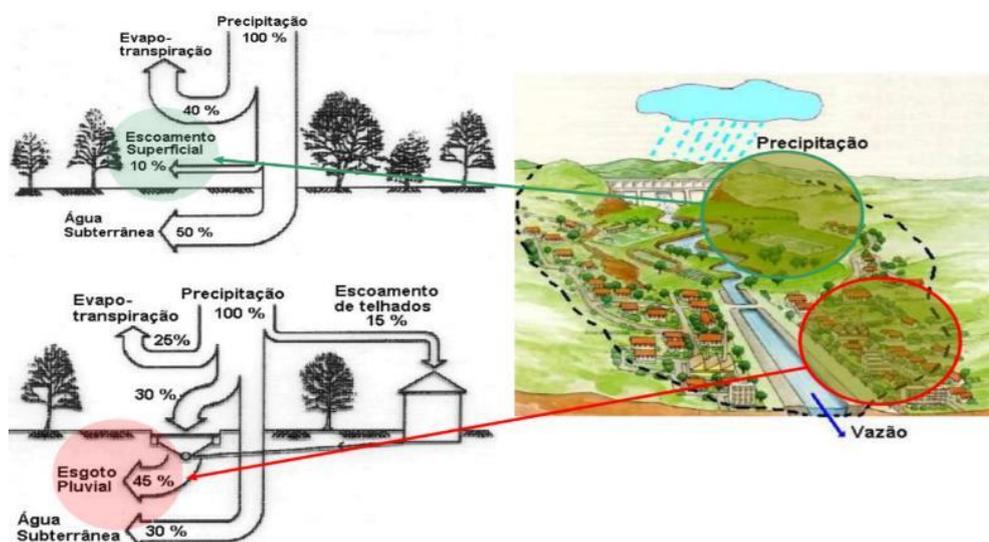


Fonte: (The World Bank n.d.)

Figura 1 – Evolução da população urbana entre 1960 e 2020

O crescimento desordenado e rápido das cidades teve como consequência a falta de tempo para implementar políticas de urbanização e construção de infraestruturas. Assim, muitas populações vivem em situações críticas e sem acesso a serviços públicos, tais como: recolha de resíduos sólidos urbanos, transporte público, tratamento de água para consumo humano, drenagem e tratamento de águas residuais urbanas e por fim drenagem de águas pluviais.

Para solucionar a procura crescente de habitações foram construídos novos bairros e infraestruturas, principalmente viárias, as quais acabaram por ocupar áreas verdes e causaram uma intensa impermeabilização dos solos, resultando em baixas taxas de infiltração e por consequência num aumento dos escoamentos superficiais (Righetto, 2009), como exemplificado na **Figura 2**.



Fonte: (Pinto, 2017)

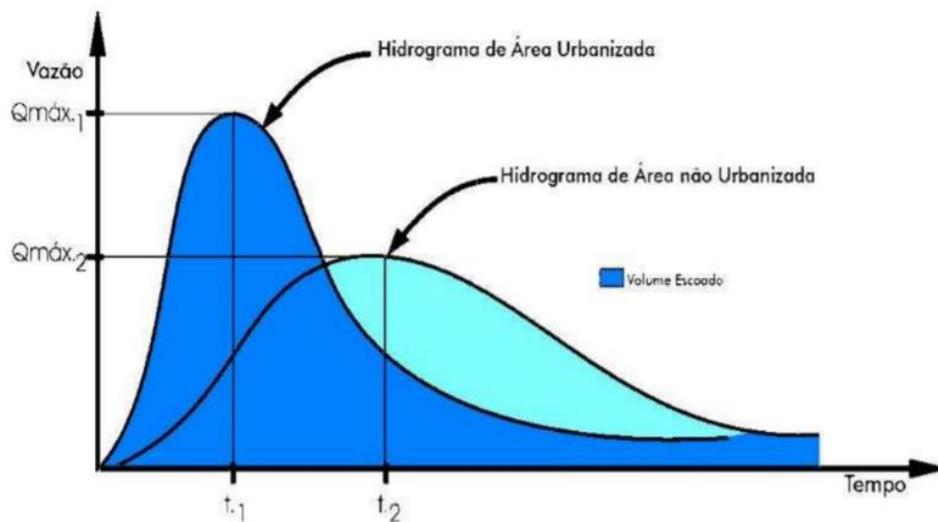
Figura 2 - Taxas de infiltração e escoamento superficial em diferentes cenários

Se por um lado a urbanização de áreas verdes permitiu mitigar problemas urbanos tais como a falta de moradias e infraestruturas de transporte, por outro causou um grande aumento dos caudais de cheia, ao mesmo tempo que reduziu a sua propagação no tempo (**Figura 3**). Estes caudais elevados num curto intervalo de tempo têm forçando ao limite não só as estruturas artificiais de drenagem, como também as áreas naturais, causando inundações.

De forma geral, as enchentes ou cheias podem ser definidas como o evento que ocorre quando o volume de água a ser escoado por um curso de água supera a capacidade de transporte de seus canais ou leito principal. A partir do momento em que essa capacidade de escoamento é alcançada, a água extravasa os limites da infraestrutura. No caso dos rios, o escoamento invade o leito maior do curso de água e por fim, em casos de grandes precipitações com caudais superiores, a planície de inundação (Pinto, 2017), como visto na **Figura 4**.

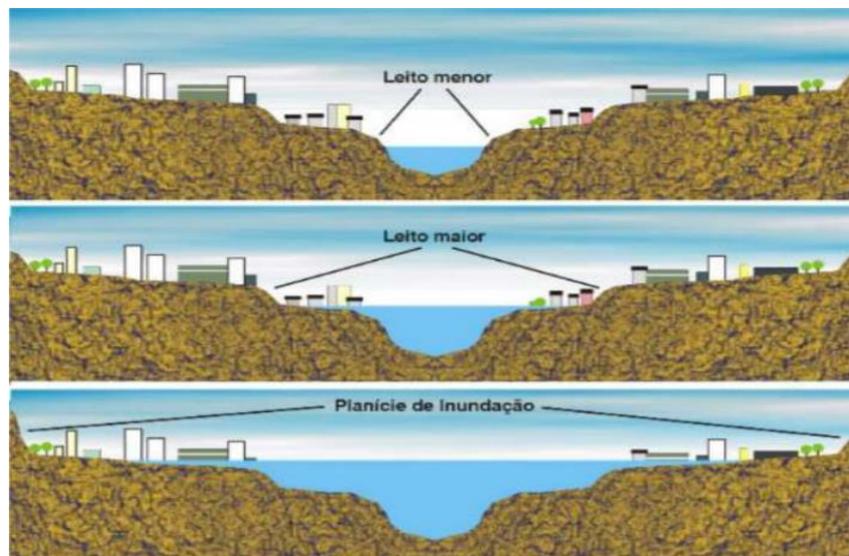
É interessante salientar que há diferenças entre o acontecimento das cheias e das inundações, já que uma cheia nem sempre causa inundações e uma inundação nem sempre é fruto de uma cheia.

Enquanto as cheias são eventos naturais e sazonais que acontecem nas margens de corpos de água, as inundações acontecem quando uma área habitada é coberta por uma lâmina de água que não conseguiu ser devidamente drenada pelo leito do rio correspondente, ou pelas infraestruturas de drenagem do local, causando de tal modo transtornos à população.



Fonte: (Pinto, 2017)

Figura 3 - Hidrograma de acordo com a urbanização



Fonte: (Pinto, 2017)

Figura 4 – Características de uma inundação

Houve com o passar dos anos e a crescente urbanização não só um aumento do número de ocorrências de inundações danosas, mas também do seu potencial destrutivo. O relatório do Escritório das Nações Unidas para a Coordenação de Assuntos Humanitários (*United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, OCHA*) refere que no período compreendido entre os anos 2000 e 2019, se registaram na América Latina e Caribe um total de 584 eventos afetando cerca de 41 milhões de pessoas.

Embora em tais eventos tenham sido contabilizadas poucas mortes diretamente registradas, os prejuízos materiais ultrapassaram os 26 mil milhões de dólares. O Brasil figura entre os 15 países do mundo mais afetados por esse tipo de ocorrência, tendo sido atingidas nesse período cerca de 7,4 milhões de pessoas (Charvériat, 2019).

Aliado ao aumento das cheias e inundações causadas pela impermeabilização dos solos, há ainda a referir a baixa infiltração que, conjugada com as necessidades crescentes por água potável nos centros urbanos, impacta negativamente o nível das reservas subterrâneas de água, visto que, em muitas cidades, estas suprem parte ou quase a totalidade das necessidades de água potável.

Entretanto, é relevante perceber que a água proveniente das chuvas pode não ser um problema, mas, um ativo. Assim sendo surgiram novas perspetivas e tecnologias que visam não apenas o transporte do volume precipitado, todavia, seu aproveitamento *in situ*, promovendo processos muitas vezes subvalorizados pelos sistemas convencionais como o armazenamento para posterior reutilização e a infiltração.

As técnicas que usam processos sustentáveis de drenagem de águas pluviais enquadram-se em diferentes terminologias, a depender da região de implantação, nomeadamente, SuDS (*Sustainable urban Drainage System*) terminologia mais largamente usada na Europa, ou WSUD (*Water Sensitive Urban Design*) para os australianos, já nos Estados Unidos da América e Canadá refere-se o LID (*Low Impact Development*) e por fim na Nova Zelândia utiliza-se a designação LIUDD (*Low Impact Urban Design and Development*), (Zhou, 2014). No presente trabalho optou-se por utilizar a designação de tecnologias verdes de drenagem.

É relevante ressaltar que, embora existam variações nas terminologias adotadas assim como diferenças nas suas áreas de aplicação (umas mais locais, outras mais abrangentes), estas convergem para uma mesma filosofia: gerir de forma sustentável as águas resultantes de precipitações, visando minimizar a degradação ambiental e alcançar uma harmonia com o meio

ambiente, propiciando a proteção dos recursos naturais, da saúde pública e da diversidade biológica (Zhou 2014).

Assim conclui-se que a gestão de águas pluviais em meios urbanos é um tema atual e que merece especial atenção, dado que a água pluvial pode ser considerada um ativo e não simplesmente como a causa de um problema. É deste modo que surge a presente dissertação, que procura estudar esta temática de maneira a contribuir para o desenvolvimento do conhecimento sobre as melhores práticas sustentáveis de gestão das águas pluviais urbanas.

1.2. Objetivos

Os principais objetivos deste trabalho são realizar um estudo bibliográfico atualizado das melhores técnicas de gestão de águas pluviais urbanas para que, em um segundo instante, sejam apresentadas propostas de intervenção para uma área urbana, visando a mitigação de enchentes numa via pública denominada Avenida Nações Unidas, localizada no município brasileiro de Bauru/SP.

Após escolhidas as melhores intervenções, foram realizadas simulações computacionais para comparação da eficiência de tais propostas através da análise de dados como a evolução dos caudais no tempo e extravasamentos em locais específicos do sistema de drenagem existente, simulados em cenários com e sem a aplicação das tecnologias verdes. Por fim, apresenta-se a discussão dos resultados numa abordagem de dimensionamento e não de verificação do funcionamento real do sistema.

Também há a intenção de que este trabalho divulgue os melhores métodos de gestão sustentável das águas pluviais, tratando-as não como um problema, mas sim, como um ativo importante.

1.3. Estrutura da dissertação

Este trabalho é composto por cinco capítulos, nomeadamente, a introdução, a revisão bibliográfica, metodologia, resultados e discussões e as considerações finais.

Neste primeiro capítulo é feita uma breve introdução ao tema a ser estudado, apresentam-se os objetivos da dissertação e a estrutura da dissertação, de modo a dar uma visão geral e guiar o leitor pelo tema proposto.

O segundo capítulo dedica-se a uma revisão bibliográfica acerca do tema estudado, estende-se desde questões relacionadas com a legislação brasileira, portuguesa e da Organização das Nações Unidas, até questões relacionadas com as tecnologias de gestão sustentável que podem ser aplicadas para gerir as águas pluviais. Neste último tópico são descritas várias tecnologias, umas mais usuais que outras, no entanto todas já amplamente divulgadas dentro do conceito de gestão sustentável das águas pluviais.

A terceira parte foca principalmente na metodologia, apresentando-se ao leitor a cidade brasileira de Bauru, que sofre com problemas relacionados com inundações numa das suas avenidas principais. São abordados temas como a construção do sistema de drenagem e avenida em questão, o clima, o tipo de solo e taxas de infiltração do solo. Ainda neste terceiro capítulo, é apresentado o software usado e a metodologia adotada para a sua aplicação: delimitação da área de estudo em sub-bacias, características dos coletores e dos nós da rede de drenagem existente, e dados de precipitação a utilizar nas simulações. Por fim são descritas as tecnologias verdes de drenagem a serem simuladas, visando reduzir os impactos negativos de um episódio de precipitação sobre o sistema de drenagem existente.

Expõem-se na quarta parte (resultados e discussão) os resultados obtidos, comparando os caudais e taxas de infiltração para os eventos de precipitação correspondentes aos quatro períodos de retorno estudados. Os resultados encontram-se maioritariamente organizados na forma de gráficos, apresentando-se algumas tabelas para evidenciar a diferença obtida nos caudais extravasados em nós específicos do sistema de drenagem, mostrando desta forma o possível efeito da aplicação de tecnologias verdes em sistemas de drenagem existentes.

O quinto capítulo expõe ao leitor as conclusões, faz uma breve discussão sobre os resultados obtidos por meio da ferramenta computacional usada e das técnicas de gestão sustentável de águas pluviais usadas e por fim, são dadas sugestões para trabalhos futuros de modo a tentar fomentar o uso de tecnologias verdes na gestão das águas pluviais.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Legislação brasileira e portuguesa

De forma a incentivar um melhor aproveitamento das águas pluviais, o governo brasileiro, segundo informações da Agência Nacional de Águas (ANA), aprovou em 2017 a Lei nº 13.501/2017 que acrescenta à Política Nacional de Recursos Hídricos, também conhecida como Lei das Águas (Lei nº 9.433/97), o seguinte objetivo: incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais (ANA, 2017).

Art. 2º São objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

I - Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;

II - A utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;

III - A prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

IV - Incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais. (Incluído pela Lei nº 13.501, de 2017)

Fonte: ANA, Lei nº 9.433/97

Todos os quatro objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos incentivam o uso racional e sustentável da água, assegurando que o recurso deve ser gerido de forma a garantir, não apenas às gerações hodiernas, mas às vindouras, o atendimento de suas necessidades básicas de água. Em consonância, é de salientar que os objetivos III e IV podem ser vistos sob uma ótica comum, na qual o incentivo à recolha e aproveitamento de águas pluviais pode ser um aliado valioso a favor da prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos.

Já em Portugal, foi criado no ano de 2001, o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA), que a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) define como sendo “[...] um instrumento de política ambiental nacional que tem como principal objetivo a promoção do Uso Eficiente da Água em Portugal, especialmente nos setores urbano, agrícola e industrial, contribuindo para minimizar os riscos de escassez hídrica e para melhorar as condições ambientais nos meios

hídricos, sem pôr em causa as necessidades vitais e a qualidade de vida das populações, bem como o desenvolvimento socioeconómico do país.”(APA n.d.).

Devido aos vários documentos emitidos no âmbito do PNUEA desde sua criação, publicou-se no ano de 2005 a Resolução do Conselho de Ministros nº 113/2005, que visava a, promoção das melhores práticas de gestão sustentável das águas descritas no PNUEA e tendo como objetivos gerais de sua última edição até a presente data, os que seguem.

- Melhorar a eficiência de utilização da água, sem pôr em causa as necessidades vitais e a qualidade de vida das populações, bem como o desenvolvimento do país, tendo como objetivos complementares a redução da poluição das massas de água e a redução do consumo de energia;
- Promover o Uso Eficiente da Água em Portugal, contribuindo para a minimização dos riscos decorrentes da carência de água em situação hídrica normal, potenciada durante os períodos de seca;
- Contribuir para a consolidação de uma nova cultura da água em Portugal que valorize de forma crescente este recurso, atribuindo-lhe a importância devida no desenvolvimento humano e económico e contribuindo para a preservação do meio natural, numa ótica de desenvolvimento sustentável.

Ambos os Estados têm intenções similares quanto à preservação e promoção das melhores práticas e tecnologias para o aproveitamento de recurso tão valioso quanto a água, sendo de salientar que estas leis e programas estão de acordo com a agenda da Organização das Nações Unidas para o desenvolvimento sustentável. Esta agenda elencou 17 áreas com metas para serem alcançadas até o ano de 2030 (Organização das Nações Unidas 2018), como mostrado na **Figura 5**.



Fonte: (Organização das Nações Unidas, 2018)

Figura 5 - Objetivos para o desenvolvimento sustentável

Embora muitos dos objetivos estejam interligados, salienta-se que, os objetivos 6 (relacionado especificamente com a água) e 11 (relacionado com as cidades e comunidades sustentáveis) apresentam um elo robusto, visto que, uma comunidade não pode ser sustentável se não gere com sabedoria os seus recursos e em especial os hídricos.

Explicitando esta ligação pode-se citar alguns pormenores destes objetivos. No objetivo 11, como proposta para ser realizada com prazo limite até 2030 tem-se: reduzir o impacto ambiental negativo per capita nas cidades, prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros; já no objetivo 6, há a seguinte meta: proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas húmidas, rios, aquíferos e lagos.

Portanto, ao buscar o atendimento das metas do sexto objetivo, busca-se mesmo que indiretamente, o cumprimento do décimo primeiro objetivo no sentido de reduzir o impacto ambiental negativo per capita dos centros urbanos. Por fim, vale ressaltar que ambas as legislações, brasileira e portuguesa, vão de encontro às melhores intenções descritas na Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas.

2.2 Demais conceitos no mundo

Face aos desafios que enfrentam as cidades no âmbito da administração de recursos naturais, espaço e resíduos, algumas técnicas antigas têm sido reavivadas e novas têm sido criadas para uma administração mais sustentável de tais questões. Estes novos conceitos e formas de enfrentar os problemas podem ser designados como *green infrastructures* (GI), *ecosystem services* (ES) e mais recentemente *nature-based solutions* (NBS) (Escobedo et al. 2019).

As GI, por corresponderem a um conceito genérico e podem ser virtualmente implementadas para os mais variados problemas, desde o tratamento e destino final dos resíduos sólidos urbanos, a ações de planeamento do tráfego urbano, e até à recuperação de áreas degradadas e redução de ilhas de calor urbanas. No entanto para que os resultados esperados com sua implementação sejam obtidos, elas precisam ser adotadas tendo em conta as peculiaridades locais, já que uma solução para a gestão dos resíduos sólidos urbanos de um grande centro europeu nem sempre resultará para a gestão de resíduos de uma cidade da América Latina.

Essas possíveis articulações dos conceitos acabam por gerar uma miríade de subdivisões dentro dos termos genéricos supracitados, o que gera em alguns casos dificuldades relativamente à realização de pesquisas e disseminação de conhecimento, visto que, um pesquisador pode estar usando em suas pesquisas apenas um dos termos e assim, involuntariamente, deixando de lado trabalhos que adotam diferente nomenclatura.

Uma das subdivisões dos termos acima mencionados pode ser exemplificado pelas GI focadas no manejo de águas pluviais, neste contexto usam-se muito os termos, LID (*Low Impact development*), WSUD (*water sensitive urban design*) e SUDS (*sustainable urban drainage system*). Enfatizando ainda mais a fragmentação do conceito de GI em articulações discretas (Matsler et al., 2021).

Nos Estados Unidos da América, tais tecnologias são tratadas como sendo as LID, a seguir a mesma linha, na Europa a nomenclatura muda para WSUD, no entanto, apesar de pequenas mudanças nas nomenclaturas e forma de conceituação, o objetivo final acaba sendo o mesmo, diminuir de forma sustentável os impactos negativos de eventos relacionados a água ou sua escassez por meio de potencialização de processos naturais.

No caso norte-americano, o termo LID foi cunhado inicialmente no ano de 1990 após pesquisas realizadas pelo departamento de recursos ambientais de Maryland, condado norte americano de Prince George (Maryland County, 1999). A municipalidade ao explorar soluções mais económicas

para a administração das suas águas pluviais, tais como algumas técnicas de biorretenção que já haviam sido implantadas de forma esparsa, produziu um manual municipal de dimensionamento para o desenvolvimento de baixo impacto ou em inglês, *municipal Low Impact Development Design Manual*, tal manual foi posteriormente publicado e distribuído para o público em geral (Eckart et al., 2017), de tal modo que o termo se disseminou.

Seguindo o mesmo princípio, surgiram na Europa e na Austrália diferentes denominações para estes sistemas, respetivamente SuDS e WSUD. O termo europeu, inicialmente usado no Reino Unido, segundo o SuDS manual (Kellagher et al., 2015), foca-se na maximização dos benefícios e minimização dos impactos negativos dos escoamentos superficiais em áreas já consolidadas. Ainda segundo a mesma publicação, os SuDS podem ser implementados nos espaços mais diminutos sendo particularmente importante a sua implantação em áreas densamente urbanizadas, onde os espaços são sobremaneira valorizados.

2.3 Tecnologias no âmbito da gestão sustentável de águas pluviais

Procurando alcançar as metas nacionais e internacionais, os estados viram-se na necessidade de incentivar o estudo de tecnologias diferentes das habituais no que diz respeito ao trato de águas pluviais, buscando não apenas o transporte da massa de água de um local para outro, mas também a sua gestão sustentável e inclusive aproveitamento.

Nessa conjuntura, começaram a ser implementados novos processos, classificados como não estruturais, que visam mitigar os eventos através de políticas educativas e de zoneamento urbano, e os estruturais, que implicam mudanças físicas na infraestrutura urbana. Estes últimos foram ainda objeto de uma segunda classificação, quanto ao local de implantação (na fonte ou centralizado) como mostrado na **Figura 6**.



Fonte: Righetto, et. al. (2009), adaptado.

Figura 6 - Técnicas estruturais e não estruturais para a gestão de águas pluviais

2.3.1 Técnicas não estruturais

São consideradas técnicas não estruturais as que contribuem para a diminuição dos efeitos negativos de uma chuvada num sistema de drenagem já consolidado e insuficiente, sem que se façam alterações físicas neste sistema. Portanto as ações a serem tomadas não contemplariam obras físicas, mas sim ações sociais visando a modificação de comportamentos, nomeadamente, atos legais, sanções económicas e a consciencialização por meio da educação (Righetto, et al., 2009). A **Figura 7** apresenta algumas destas ações.

Estes processos são tratados como sendo técnicas de controlo na fonte ou origem já que atuam no local ou em proximidade das fontes geradoras do caudal, estabelecendo critérios de controlo do uso e ocupação do solo nestes sítios.

Principais categorias	Medidas não estruturais
Educação pública	Disseminação do conhecimento
Planeamento e gestão da água	Equipa técnica capacitada Superfícies vegetadas Áreas impermeáveis desconectadas Incentivo à utilização de telhados verdes Urbanização de pequeno impacto
Uso de materiais e produtos químicos	Uso de produtos não poluentes Boas práticas de manuseio e armazenamento
Manutenção dos dispositivos de infiltração nas vias	Varrimento de ruas Coleta de resíduos sólidos Limpeza dos sistemas de filtração Manutenção dos sistemas de drenagem Manutenção dos canais e meios hídricos
Controlo de ligação ilegal de águas residuais	Medidas contra ligações ilegais Fiscalização: deteção, retirada e coima Controlo do sistema de águas residuais
Aproveitamento de águas pluviais	Jardinagem e lavagem de veículos Incentivar sistemas prediais de reutilização Incentivar o seu uso em fontes e lagos

Fonte: Righetto, et. al. (2009), adaptado.

Figura 7 – Exemplos das principais categorias de medidas não estruturais

2.3.2 Técnicas estruturais

As técnicas estruturais focam-se na construção de estruturas para viabilizar o armazenamento, reutilização e infiltração da água, tentando por meio destas controlar o seu ímpeto e mitigar eventos extremos como, secas e enchentes. Todavia é relevante frisar a dificuldade da adoção de tais técnicas em áreas urbanas já consolidadas, visto as dificuldades quanto às necessidades de espaço e orçamento municipal.

O uso de técnicas sustentáveis na gestão das águas pluviais pode resultar em economia de recursos, como lembrado por Coffman (2000), podendo alcançar percentuais de redução de 25% a 30% quando comparados às abordagens tradicionais. Estas reduções dão-se devido à redução

da necessidade do uso de bacias de retenção e detenção, redução do uso e diâmetro das tubagens, redução da necessidade de gradeamento e manutenção, dentre outras.

As supracitadas tecnologias estruturais podem ser enquadradas em algumas categorias distintas, como lembra Cruz (2013) e também Silva (2013), e podem ser tanto de controlo na origem, quanto de controlo centralizado.

2.3.3 Técnicas localizadas de controlo na fonte

Neste método, a gestão das águas pluviais leva em conta soluções implementadas próximas do ponto onde a precipitação ocorre. Tais técnicas visam retardar o escoamento superficial causado por uma chuvada, de modo a postergar a soma de vários volumes de água que, posteriormente dariam origem a uma enchente ou inundação. Muitas vezes, por se tratar de tecnologia implantada em imóveis particulares e ser, maioritariamente, de média e baixa dimensão, a sua capacidade de redução de cheias é reduzida.

O controlo na fonte ou origem traz algumas vantagens para um sistema de drenagem urbano já consolidado. Pode diminuir os caudais a serem drenados pela rede, melhorar a qualidade das águas pluviais, em virtude da mimetização de processos naturais, assim como, ao fomentar a reutilização, diminuir a demanda sobre os sistemas de tratamento de águas para consumo humano. As técnicas mais conhecidas de controlo são:

- Microrreservatórios;
- Coberturas Verdes;
- Poços de infiltração;
- Superfície de infiltração;

2.3.3.1 Microrreservatórios

Os microrreservatórios (**Figura 8**) são soluções pensadas inicialmente para o aproveitamento das águas provenientes de uma chuvada, entretanto seu uso quando difundido por inúmeros imóveis em uma área densamente povoada e impermeabilizada, pode ter um efeito atenuador no caudal de pico de um evento de precipitação. Tal efeito dá-se porque a água que outrora iria diretamente para as redes de drenagem prediais e urbanas, passa a ser interceptada e armazenada, postergando o início do escoamento.



Fonte: ecicle (2020).

Figura 8 – Microrreservatório residencial de captação de águas pluviais

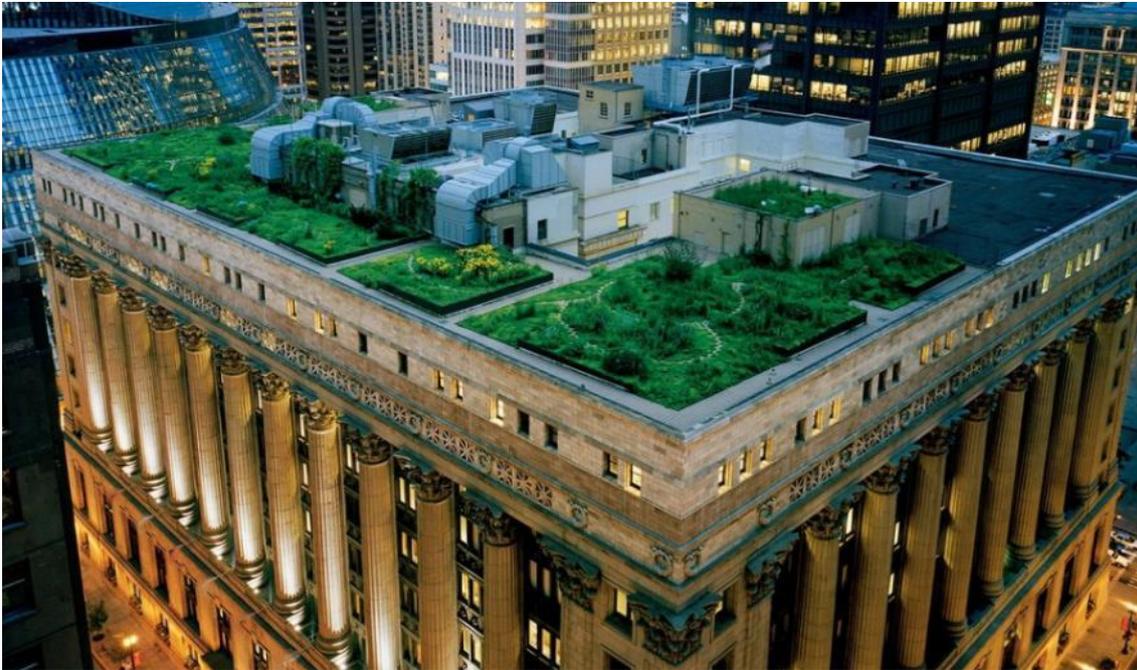
Dependendo da capacidade e da quantidade de reservatórios instalados numa área, estes podem mitigar de forma significativa uma enchente, como demonstrado pelo trabalho de Freni e Liuzzo (2019) em um bairro residencial de Palermo, Itália. Estes autores testaram a efetividade de microrreservatórios residenciais de 5 m³ durante eventos chuvosos de variada intensidade numa área de 1,6 km², e concluíram que a instalação dos pequenos reservatórios pode contribuir para o melhor funcionamento dos sistemas de drenagem pluvial convencionais consolidados. Todavia salientou-se que, durante eventos com chuvas muito intensas ou com curtos intervalos entre as chuvadas tal solução viria a falhar, dado o fato dos reservatórios terem uma capacidade de armazenamento pequena.

Ademais, a água captada das chuvas deve ter a sua reutilização condicionada ao tipo de tratamento que recebe. Quando não tratado, a água da chuva deve apenas ser usada para tarefas menos nobres como regas, limpeza de pisos ou lavagens de carros, evitando-se o seu uso para consumo humano direto, preparação de alimentos e banhos.

2.3.3.2 Coberturas verdes

As coberturas verdes, também denominadas telhados verdes ou coberturas ajardinadas **Figura 9**, estão a popularizar-se com o passar dos anos e com benefícios que vão muito além de fatores

estéticos. Se bem pensadas e implementadas tais estruturas, quando disseminadas por vários prédios, podem ter papel relevante no controlo dos picos de escoamento provenientes de uma chuva. Através do aumento da evapotranspiração o telhado verde pode reter até 70% das chuvas intensas de curta duração (Righetto, et al., 2009).



Fonte: Natgeo (2020).

Figura 9 - Telhado verde em prédio

Tal tecnologia consiste na aplicação de uma cobertura vegetal sobre a cobertura de um determinado imóvel, entretanto é necessário que a implementação do telhado verde propicie sobretudo um bom sistema de impermeabilização e drenagem, de modo a salvaguardar o edifício contra futuros problemas de infiltração (**Figura 10**), pois em grande parte do tempo o substrato onde as plantas se irão desenvolver estará húmido.

Outros pontos importantes para o seu correto funcionamento passam pela estrutura do edifício ser capaz de suportar as cargas permanentes decorrentes da sua implementação e pela escolha das plantas a serem cultivadas. Estas terão de ser tais que as suas raízes não comprometam a estanqueidade do mesmo, e suportem o clima local em suas condições atmosféricas mais adversas.



Fonte: oldroyd (2020).

Figura 10 - Esquema de camadas de um telhado verde

Para além do efeito sobre as precipitações, as coberturas verdes ainda contam com mais alguns aspetos positivos, tais como: criar um isolamento térmico natural para o edifício já que, ao impedir a insolação direta, reduzem as temperaturas internas do mesmo; diminuir as ilhas de calor urbanas; fornecer habitat para alguns insetos, pássaros; e constituir um possível local de convívio humano.

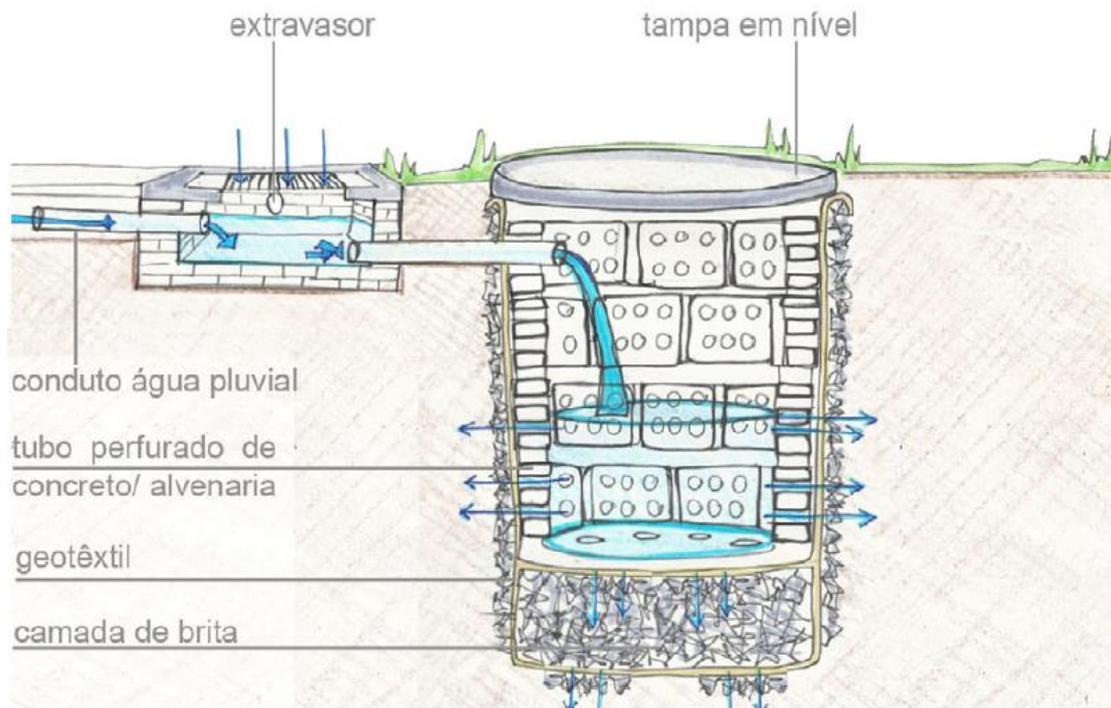
Outro fator relevante que determina a capacidade de mitigação de caudais causada pela implantação de tal LID está relacionado com a região de implantação. Pois, ao depender do clima e concomitantemente da vegetação adequada a este e das características do substrato implantadas, a estrutura terá maior ou menor capacidade de absorção de caudais.

Comparações feitas entre telhados verdes construídos em climas tropicais (grupo A), áridos (grupo B), temperados (grupo C) e nevosos (grupo D) mostraram que, as médias e as medianas das taxas de retenção dos grupos A (65,86%/73,00%) e B (71,28%/78,10%) eram relativamente maiores do que as do grupo C (60,24%/63,00%) e D (56,04%/57,10%) (Akther et al., 2018).

2.3.3.3 Poços de infiltração

As tecnologias infiltrativas, nas quais se encaixam não somente os poços de infiltração (**Figura 11**), além da esperada diminuição do caudal efluente causado por uma precipitação, contribuem

também para a recarga de aquíferos. Esta recarga é necessária, haja visto a dicotomia entre a necessidade cada vez maior de água nas cidades, o que as leva a usar recursos subterrâneos, frente à crescente impermeabilização do solo que dificulta a recarga destes.



Fonte: (Silva, 2013)

Figura 11 - Esquema de um poço de infiltração

Na cidade de Chandler, situada no estado do Arizona, EUA, foi realizado um estudo no qual se acompanhou a eficiência de 3763 poços de infiltração em situação menos urbanizada e posteriormente em situação mais urbanizada. Constatou-se que, na situação inicial, a recarga das águas subterrâneas foi da ordem de $2 \times 10^5 \text{ m}^3$ por ano, já em cenário mais urbanizado a recarga foi estimada em $3 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água por ano (Graf., 2015).

Tal estudo demonstra que, a eficiência da infiltração da água da chuva de tal tecnologia LID é tanto maior quanto maior o grau de urbanização, sendo uma aliada para a redução dos picos de caudal causados por uma chuvada e assim minimizando a pressão sobre os sistemas convencionais de drenagem, o que por sua vez acarreta custos menores com a implementação destas infraestruturas tradicionais.

Os poços de infiltração geralmente são buracos escavados no solo (preenchidos por material granulado ou não), sendo a profundidade a sua mais proeminente dimensão. Estas estruturas muitas das vezes são envoltas por materiais mais resistentes e permeáveis de forma a garantir

alguma resistência estrutural. Podem contar com uma camada externa composta por geotêxtil, com a finalidade de impedir que partículas de solo venham a tapar os poros do material estrutural permeável, garantindo que a estrutura tenha a sua vida útil aumentada.

Estes poços, dependendo do dimensionamento, características pluviométricas e do solo local, podem ou não ser interligados com a rede coletora pluvial. Em regiões nas quais os poços não tenham tempo hábil para infiltrar todo o caudal de entrada devido às chuvas frequentes, faz-se necessário o uso desta interligação para evitar o extravasamento das águas.

Por se tratar de estruturas pontuais, apresentam a vantagem de poderem ser escondidas sob o pavimento, não necessitando de grandes áreas superficiais para sua implementação. Apresentam ainda um baixo impacto visual negativo em termos da estética da cidade, como pode ser visto na **Figura 12**.



Fonte: thisoldhouse (2020).

Figura 12 - Imagem da instalação de um poço de infiltração num jardim

O uso destas técnicas fica condicionado a alguns critérios como, por exemplo: a capacidade de infiltração do solo local; o nível do lençol freático no sítio de implantação e a qualidade da água que vai ser infiltrada. Este último critério tem grande relevância, pois apesar do processo de filtração do solo retirar grande parte das impurezas, algumas ainda podem atravessar tal proteção e causar contaminação indesejada das águas subterrâneas.

Para tentar minimizar uma possível contaminação das águas subterrâneas e também potencializar a capacidade infiltrativa, é recomendado que o fundo do poço fique a cerca de 0,60 m a 1,20 m acima do leito rochoso ou lençol freático, e apresentar uma profundidade a variar de aproximadamente 1,00 m a 3,60 m (Maryland County, 1999).

Entretanto, num estudo realizado ao longo de 10 anos na cidade de Los Angeles não foram encontradas grandes evidências de contaminação das águas subterrâneas pelas tecnologias de cunho infiltrativo. Pelo contrário, um estudo conduzido em Phoenix, Califórnia, constatou uma melhoria na qualidade das águas subterrâneas devido à presença dos poços de infiltração (Graf., 2015).

Embora, como supracitado, não tendo sido notadas evidências de contaminação das águas subterrâneas, em estudo realizado em 10 eventos chuvosos na cidade de Melbourne, EUA, constatou-se que, não havia reduções significativas na concentração de poluentes entre a água efluente e afluente dos poços de infiltração, demonstrando que tal tecnologia em si não tem efeitos para o tratamento qualitativo das águas. Esse estudo também constatou efeitos benéficos da aplicação de tal LID, nomeadamente uma redução da energia de escoamento, reduzindo-se assim problemas associados a erosão (Talebi. et al., 2014).

2.3.3.4 Superfícies de infiltração

As superfícies de infiltração (**Figura 13**), são de faixas de solo não impermeabilizadas que podem apresentar um acabamento superficial vegetado (relva ou demais plantas) ou de cascalho. Podem contar ainda com um sistema de drenagem, não sendo esta uma característica essencial da técnica em si.

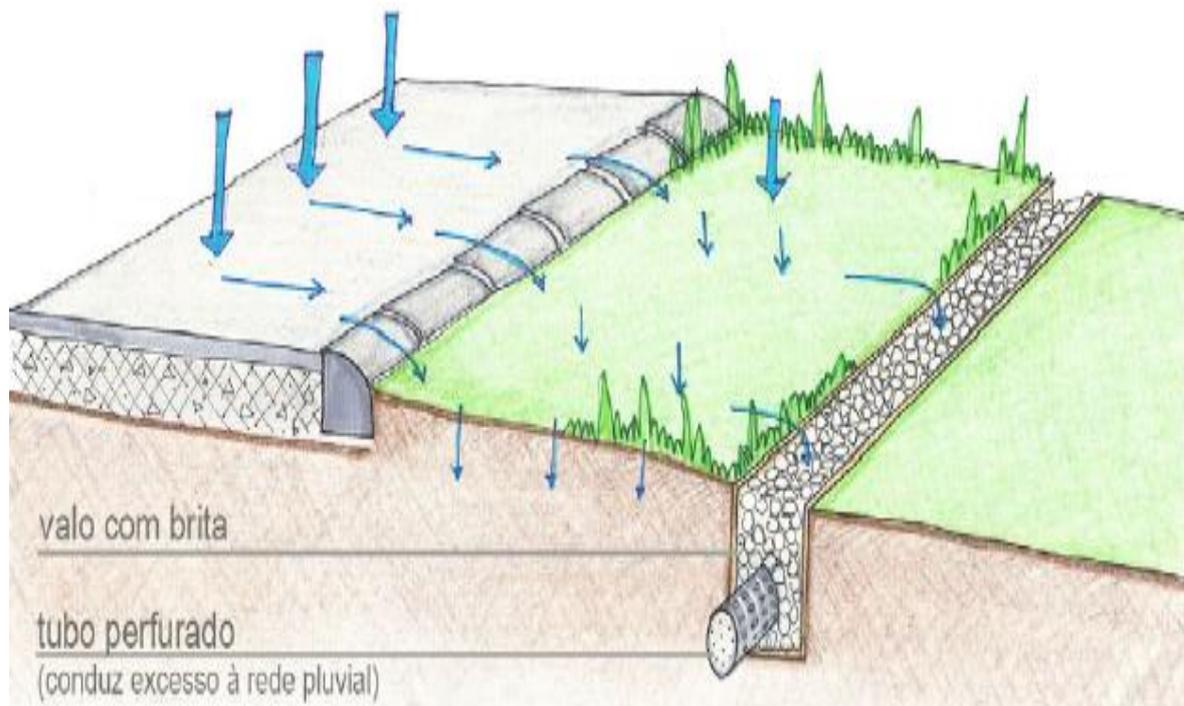
São sistemas eficientes para remover os sólidos coloidais presentes na água. A água tratada pode ser usada na recarga do aquífero ou no escoamento de base em áreas próximas de rios. Se forem revestidas com vegetação, podem ter maior eficiência na remoção de poluentes. O seu uso permite absorver os impactos da urbanização, aumentando as condições de armazenamento e de infiltração da água na bacia, reduzindo os efeitos do escoamento no meio hídrico recetor (Righetto, 2009).

Este método é extremamente dependente da capacidade de infiltração superficial do solo e da área disponível para sua implementação, de tal modo que a razão entre a capacidade de infiltração e a área necessária para implantação é inversamente proporcional. Assim sendo, quanto menores

as capacidades de infiltração do solo, tanto maiores serão as áreas necessárias para o correto funcionamento da tecnologia.

É importante dizer que, em situações nas quais o afluente traga consigo grandes quantidades de material particulado, este pode comprometer sobremaneira a capacidade de percolação e infiltração. Portanto, perante o exposto, tal método tem sua capacidade de mitigação de eventos reduzida em climas com chuvas muito intensas ou frequentes.

Todavia, tal método do ponto de vista urbanístico tem boa aceitação devido a contribuir para a diminuição da impermeabilização urbana, para o embelezamento urbano quando associado ao paisagismo e, dependendo da sua extensão e espécies usadas, para a diminuição das zonas de calor urbanas e até do ruído urbano (Figura 14).



Fonte: (Silva, 2013)

Figura 13- Esquema de superfície de infiltração



Fonte: thecityfixbrasil.org (2020).

Figura 14 - Superfície de infiltração associada a jardim de chuva

2.3.4 Técnicas lineares de controlo na fonte

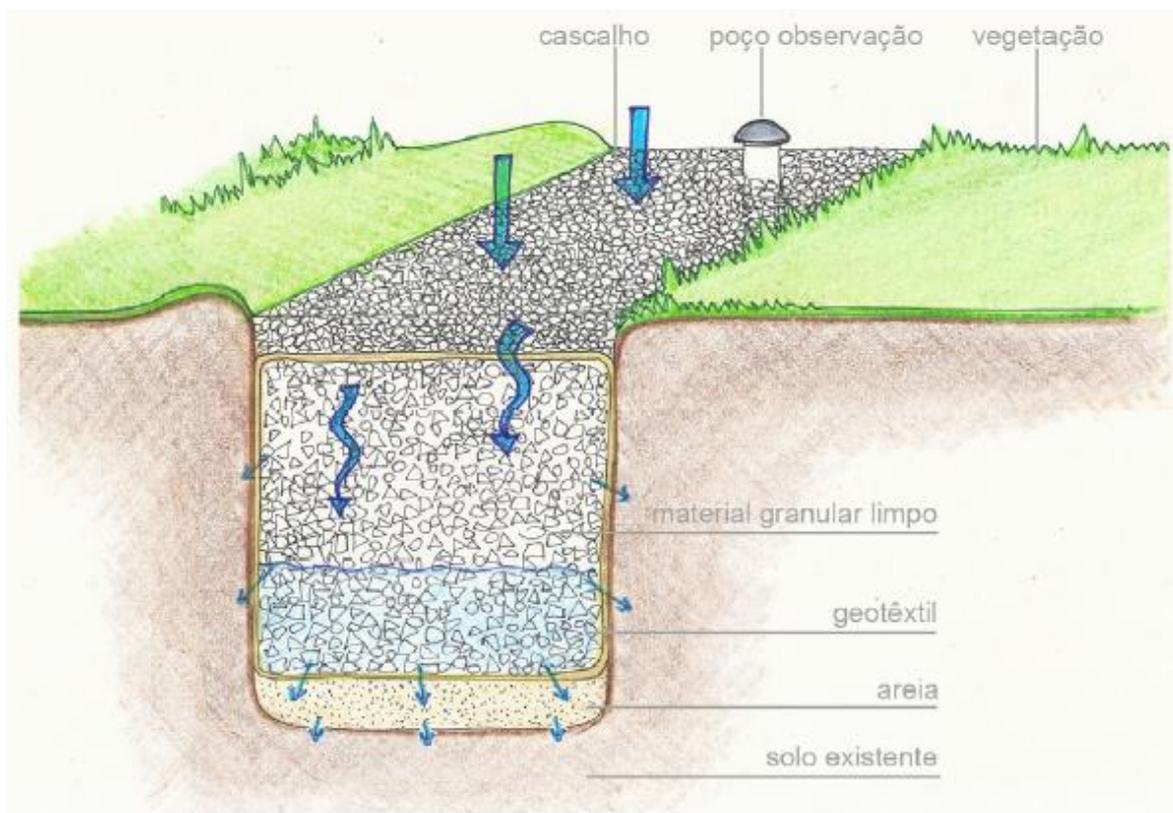
Ainda dentro das técnicas de controlo na fonte, existem as técnicas lineares de controlo na fonte. Como o próprio nome indica são instrumentos que, assim como as suas pares anteriores, atuam no local onde se formam os escoamentos, ou seja, tentam dar solução aos problemas a montante, antes que grandes volumes de caudais sejam atingidos. Tais tecnologias diferem das anteriores por apresentarem um de suas dimensões muito maior que as demais, são elas as mais perpetuadas:

- Trincheiras de infiltração;
- Valas de detenção e infiltração;
- Faixas relvadas;
- Pavimentos permeáveis;

2.3.4.1 Trincheira de infiltração

As trincheiras de infiltração (Figura 15 e Figura 16) são uma tecnologia bastante simples, sendo constituídas por uma vala de comprimento muito superior às demais dimensões e não muito profunda, sendo recomendado uma profundidade de 0,90 m a 2,40 m.

As valas escavadas são comumente separadas do solo por uma manta geotêxtil e depois preenchidas com material de granulometria adequada à percolação das águas, geralmente rocha britada. Também é recomendável que tais trincheiras fiquem a uma distância mínima de 1,20 m acima do nível do lençol freático, como lembrado por Cruz (2013).



Fonte: (Silva, 2013)

Figura 15 - Esquema de trincheira de infiltração



Fonte: Sanebavi, prefeitura municipal de Vinhedo (2020).

Figura 16 - Trincheira de infiltração ao longo de um arruamento

Esta tecnologia pode ser implantada em estacionamentos, ou paralela a ruas e passeios. Há ainda relatos de sua implantação sob as lajes dos passeios públicos, neste caso a água proveniente das chuvas seria conduzida para as sarjetas, que por fim ligariam não ao sistema de drenagem convencional, mas às trincheiras escondidas.

Elas podem ser separadas em duas categorias distintas: as superficiais e as profundas. As superficiais não apresentam profundidade significativa e, portanto, têm menor capacidade de retenção do volume gerado por uma chuvada, assim como uma menor capacidade de tratamento dos contaminantes presentes na água, sendo são comumente instaladas em zonas residenciais. Por outro lado, as profundas apresentam maior volume de armazenamento e de retenção de poluentes, sendo mais indicadas para sítios de urbanização intensa e elevado tráfego viário, dada a dificuldade em se encontrar áreas para implementação de outras tecnologias.

Aa trincheiras de infiltração são de simples construção, têm efetiva capacidade de aumentar a profundidade da água infiltrada no solo, aumentando sobremaneira o seu armazenamento nas camadas do mesmo, além de diminuir os escoamentos superficiais, o que previne a erosão dos solos (Abu-Zreig, et al., 2000).

Além das vantagens supracitadas a implantação deste sistema não necessita de grandes áreas e também não causa um impacto urbanístico negativo significativo, haja visto que pode ficar oculto sob os arruamentos, no entanto, dependendo do tipo de solo, da quantidade de material particulado arrastado pela precipitação e da profundidade do lençol freático, pode não ser um sistema adequado a todos os sítios.

É necessário efetuar a manutenção periódica deste sistema, para que seja mantida a sua capacidade de infiltração, pois dependendo da quantidade de material particulado arrastado pelo escoamento afluente, a colmatção dos poros pode acontecer com frequência.

Esta manutenção é realizada através da inserção de um tubo perfurado de PVC com abertura nos topos, desde a superfície até à base, que permite a observação do nível de água na trincheira e a contabilização do tempo que leva para baixar. É assim possível estimar a velocidade de infiltração na trincheira, que deverá estar compreendida entre 7,6 mm/h e 60 mm/h (Tomaz, 2016).

Quando a taxa de infiltração é reduzida, significa que o preenchimento da trincheira e/ou o filtro geotêxtil envolvente se encontram colmatados, sendo, portanto, necessário proceder à sua correção através da substituição dos materiais da trincheira (Cruz, 2013).

2.3.4.2 Vala de detenção e infiltração

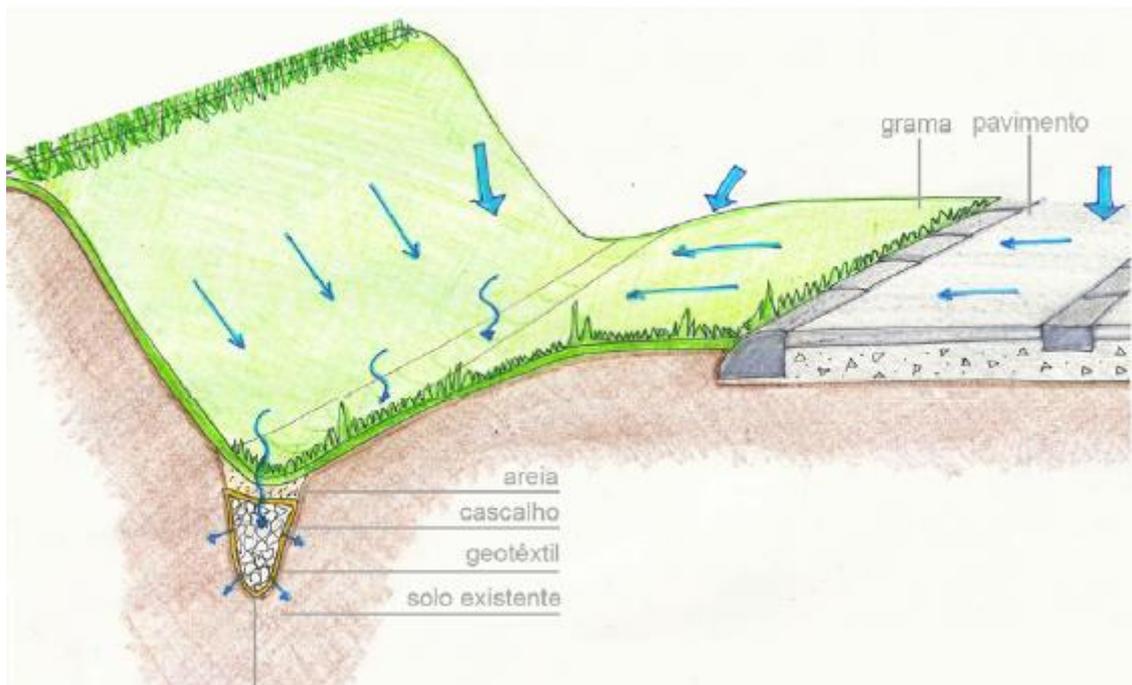
As valas de detenção (**Figura 17**) recorrem a dois processos para tentar amenizar os caudais de pico de uma chuvada. O primeiro é a detenção, que se trata do simples armazenamento de um volume de água durante um período de tempo, e o segundo é o processo de infiltração, o qual será o responsável pelo esvaziamento da vala, preparando-a para suportar o próximo evento chuvoso.

Durante uma precipitação intensa, os caudais que escoam para a vala são superiores à sua capacidade de infiltração, acabando por se acumular. Ocorre então o seu enchimento, funcionando a vala neste estágio como um reservatório de detenção. Findo o evento chuvoso, acarretando uma consequente diminuição do escoamento superficial, o volume infiltrado pela vala passará a ser preponderante, esvaziando-a.

As valas tem características similares às das superfícies de infiltração e das valetas relvadas (substituição dos já conhecidos canais de betão por vegetados), porém contam com uma estrutura de fundo que vem a facilitar a infiltração da água no solo (Silva, 2013).

Como já dito em tópicos anteriores, esse tipo de tecnologia tem limitações quanto ao tipo de solo, declividade, espaço disponível, altura do lençol freático. Todavia apresenta pontos positivos principalmente relacionados com a possibilidade da cidade constituir um ambiente mais permeável, possibilitando a recarga dos aquíferos e se bem projetada, garantir um paisagismo agradável ao ambiente urbano.

Um estudo realizado na cidade de Sangerhausen, Alemanha, (Müller et al., 2014) aferiu o desempenho de 10 valas de retenção e infiltração destinadas à coleta de água pluviais e de degelo de neve, em 4 eventos chuvosos de duração, intensidade e frequência diferentes. Foi possível concluir que apenas 2 das valas não apresentavam capacidade suficiente para suportar a demanda causada por tais eventos, e demais exerciam papel importante na preservação das propriedades adjacentes. Mas também, como lembrado nesse trabalho, a eficácia do sistema dependia da manutenção e o cuidado, que é da responsabilidade pessoal dos proprietários. A fim de conscientizar os moradores sobre esta responsabilidade, e para fortalecer essa consciência, é necessário um trabalho de informação e educação por parte do poder público municipal junto aos residentes.



Fonte: (Silva, 2013)

Figura 17 - Esquema de vala de retenção e infiltração

2.3.4.3 Faixas relvadas

As faixas relvadas (**Figura 18**) são áreas não impermeabilizadas que comumente seguem paralelas aos arruamentos urbanos. Este sistema é bastante similar às superfícies de infiltração, haja visto que ambos fazem uso da infiltração para a melhor gestão das águas pluviais, não fossem as dimensões discrepantes.

Embora tal tecnologia tenha um baixo custo de aplicação, efeitos paisagísticos muito satisfatórios e contribua para a diminuição das ilhas de calor e ruídos urbanos (devido à vegetação implantada), ela apresenta uma baixa capacidade de infiltração e armazenamento, ou seja, se aplicada de forma isolada na maioria dos casos não é suficiente para atenuar o pico dos caudais advindos de uma chuvada.

Outra das aplicações desta técnica é ao nível dos lotes privados em ligação com os tubos de queda, para promover a infiltração da água recolhida no telhado, no entanto recomenda-se que a infiltração seja feita pelo menos a 5m da habitação, por forma a não influenciar as fundações. Hoje em dia, as faixas relvadas são comumente utilizadas como pré-tratamento associado a outras técnicas, como é o caso das trincheiras de infiltração (Cruz, 2013).



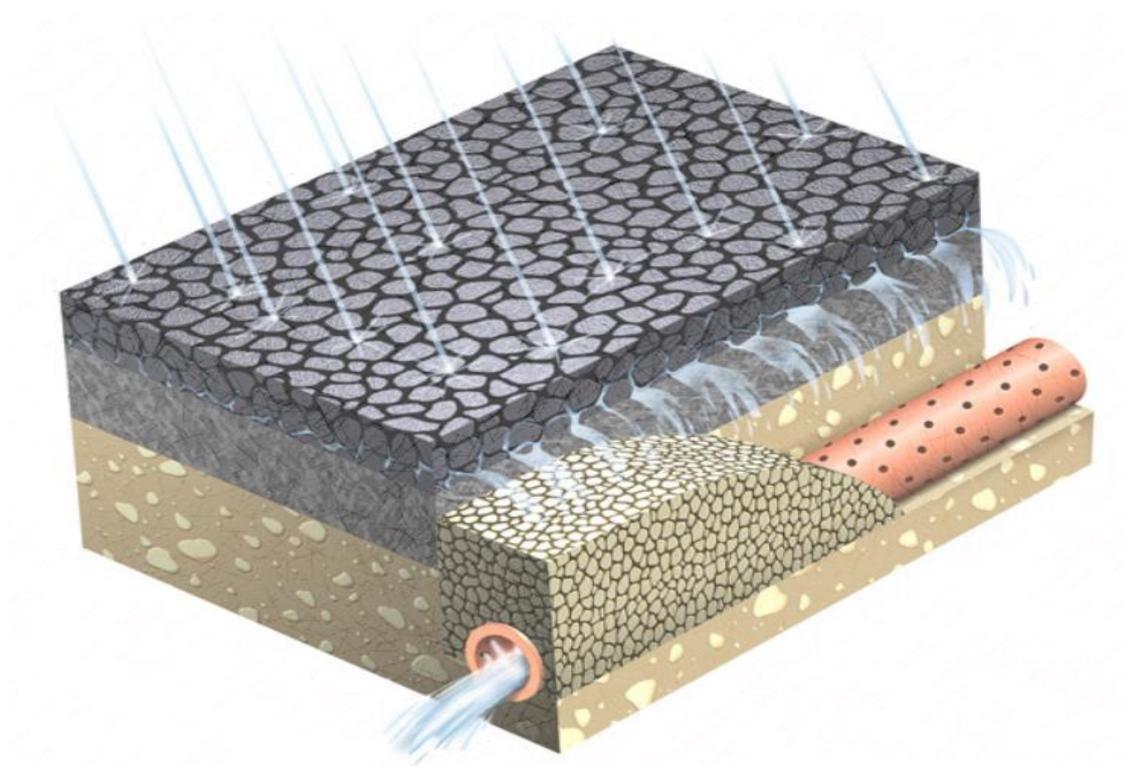
Fonte: projetopincel (2020).

Figura 18 - Faixa relvada em arruamento

2.3.4.4 Pavimento permeável

O pavimento permeável (**Figura 19**), conta com uma estrutura de drenagem invulgar, o pavimento em si atua como uma sarjeta, onde, ao invés de impedir o trânsito das águas em profundidade, o permite. Esta característica ajuda a diminuir o escoamento superficial e também a sua pressão sobre os sistemas de drenagem existentes, já que costuma retardar os picos de caudal.

Os pavimentos permeáveis podem ser de dois tipos: o do tipo reservatório, no qual a água percola através de sua superfície e é encaminhada para um reservatório no patamar inferior, ficando ali detida por determinado período; ou o sem reservatório, neste caso a água infiltrada pode, ou continuar seu trajeto para as camadas mais inferiores do solo até atingir o lençol freático, ou então ser conduzida até estruturas drenantes, estas então direcionarão o caudal para o sistema de drenagem urbano.



Fonte: engenharia360 (2020).

Figura 19 - Esquema de pavimento asfáltico permeável com dreno

A implantação deste tipo de pavimento ainda é rara, principalmente em locais de urbanização já consolidada, pois como lembra Righetto et al., (2009), em áreas em que a ocupação urbana já existe, o uso do subsolo por redes de infraestrutura urbana, como redes de abastecimento de água, de drenagem de águas residuais, de telefones, elétrica, fibra ótica e outras, pode ser um fator restritivo a alguns tipos de técnicas compensatórias.

Além de que deve ser dada atenção especial ao pavimento asfáltico permeável que, por contar com uma granulometria diferenciada em relação aos pavimentos ordinários, pode não suportar tão bem a movimentação de veículos pesados.

Se comparado ao pavimento reservatório, o sem reservatório, por não necessitar da instalação de estruturas subterrâneas de armazenamento, tem menos conflitos com infraestruturas enterradas já existentes. Vale salientar que, dependendo do local de implantação e do tráfego, podem ser usados diferentes materiais, inclusive com apelo mais paisagístico, como mostrado na **Figura 20**.



Fonte: aecweb (2020).

Figura 20 - Pavimento permeável relvado

Em trabalho realizado numa região da cidade de Nanjing, China, no qual foram implementados 14 cenários com as mais diferentes tecnologias LID, visando a melhor gestão das águas pluviais,

chegou-se à conclusão que os pavimentos permeáveis isoladamente provaram-se de grande relevância, haja visto que, com apenas 25% da área impermeável tratada com este método houve uma redução de 8,19% no volume dos caudais anuais, reduzindo-se também os custos com a gestão deste caudal se comparado aos sistemas tradicionais. No entanto, os pavimentos permeáveis, assim como as demais tecnologias nesse âmbito, funcionam melhor a trabalhar de forma conjunta. Ainda no mesmo estudo, constatou-se que, se todas as ruas privadas fossem tratadas com o mesmo método (cerca de 67,92% da área total impermeável) o caudal superficial podia ser reduzido em 22,25% (Li et al., 2021).

2.3.5 Técnicas de controle centralizado

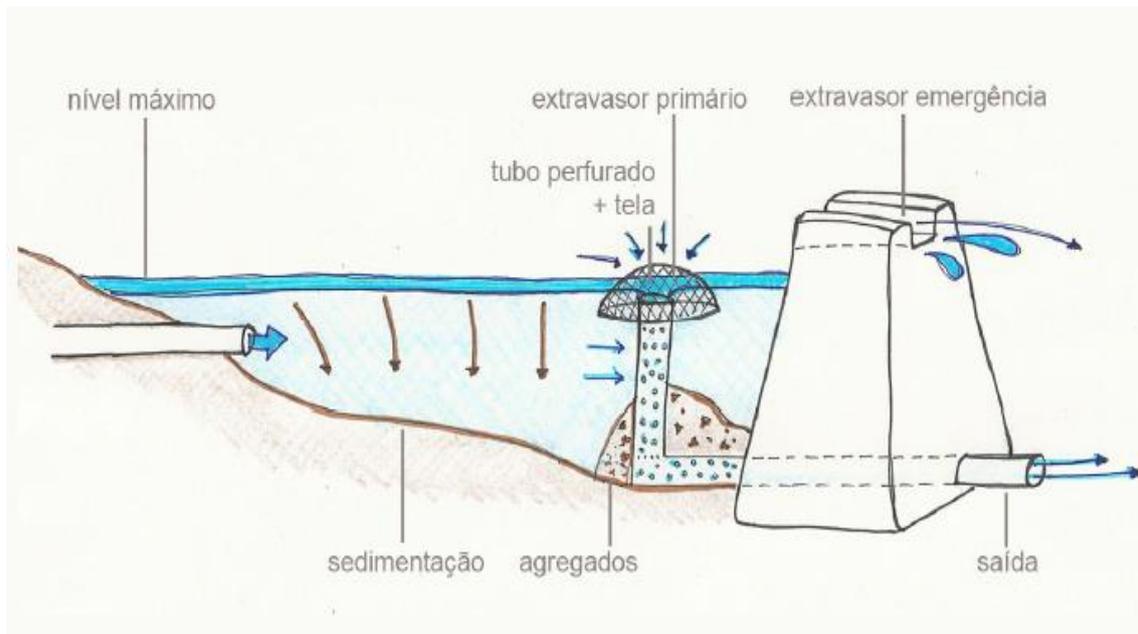
São técnicas que se assemelham a algumas de suas anteriores quanto aos processos usados, todavia diferem principalmente no que diz respeito à sua dimensão, sendo estas geralmente muito maiores e precisando assim de mais recursos e mais espaço para a sua implantação. São geralmente implementadas a jusante, captando a unidade dos caudais gerados a montante, portanto trabalhando com volumes e caudais muito maiores que as soluções anteriores.

Essas técnicas geralmente são implementadas pelo poder público devido justamente ao tamanho e complexidade, podendo-se elencar como técnicas de controle centralizado:

- Bacias de detenção;
- Bacias de retenção;

2.3.5.1 Bacias de detenção

As bacias de detenção (**Figura 21**) são sistemas de controle centralizado muitas vezes encontrados próximos a rios ou em áreas mais baixas do relevo, constituindo grandes reservatórios que têm como principal função o armazenamento do excesso de água proveniente de uma chuvada por um determinado período de tempo, variando de horas até dias.



Fonte: (Silva, 2013)

Figura 21 - Esquema de funcionamento de uma bacia de detenção

Este sistema, embora similar à bacia de retenção, difere em um aspecto chave, já que todo o volume de água armazenado é drenado, ou seja, algum tempo após o término do evento que causou a acumulação de água em seu interior, ela estará seca novamente.

A implementação de tais reservatórios pode ser diretamente no curso de um meio hídrico, o chamado de sistema *on-line*, ou ao lado do mesmo, chamado sistema *off-line*. A escolha de um método ou outro depende fortemente da urbanização e da área disponível, os sistemas em paralelo (*off-line*) são preferidos em regiões muito urbanizadas e com pouco espaço, pois podem ter uma profundidade maior, necessitando assim de uma área superficial menor para o volume de projeto desejado, por outro lado os sistemas em série (*on-line*) são implantados mais usualmente em áreas mais periféricas, nas quais há mais espaço.

Ainda quanto à classificação, estas bacias podem ser superficiais ou subterrâneas, as primeiras, mais baratas, são usadas em áreas onde ainda há algum espaço disponível e a depender das especificidades do projeto, quando secas, podem ser adaptadas a urbanização local, sendo muitas vezes usadas para outros fins, como mostrado na **Figura 22**.



Fonte: Prefeitura municipal de Porto Alegre-Brasil (2020)

Figura 22 - Bacia de retenção seca, usada como quadra esportiva

Já as subterrâneas (**Figura 23**), são estruturas muito mais caras e sua implantação é recomendada em casos onde, devido a intensa urbanização e falta de terrenos não há espaços disponíveis, como em grandes metrópoles por exemplo.

Por serem sistemas que atuam de forma centralizada e em zonas onde há uma afluência muito grande de caudais, elas necessitam de uma manutenção constante, pois esses caudais transportam consigo diversos objetos, variando desde areia, seixos e lixo urbano, até móveis e veículos em alguns casos. Também é relevante frisar que sua capacidade de atenuação de eventos extremos está diretamente relacionado ao seu volume e tempo de retenção.



Fonte: engenhariacivil.com (2020).

Figura 23 - Bacia de detenção subterrânea de Tóquio

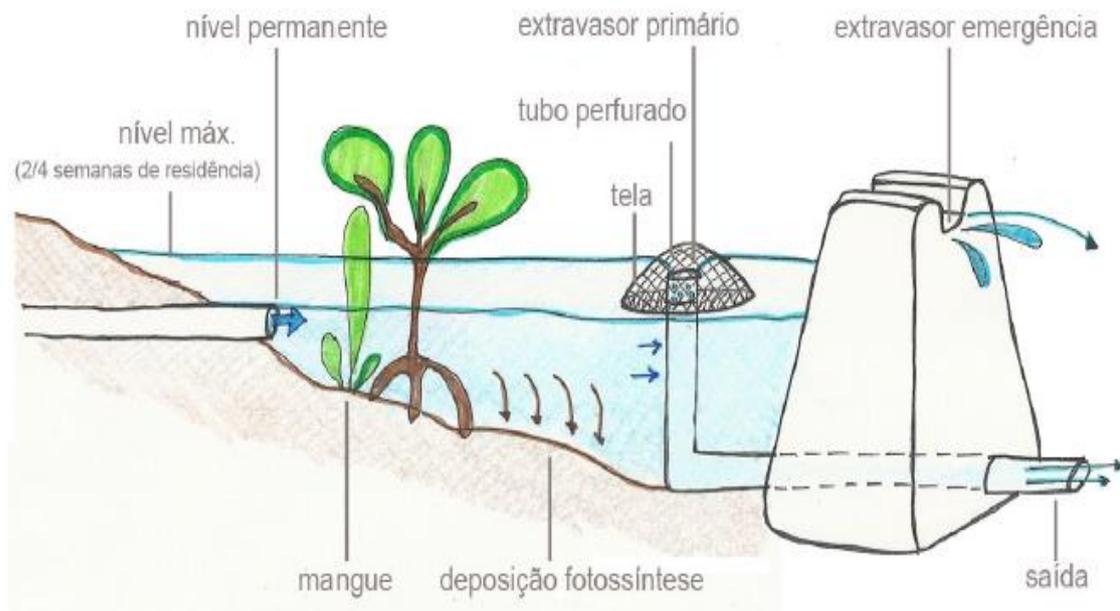
Aquém das bacias de detenção subterrâneas, as superficiais muitas vezes são espaços não impermeabilizados onde acaba por crescer vegetação devido a baixa manutenção, tais bacias como citado em estudo realizado na cidade de Raleigh, North Carolina, EUA, realizam um trabalho de melhora na qualidade das águas pluviais, devido a processos como sedimentação de poluentes e filtração relacionada a infiltração.

No trabalho supracitado foram acompanhadas durante um ano duas bacias que recebiam águas de uma rodovia, o trabalho permitiu concluir que a falta de manutenção durante dez anos não impactou significativamente as capacidades da infraestrutura. As bacias apresentaram coeficientes de redução de caudais elevados, em torno de 41% e 61% principalmente devido a infiltração. Em relação aos poluentes encontrados, ambas ajudaram a melhorar a qualidade da água efluente, reduzindo nestas a quantidade de poluentes se comparado ao usual dos escoamentos superficiais rodoviários, dentre outros benefícios (Wissler et al, 2020).

2.3.5.2 Bacias de retenção

As bacias de retenção (**Figura 24**) podem ser consideradas uma variação da anteriormente citada, diferindo desta quando ao tempo de armazenamento. Nesta tecnologia parte do volume de água

fica retido, formando assim um lago ou uma lâmina de água, como indicado por Righetto et al., (2009). Este processo de retenção contribui muito para a sedimentação dos sólidos em suspensão arrastados pela chuva e também para a depuração dos poluentes por decomposição, o que melhora significativamente a qualidade das águas, podendo estas serem usadas para rega, fins industriais, etc.



Fonte: (Silva, 2013)

Figura 24 - Esquema de uma bacia de retenção

Devido a ter sempre uma camada líquida e à não impermeabilização do fundo, estas bacias geralmente necessitam de uma área maior para serem implementadas. Também necessitam de estudos quanto à sua viabilidade do ponto de vista da qualidade de seu afluente, já que, há a probabilidade de poluentes armazenados na bacia conseguirem infiltrar-se no solo atingindo as reservas de águas subterrâneas.

No entanto, se bem implementadas, têm um grande impacto na mitigação de enchentes, na recarga de aquíferos e também na paisagem, pois frequentemente, essas áreas acabam por transformar-se em parques, sendo completamente integrados na urbanização local (**Figura 25**). Nestes casos, devido ao trânsito de pessoas, é preciso que existam instrumentos tais que alertem ou protejam os frequentadores contra uma inundação repentina.



Fonte: Prefeitura municipal de Bauru-Brasil (2020)

Figura 25 - Bacia de retenção transformado em parque

O efeito benéfico de tais reservatórios de retenção pode ser reforçado segundo estudo realizado na bacia hidrográfica Blackwater / Ivy Creek localizada em Lynchburg, Virgínia, EUA. O trabalho em questão trata sobre as vantagens e desvantagens, nomeadamente quanto à qualidade das águas e da vida aquática, da remoção de um lago artificial chamado College Lake construído em 1934. É sugerido que a barragem tem influência direta na qualidade das águas a jusante do lago e que, sua remoção causaria mais impactos negativos do que positivos, por mais que a renaturalização tenha um saldo ambiental positivo no local da barragem. Ainda em se tratando da remoção da estrutura, o trabalho pede atenção especial ao fato da albufeira ter acumulado durante os anos enorme quantidade de sedimentos, material este que, após a renaturalização, se propagaria pelo curso do rio, poluindo assim outras partes da bacia hidrográfica (Wissler et al., 2020).

2.3.6 Técnicas de tratamento de efluentes

É preciso em alguns casos, antes de simplesmente aplicar as técnicas acima mencionadas, conhecer as características do escoamento a ser processado de modo a evitar contaminações, sejam elas, do solo, de meios hídricos superficiais ou de lençóis freáticos. Portanto em locais onde

a depuração natural não é suficiente para garantir uma qualidade mínima do volume a ser processado, faz-se necessária a aplicação de algumas técnicas diferenciadas de tratamento.

Estas tecnologias podem ser associadas às técnicas estruturais acima mencionadas e visam, através de processos biológicos ou mecânicos, retirar impurezas que potencialmente levariam a uma contaminação ambiental, acarretando em uma melhora significativa da qualidade das águas pluviais frente a sua não utilização, pode-se elencar como tecnologias de tratamento de efluentes:

- Gradeamento;
- Biorretenção;

2.3.6.1 Gradeamento

Em um meio urbano é comum que a atividade humana gere lixo e resíduos sólidos, estes, mesmo em locais onde há sistemas de coleta eficientes acabam por acumular-se, sendo carreados pelas primeiras chuvas para os sistemas de micro e macrodrenagem causando problemas ao seu correto funcionamento. Visando a diminuição da quantidade destes sólidos lançados nos meios hídricos superficiais e seu impacto no meio ambiente, podem ser implementados os sistemas de gradeamento (**Figura 26**).

Tal método consiste na filtração grosseira de resíduos de tamanho considerável, como por exemplo, garrafas plásticas, sacolas, tecidos, pneus, vidros, papéis ou qualquer outro subproduto proveniente da atividade humana ou não, portanto é muito aconselhável seu uso conjunto aos sistemas de drenagem convencionais. Para a remoção dos resíduos indesejados são instaladas, de forma a interceptar o escoamento, grades de determinada abertura, de modo a separar do escoamento as parcelas sólida e líquida, retendo a primeira enquanto deixa passar a segunda.



Fonte: stormwatersystems

Figura 26 – Sistema de Gradeamento

Esses sistemas podem ser instalados tanto próximos do escoamento (**Figura 27**) quanto de forma centralizada, todavia quando instalados em regiões com grande afluência precisam de uma manutenção constante devido à quantidade de resíduos acumulados.

Em Sucy-en-Brie, localidade próxima a Paris, França, foi realizado um trabalho de qualificação e quantificação dos poluentes sólidos arrastados pelo caudal de uma chuvada. Para tal foram instaladas logo acima de uma bacia de retenção duas grades com dimensões diferentes, uma com aberturas de 6 cm e a segunda com aberturas de 1 cm. Foram realizadas onze campanhas de amostragem entre abril de 2018 e abril de 2019 para coletar os materiais aprisionados pelas grades em diferentes condições hidrológicas. Verificou-se que os materiais coletados eram compostos principalmente por água (aproximadamente 74% em peso), detritos orgânicos naturais (aproximadamente 22% em peso) e resíduos antropogênicos (aproximadamente 4% em peso). Entre os resíduos antropogênicos, o plástico foi o maior em número (mais de 60% da massa seca dos resíduos antropogênicos) e massa (mais de 50% da massa seca dos resíduos antropogênicos, em média). A concentração de resíduos plásticos em águas pluviais variou de 7 mg/m³ a 134 mg/m³ (Robin et al., 2021).

Apesar de ser um método muito efetivo para a redução da poluição mais visível, este não consegue tratar de poluentes dissolvidos na água pluvial, como é o caso de algumas substâncias inorgânicas e compostos orgânicos.



Fonte: jornaldeblumenau.com

Figura 27 - Sarjeta com gradeamento

2.3.6.2 Biorretenção

Muitas vezes as águas provenientes de uma chuvada carregam consigo substâncias diluídas que não podem ser separadas por um simples processo de gradeamento. Para tentar reduzir esta carga poluente foram criados os chamados sistemas de biorretenção (**Figura 28**), tais sistemas, também conhecidos como jardins de chuva, tentam mimetizar os processos naturais responsáveis pela melhoria da qualidade das águas. Estes jardins são preferencialmente implementados em terrenos mais baixos para os quais o escoamento superficial da bacia a ser drenada é encaminhado.

Após um evento de precipitação o volume de água gerado é encaminhado e armazenado nesses locais, nos quais, através de processos como, a sedimentação, filtração, adsorção e decomposição (Righetto et. al., 2009), as substâncias indesejadas diluídas são removidas, sendo reaproveitadas em sua maioria como nutrientes pela vegetação implantada.



Fonte: researchgate, Portland (2020).

Figura 28 – Superfície de infiltração com sistema de biorretenção

A aplicação deste conceito nas tecnologias estruturais acima dissertadas é de grande interesse tendo em mente que, a maioria dos escoamentos urbanos traz consigo algum tipo de poluente. Os jardins de chuva podem ser projetados de forma a trabalharem desligados da rede urbana de drenagem ou interligados a ela e nesta última modalidade, em uma precipitação de grande intensidade, o excesso de água pode ser drenado para a rede convencional de águas pluviais, evitando assim o extravasamento.

Têm a vantagem de diminuir a impermeabilização das cidades mesclando-se muito bem ao ambiente urbano na medida que também podem ser usados como praças e áreas de lazer pela população. Indiretamente contribuem para a diminuição das ilhas de calor e do ruído urbano, no entanto necessitam de manutenção rotineira e a depender do tempo de detenção das águas, podem ser zonas propícias para a proliferação de mosquitos e outros insetos.

Em estudo conduzido nos EUA, duas réplicas de jardins de chuva bifásicos foram construídas na primavera de 2008 na Ohio State University. O jardim de chuva bifásico é um novo tipo de projeto que consiste em uma sequência bifásica (saturada de água a insaturada) e uma zona de recarga. Nestes jardins de chuva bifásicos, o escoamento é primeiro dirigido através da zona

saturada de água (anaeróbica) e depois através da zona não saturada de água (aeróbia). Os jardins de chuva bifásicos reduziram o pico de escoamento e o volume de escoamento em vários eventos de chuva durante um período de estudo de 2 anos. Os jardins de chuva bifásicos foram altamente eficazes na remoção de nitrato (cerca de 91%), fosfato (cerca de 99%), atrazina (cerca de 90%), dicamba (cerca de 92%), glifosato (cerca de 99%) e 2,4-D (cerca de 90%) sob alto nível de condições de carga de poluição simuladas para eventos de escoamento agrícola e urbano (Yang et al., 2013).

3 Metodologia

De modo a alcançar os objetivos deste trabalho, e seguindo os preceitos anteriormente apresentados, este capítulo descreve a metodologia aplicada a um caso de estudo. A metodologia adotada consistiu na simulação de parte da rede de drenagem de águas pluviais de um município brasileiro, Bauru no estado de São Paulo, recorrendo ao *software* SWMM (*Storm Water Management Model*). Foi selecionada a rede da Avenida Nações Unidas, construída sobre um pequeno córrego chamado Ribeirão das Flores, por ser conhecida pelas frequentes inundações devidas à densa urbanização e conseqüentemente alta impermeabilização dos solos. A adoção de tecnologias verdes de drenagem permite priorizar a gestão sustentável das águas pluviais, levando em conta as melhores práticas de gestão e também a importância da melhoria paisagística urbana e as características da urbanização já consolidada no local.

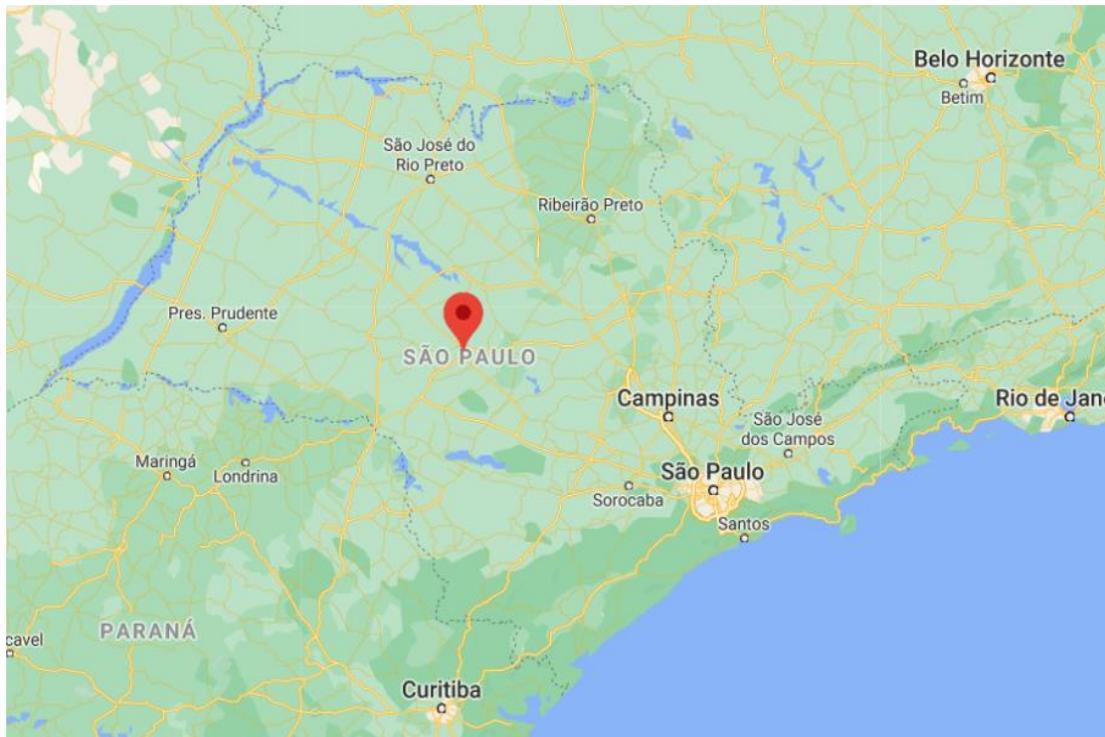
3.1 O município de Bauru

A cidade brasileira de Bauru, encontra-se situada no centro do estado de São Paulo (Figura 29), e para além de beneficiar da mitigação dos impactos da impermeabilização do solo, beneficia ainda da melhoria das condições para a recarga dos aquíferos que abastecem a zona urbana. Este último tópico é de grande relevância já que, segundo dados da Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Bauru (n.d.), nas bacias hidrográficas do Rio Batalha e do Rio Bauru restam apenas 12,57% da cobertura vegetal inicial, o que dificulta, dentre outras coisas, a recarga de aquíferos. Ainda, em consonância com o DAE (Departamento de Águas e Esgoto de Bauru) cerca de 64% do abastecimento de água potável do município vem de poços profundos, captando água dos aquíferos Guarani e Bauru.

Bauru é uma cidade recente, tendo sido fundada em 1896, e com apenas 124 anos de idade a cidade já conta com uma população de aproximadamente 380000 habitantes (IBGE n.d.).

Esta urbe, assim como grande parte das cidades nascidas em São Paulo durante a chamada expansão cafeeira em meados do século XIX e XX, conta com um desenho urbano maioritariamente em quadrícula. Tal desenho explica-se pelo facto da região ter uma topografia pouco acentuada e por ser de simples aplicação e replicação, o que na época da sua criação foi um atrativo, já que garantiu à cidade uma capacidade de crescimento virtualmente infinita

(Ghirardello, 2020). No entanto, a urbanização quadriculada proporciona altas taxas de densidade populacional e, por conseguinte, uma elevada taxa de impermeabilização do solo.



Fonte: Googlemaps

Figura 29 - Localização geográfica de Bauru

Na **Figura 30** é possível ver a Avenida Nações Unidas, via esta que, devido à técnica construtiva e urbanização intensa nas imediações, sofre com constantes enchentes em épocas de chuva.



Fonte: Googleimagens

Figura 30 - Avenida Nações Unidas - Bauru/SP

A via foi construída nos anos de 1970, no fundo de um vale sobre o Ribeirão ou Córrego das Flores. As **Figuras 31** e **32** mostram os trabalhos de tamponamento do riacho para a posterior abertura da avenida. Nestas imagens ainda é possível notar que a via é cercada por intensa urbanização.



Fonte: Museu Ferroviário Regional de Bauru

Figura 31 - Ribeirão das Flores, Bauru-SP



Fonte: Museu Ferroviário Regional de Bauru

Figura 32 - Obras para o tamponamento do Ribeirão das Flores, Bauru-SP

A conjunção dos fatores, alta densidade demográfica, alta impermeabilização do solo, tamponamento do Ribeirão das Flores e por fim, altas taxas de precipitação anuais, atingindo em média, a soma anual de 1170 mm (EMBRAPA n.d.), tornou o local propenso à ocorrência de alagamentos durante as chuvas de verão, visto que, a via foi construída no ponto de confluência das águas. Eventos como mostrados na **Figura 33** são comuns durante uma chuvada intensa.

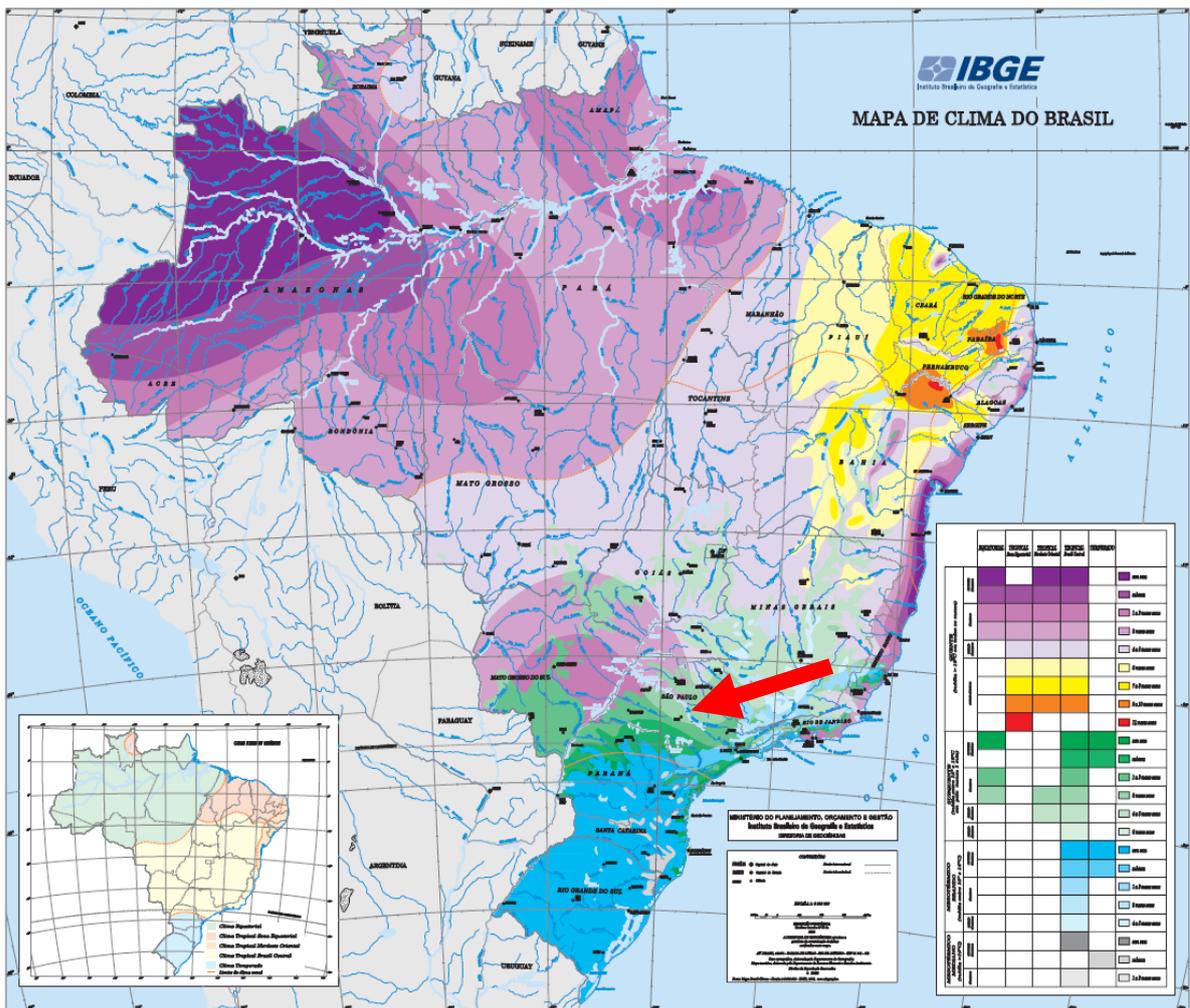


Fonte: Googleimages

Figura 33 - Enchente na Avenida Nações Unidas, Bauru/SP

3.1.1 O clima

O estado de São Paulo, mais especificamente o centro-oeste do estado onde se encontra a cidade de Bauru, apresenta um clima classificado como tropical do Brasil central. Como pode ser visto nas **Figura 34****Figura 35**, este clima caracteriza-se por temperaturas médias subquentes, já que em pelo menos um mês estas temperaturas se situam entre 15°C e 18°C, e por ser húmido, já que apresenta três meses secos no ano (IGBE, n.d.).



Fonte: (IBGE n.d.)

Figura 34 - Mapa de clima do Brasil com a localização do município de Bauru

		EQUATORIAL	TROPICAL Zona Equatorial	TROPICAL Nordeste Oriental	TROPICAL Brasil Central	TEMPERADO	
QUENTE (média > 18°C em todos os meses)	OUTONO VERÃO						sem seco
							subseco
	OUTONO OUTONO						1 a 2 meses secos
							3 meses secos
	INVERNO OUTONO						4 a 5 meses secos
							6 meses secos
	VERÃO VERÃO						7 a 8 meses secos
							9 a 10 meses secos
							11 meses secos
SUBQUENTE (média entre 15° e 18°C em pelo menos 1 mês)	OUTONO OUTONO						sem seco
							subseco
	OUTONO OUTONO						1 a 2 meses secos
							3 meses secos
	INVERNO INVERNO						4 a 5 meses secos
							6 meses secos

Fonte: (IBGE n.d.)

Figura 35 – Detalhe da legenda do mapa de clima do Brasil com a demarcação das características climáticas do município de Bauru, modificado

Apesar da região ser classificada como semi-húmida, vale salientar que, durante o verão austral, os índices pluviométricos podem ser bastante elevados. Em Bauru, de acordo com relatório anual do IPMet (Instituto de Pesquisas Meteorológicas) da Unesp/Bauru (Universidade Estadual Paulista) nos meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro), as temperaturas elevadas favorecem a alta humidade o que ocasiona, nos finais de tarde, chuvas de forte intensidade e curta duração, com uma altura pluviométrica média de 243 mm no período. Estas são muitas vezes acompanhadas de rajadas de vento e até granizo (Emídio, 2021).

Ainda segundo o IPMet estas chuvas, embora essenciais para o restabelecimento das capacidades hídricas dos mananciais que abastecem a zona urbana e também para o bom desenvolvimento das atividades rurais, têm como efeitos adversos alagamentos e inundações, principalmente nas zonas mais edificadas da cidade (Emídio, 2021).

Em continuidade é importante trazer à tona o manual elaborado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo em parceria com a Universidade de São Paulo (Junior and Magni, 1999), que apresenta dados sobre as características das precipitações nos municípios paulistas.

Para além da determinação das equações de intensidade, duração e frequência dos eventos chuvosos nos municípios, exemplificada pela equação (1) para a cidade foco deste trabalho, o supracitado relatório tabelou valores previamente calculados para determinados tempos de recorrência, o que veio a facilitar a busca por informações relevantes como pode ser visto nas **Tabela 1** e **Tabela 2** abaixo.

$$i_{t,T} = 35,487(t + 20)^{-0,8894} + 5,9664(t + 20)^{-0,7749}[-0,4772 - 0,9010 \ln(\ln(T/T - 1))] \quad (1)$$

Para $10 \leq t \leq 1440$

Na qual:

i: intensidade da chuva, correspondente à duração t e período de retorno T, em mm/min;

t: duração da chuva em minutos;

T: período de retorno em anos.

Bauru: Previsão de máximas intensidades de chuvas (mm/h)									
Duração da chuva (min)	Período de retorno em anos								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	99,5	125,7	143,1	152,9	159,7	165	181,3	197,4	213,5
20	77	97,9	111,8	119,6	125,1	129,3	142,4	155,3	168,1
30	63	80,7	92,4	98,9	103,6	107,1	118,1	128,9	139,7
60	41,4	53,7	61,8	66,4	69,6	72	79,6	87,2	94,7
120	25,1	33	38,3	41,3	43,3	44,9	49,9	54,8	59,6
180	18,2	24,3	28,3	30,5	32,1	33,3	37	40,7	44,4
360	10,3	13,9	16,4	17,7	18,7	19,4	21,7	24	26,2
720	5,7	7,8	9,3	10,1	10,7	11,1	12,5	13,8	15,2
1080	4	5,6	6,6	7,2	7,7	8	9	10	11
1440	3,1	4,4	5,2	5,7	6	6,3	7,1	7,9	8,7

Fonte: DAEE-USP, pág. 41, Junior e Magni, (1999)

Tabela 1 - Bauru: Previsão de máximas intensidades de chuvas em mm/h

Bauru: Previsão de máximas alturas de chuvas (mm)									
Duração da chuva (min)	Período de retorno em anos								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	16,6	21	23,8	25,5	26,6	27,5	30,2	32,9	35,6
20	25,7	32,6	37,3	39,9	41,7	43,1	47,5	51,8	56
30	31,5	40,3	46,2	49,5	51,8	53,6	59	64,5	69,9
60	41,4	53,7	61,8	66,4	69,6	72	79,6	87,2	94,7
120	50,2	66,1	76,6	82,5	86,7	89,9	99,8	109,5	119,3
180	54,7	72,8	84,8	91,5	96,2	99,9	111,1	122,2	133,3
360	61,6	83,6	98,2	106,4	112,1	116,6	130,2	143,7	157,2
720	67,9	94,1	111,5	121,3	128,1	133,4	149,7	165,8	181,9
1080	71,4	100,3	119,5	130,3	137,8	143,7	161,6	179,4	197,2
1440	73,8	104,8	125,3	136,9	145	151,2	170,5	189,5	208,6

Fonte: DAEE-USP, pág. 41, Junior e Magni, (1999)

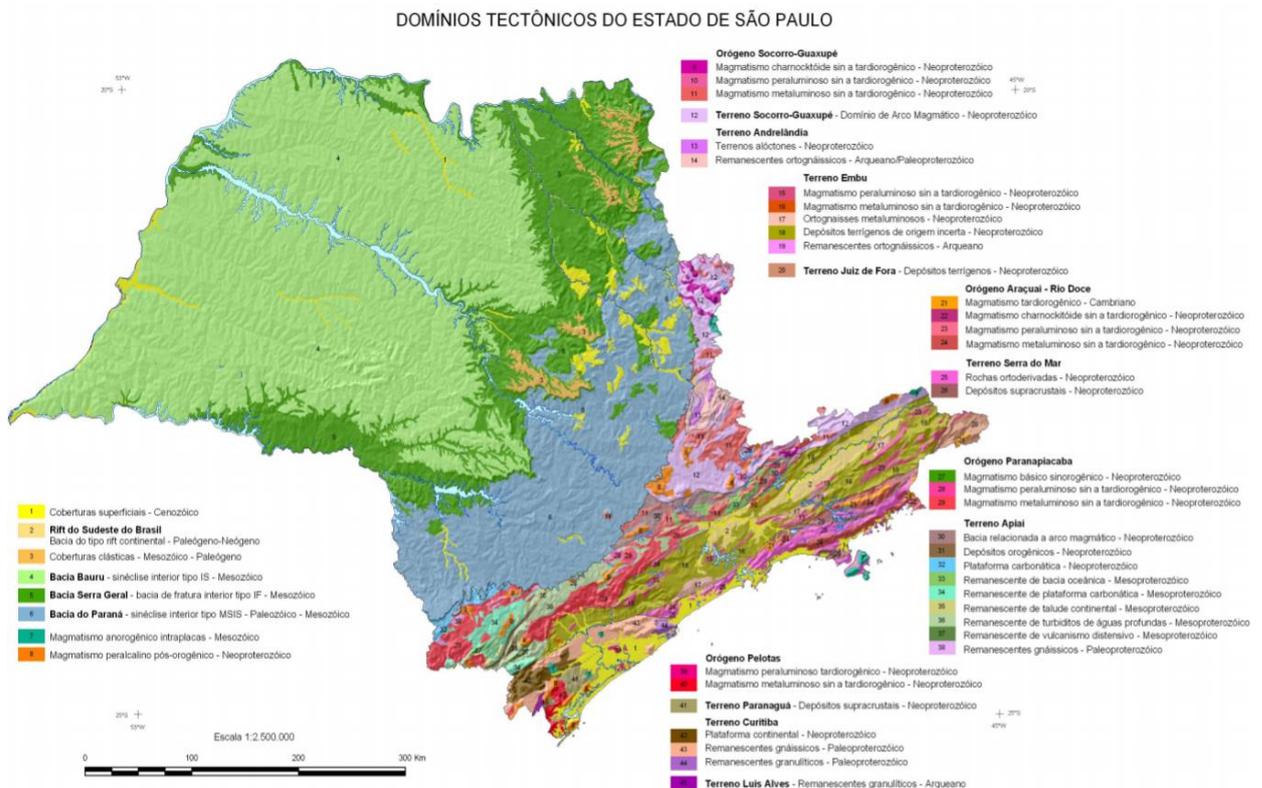
Tabela 2 - Bauru: Previsão de máximas alturas de chuvas em mm

3.1.2 O solo

A cidade de Bauru encontra-se no centro-oeste do estado de São Paulo, em uma região de relevo levemente ondulado e sem grandes formações geomorfológicas. Do ponto de vista tectónico o solo enquadra-se no grupo homónimo, grupo Bauru, **Figura 36**. São solos de formação do período Cretáceo dos quais fazem parte as subdivisões ou formações, São José do Rio Preto, Presidente Prudente, Marília, Vale do Rio do Peixe e Araçatuba.

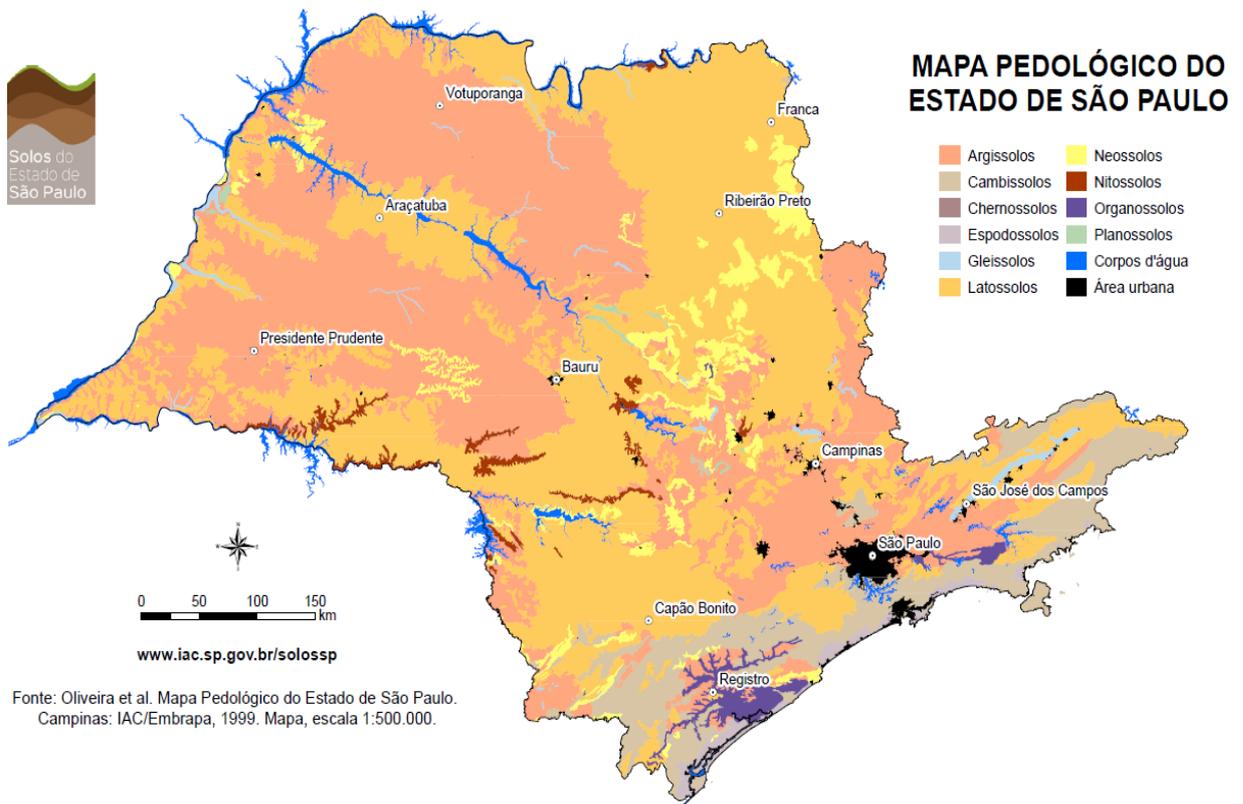
Mais pormenorizadamente, enquadra-se dentro da formação Marília, os solos desta classificação são solos sedimentares de composição variada, ocorrendo, arenitos finos a médios, imaturos, com presença subordinada de frações de areia grossa a grânulos (CPRM - Serviço Geológico do Brasil 2006).

Sob um aspeto pedológico e segundo o Instituto Agronômico de Campinas do Estado de São Paulo, Bauru está sob um Latossolo, este tipo de substrato apresenta elevada permeabilidade, baixa retenção de água e baixa capacidade de coesão, o que os torna suscetíveis à degradação sob a gestão agrícola (Figura 37) (Instituto Agronômico n.d.).



Fonte: Serviço geológico do Brasil, 2006

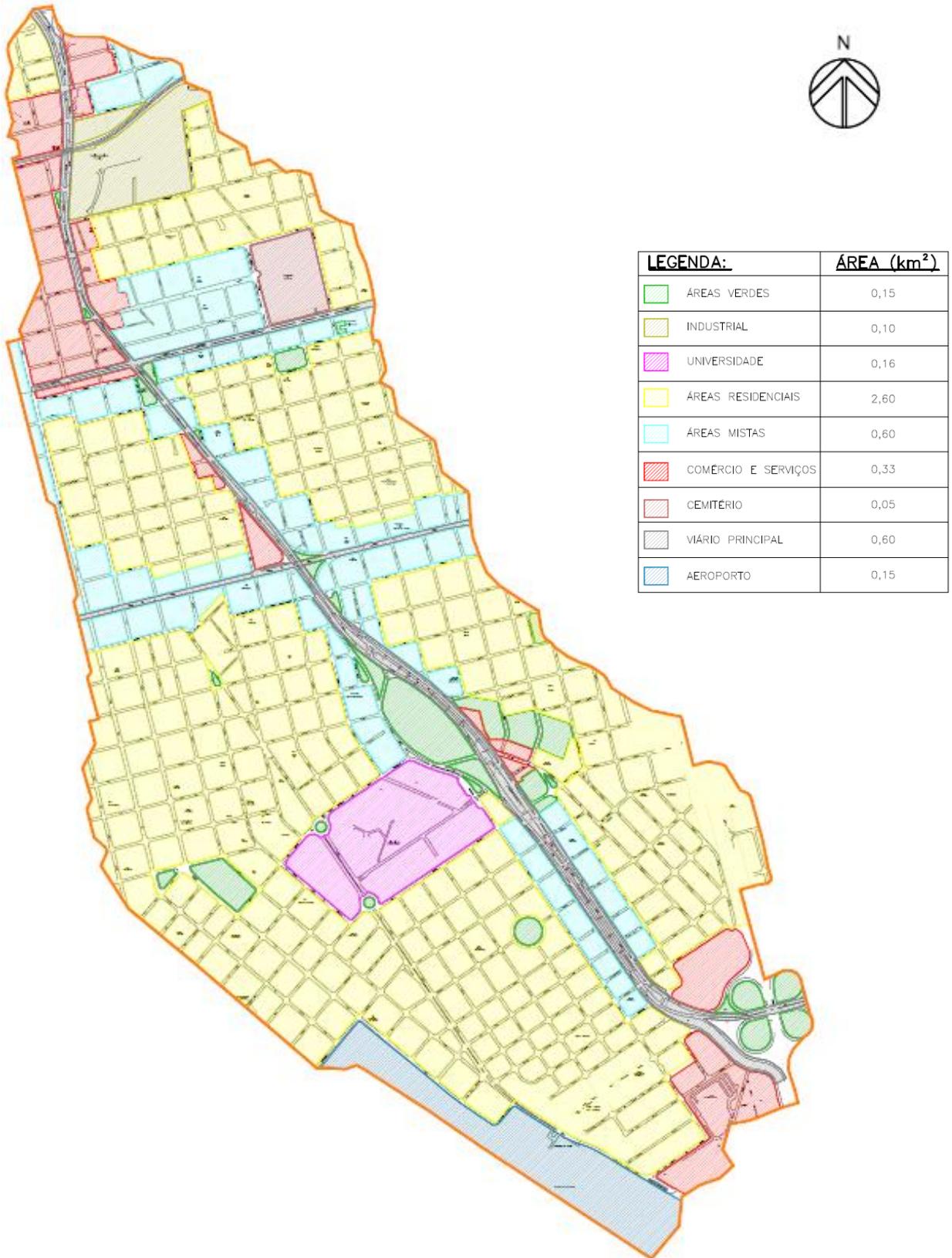
Figura 36 – Mapa dos domínios tectônicos do estado de São Paulo



Fonte: Instituto Agrônômico

Figura 37 - Mapa pedológico do estado de São Paulo

Para a determinação do grau de impermeabilização da superfície e posteriormente para as simulações foi usado o método SCS (*Soil Conservation Service*), o qual por meio de um número chamado de, CN (*Curve Number*) estabelece um valor com o qual se pondera a quantidade de escoamento superficial que será gerado por uma precipitação. Este valor leva em conta a classificação dos solos de A a E, em função das suas características de permeabilidade, assim como o seu uso (agrícola, pouco urbanizado ou muito urbano).



Fonte: Secretaria de planejamento e obras de Bauru

Figura 38 - Planta de uso e ocupação do solo da bacia do Córrego das Flores em Bauru/SP

Segundo trabalho realizado por Porto e Setzer (1979), cidade de Bauru e por consequência a zona de estudo (**Figura 38**) apresenta as seguintes características de solo, 65% de solo do tipo A, 30% de solo do tipo B e 5% de solo do tipo C, não contendo parcelas significativas de solos dos tipos D e E.

Ainda segundo dados obtidos da Secretaria de Planejamento e Obras de Bauru sobre a ocupação da bacia e zoneamento, chega-se à conclusão que é uma bacia altamente impermeabilizada, já que apenas 3% da área se encontra como espaços verdes, 55% é composto por áreas residenciais, sendo 15% comerciais. A **Tabela 3** abaixo, mostra com mais clareza os números, as áreas e o CN ponderado para essa bacia de acordo com os dados obtidos na **Figura 38**.

Ocupação	Área (km ²)	% da área	CN ponderado
Áreas verdes	0,15	3,18	55
Áreas residenciais	2,60	55,08	84
Industriais	0,10	2,12	87
Comerciais e serviços (inclusos universidades, aeroportos e cemitérios)	0,69	14,62	90
áreas mistas (residência e comércio)	0,60	12,71	84
Viário principal	0,60	12,71	98
Bacia Córrego das Flores	4,72	100,00	86

Fonte: Secretaria de Planejamento e Obras de Bauru

Tabela 3 - Uso e ocupação da bacia do Córrego das Flores e CN, modificada

Seguindo o preconizado pelo método SCS temos que, para cada classificação hidrológica de solo, há uma taxa de infiltração mínima que se dá quando o solo se encontra completamente saturado, sendo esta maior nos solos de classificação A e decrescendo até os solos de classificação D. Porém a classificação dos solos feita por McCuen para os solos norte-americanos apresentada na **Tabela 4**, que leva em conta os preceitos acima mencionados, apesar de poder ser usada para identificar os grupos hidrológicos dos solos brasileiros, traz taxas de infiltração muito abaixo do que são realmente observadas em algumas regiões.

Tipo de solo	Taxa mínima de infiltração (mm/h)
A	7,62 - 11,43
B	3,81 - 7,62
C	1,27 - 3,81
D	0,00 - 1,27

Fonte:(Sartori 2004 *apud* McCuen 1989).

Tabela 4 - Taxa mínima de infiltração de acordo com a classificação hidrológica dos solos

A **Tabela 5** e a **Tabela 6** abaixo trazem valores de infiltração mais próximos à realidade dos solos tropicais. Nota-se que os valores encontrados são maiores que 7,62 mm/h, justificando a não utilização dos valores mínimos da taxa de infiltração da classificação do SCS para os solos do Brasil.

Uso	Espessura do horizonte A (cm)	Infiltração média de água no solo (mm/h)		
		A	E	Bt
Café	44,6	217,9	70,1	20,5
Mata/Capoeira	71,3	407,5	133,8	50,9
Pasto	46,6	426,5	236,2	48,1

Fonte: Genovez, et al. (2005) *apud* Pott (2001)

Tabela 5 - Infiltração média de água nos horizontes A, E e Bt, e a espessura do horizonte A

Métodos/Equipamentos	Latossolo textura argilosa	Latossolo textura média	Argissolo textura arenosa/média
Infiltrômetro de aspersão	61,2	85,8	61,4
Permeâmetro – Modelos IAC	170,9	129,6	112,2
Infiltrômetro de tensão	175,6	200,4	72,8
Infiltrômetro de pressão	442,2	211,6	185,2

Fonte: Genovez, et al. (2005) *apud* Pott (2001)

Tabela 6 – Velocidade básica de infiltração em mm/h para os diferentes tipos de solos e métodos

Em pesquisas realizadas no município de Bauru, a fim de determinar o grau de permeabilidade dos solos visando a impermeabilização de lagoas de infiltração e aterros, chegou-se a taxa de infiltrações para solos naturais não saturados da ordem de $2,0 \times 10^{-3}$ cm/s ou 72,0 mm/h (Magagnato et al., 2019).

Portanto, de forma a aproximar mais a simulação da realidade local arbitrou-se de forma conservadora, uma taxa de infiltração de 72,0 mm/h.

3.1.3 A canalização do Córrego das Flores

Como já referido, o Córrego das Flores passou por um processo de urbanização que por fim levou ao seu completo tamponamento. Para efeitos de simulação computacional foram obtidos junto da Secretaria de Obras de Bauru as características das galerias que ficaram responsáveis pelo transporte de todo o caudal drenado da bacia hidrográfica. Como pode ser observado na

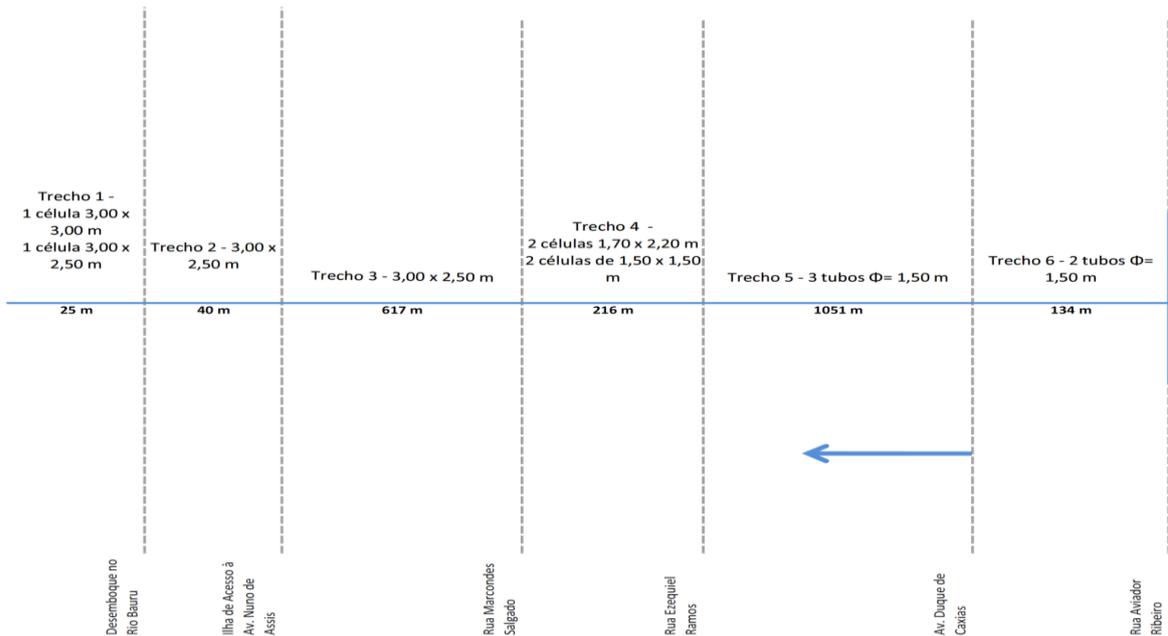
Figura 39, o córrego nasce na região do parque Vitória Régia e desagua no Rio Bauru.

Também se obtiveram dados a respeito das tubagens que constituem o sistema de drenagem e sua declividade, como pode ser visto nas **Figura 40** e **Figura 41**, as quais foram usadas adiante como guia para a construção do modelo no software SWMM.



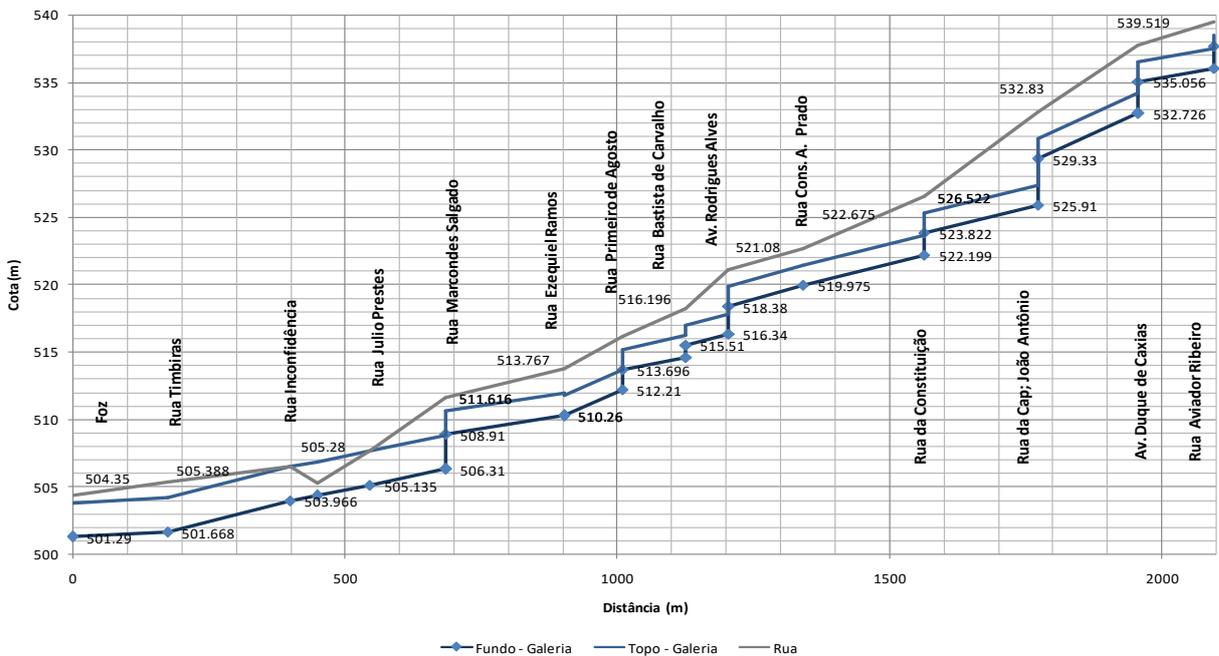
Fonte: Secretaria de Planejamento e Obras de Bauru, modificado

Figura 39 - Bacia do Córrego das flores com local de nascimento, desague e área crítica de inundações



Fonte: Secretaria de Planejamento e Obras de Bauru

Figura 40 - Diagrama unifilar do sistema de drenagem do Córrego das Flores (adaptado)



Fonte: Secretaria de Planejamento e Obras de Bauru

Figura 41 - Perfil do sistema de galerias sob a Avenida Nações Unidas (adaptado)

3.2 Simulação

Para a simulação da proposta de intervenção foi usado o software SWMM, desenvolvido pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), e que segundo esta permite ao utilizador

o “[...] planeamento, análise e projeto relacionado ao escoamento de águas pluviais, esgotos combinados e sanitários e outros sistemas de drenagem. Pode ser usado para avaliar estratégias de controle de águas pluviais e de infraestruturas, como tubulações e ralos, e é uma ferramenta útil para a criação de soluções económicas de controle de águas pluviais híbridas verdes/cinza.”(EPA n.d.).

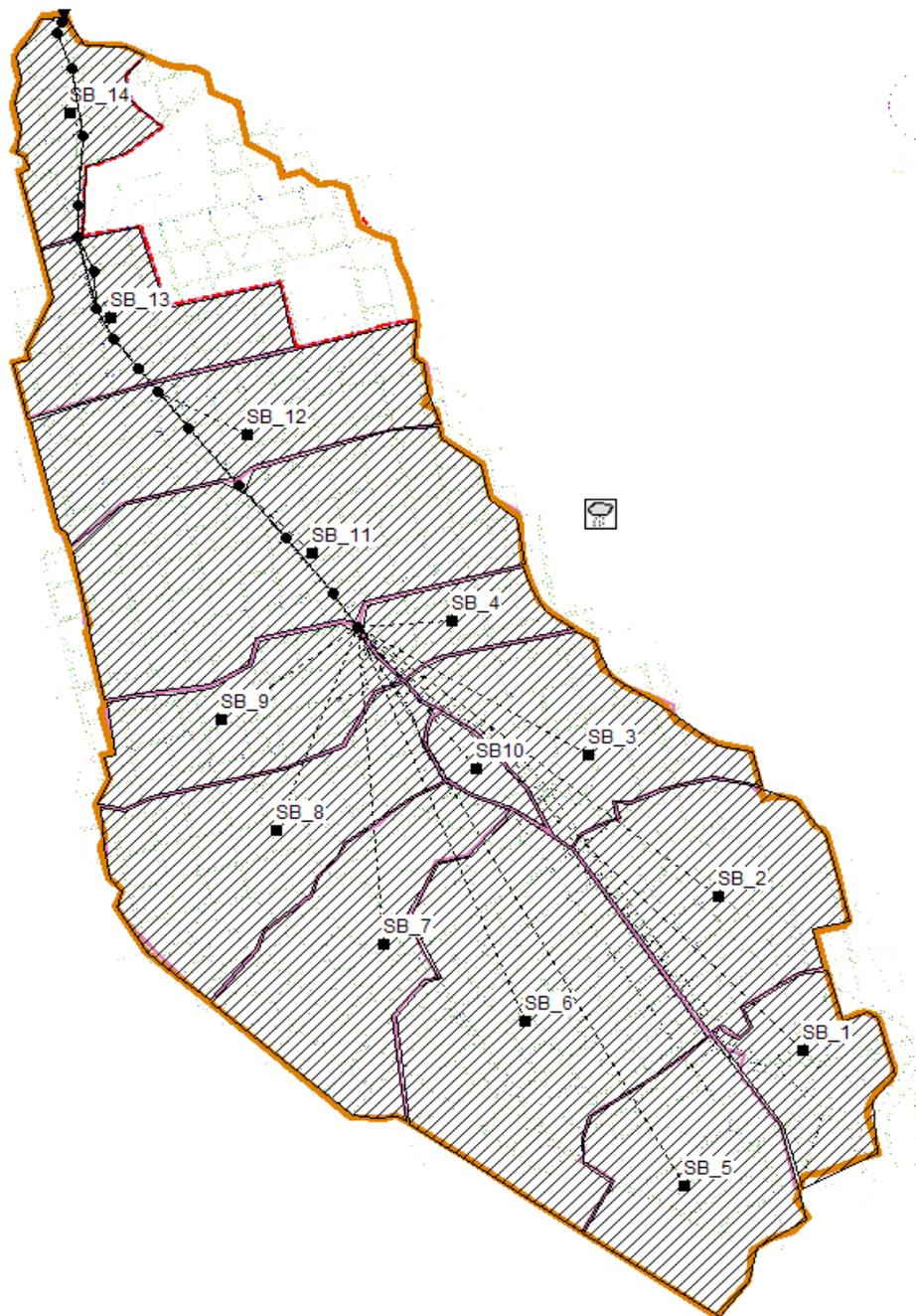
Ainda segundo o site da agência, “O SWMM foi desenvolvido para ajudar a apoiar os objetivos locais, estaduais e nacionais de gestão de águas pluviais, para reduzir o escoamento por meio de infiltração e retenção e ajudar a reduzir as descargas que causam comprometimento dos corpos de água.”(EPA n.d.).

A escolha de tal mecanismo de simulação foi feita levando-se em conta, a grande aplicação em bacias urbanas e a boa aceitação deste por empresas e agências governamentais. Atualmente, o SWMM é o pacote computacional mais utilizado para simulação da drenagem urbana, principalmente por ser de domínio público e ter seu código de programação aberto, permitindo modificações (Righetto, et al., 2009). Podemos mencionar como funcionalidades do programa, dentre outras, as seguintes:

- Dimensionamento de sistemas de drenagem urbana para controle de cheias;
- Avaliação de sistemas de detenção e retenção;
- Mapeamento de áreas inundáveis;
- Análise do efeito de medidas compensatórias;
- Simulação de componentes como ciclos hidrológicos, infiltração, evaporação e escoamento superficial;

3.2.1 A divisão das sub-bacias

As sub-bacias foram divididas de acordo com definição prévia obtida através de relatório interno da Secretaria de Obras do Município, sendo um total de 15 sub-bacias das quais 14 são drenadas pelo troço de tubagem estudado. A **Figura 42** - Sub-bacias drenadas pela canalização do Córrego das Flores apresenta a identificação das áreas tal qual a divisão feita pelo poder municipal local, sendo SB_1 a abreviatura para sub-bacia 1 e assim por diante.



Fonte: Autor com base em dados da Secretaria de Planejamento e Obras de Bauru

Figura 42 - Sub-bacias drenadas pela canalização do Córrego das Flores

Para a configuração das sub-bacias do modelo no software foram usados os dados mostrados na **Tabela 7**. Adotaram-se como coeficientes de Manning para a área impermeável de todas as sub-bacias o valor de $0,01 \text{ s/m}^{1/3}$, e para as áreas permeáveis o de $0,10 \text{ s/m}^{1/3}$. Consideraram-se as profundidades de armazenamento, tanto das áreas impermeáveis quanto das permeáveis, iguais $0,05 \text{ mm}$. Adotaram-se ainda todos os valores sugeridos pelo manual do *software* (Rossman, 2015).

Sub-bacia	área (ha)	CN	Inclinação (%)	Largura (m)	Impermeável (%)	Impermeável sem armazenamento (%)
SB_1	18,1	86	5,69	559,98	97	25
SB_2	36,2	86	4,76	842,20	97	25
SB_3	29,3	86	4,94	416,55	97	25
SB_4	11	86	5,51	263,49	97	25
SB_5	32,1	86	4,41	764,83	97	25
SB_6	62,9	86	5,01	1511,29	97	25
SB_7	35,6	86	5,71	1450,10	97	25
SB_8	39,4	86	5,16	1046,06	97	25
SB_9	25,3	86	5,40	846,65	97	25
SB_10	4,7	86	2,65	110,54	97	25
SB_11	60,7	86	7,12	1117,71	97	25
SB_12	36	86	8,42	682,79	97	25
SB_13	24,2	86	7,65	703,44	97	25
SB_14	16,5	86	1,49	1130,14	97	25
SB_15	Esta sub-bacia é drenada diretamente para o rio Bauru,					

Fonte: Autor com base em dados da secretaria de planejamento e obras de Bauru

Tabela 7 - Dados para a simulação das sub-bacias

3.2.2 As tubagens

De modo a melhor representar a canalização existente no local foram usados os dados mostrados na **Figura 40** e na **Figura 41**, obtidos junto da Secretaria Municipal de Obras da cidade de Bauru. Devido às várias obras ocorridas desde a canalização inicial do córrego, existem sob a Avenida Nações Unidas, tubagens das mais variadas, como pode ser visto no diagrama unifilar expresso na **Figura 40** supracitada.

De modo a facilitar a compreensão da infraestrutura existente, os dados foram descritos na **Tabela 8**, na qual os coletores são nomeados da seguinte forma: “T” representa o trecho definido por coletores de secções iguais (T2, T2.1) e o nome à frente do símbolo o nó inicial do trecho.

Para melhor simular o troço entre R_EZEQUIELRAMOS e R_MARCONDESSALGADO, como se tratavam de 4 coletores paralelos com diâmetros diferentes aos pares, optou-se por modelar um dos trechos de igual diâmetro passando por um nó auxiliar (N_AUXILIAR) com secção retangular de 1,50 m x 1,50 m (identificada pelos troços T4.1_EZEQUIELRAMOS e T4.2_EZEQUIELRAMOS) obedecendo às mesmas características do troço direto, este com secção de 1,70 m x 2,20 m (identificado pelo troço T4_EZEQUIELRAMOS).

Salienta-se que, devido a existirem duas desembocaduras no Rio Bauru, foi preciso, no software, criar dois nós para a foz (FOZ e FOZ_2). Ambas as desembocaduras despejam o caudal lado a lado no mesmo local e, portanto, foram descritas da mesma forma. A foz foi considerada livre e desimpedida de qualquer bloqueio, deixando a saída completamente livre para receber o caudal afluente. Assim o presente trabalho não considera a influência das variações de nível do rio recetor no Córrego das Flores e no coletor a montante.

De salientar ainda que, devido ao fato de terem sido realizadas várias obras com o passar dos anos e de não se saber ao certo as condições internas dos coletores, se adotou o coeficiente de Manning (n) de forma mais conservadora, considerando tubagens de betão ou argamassa de cimento em mal estado.

Características dos condutos					
Condutos	Nós		Compr. (m)	Secção e medidas (m)	n
	Inicial	Final			
T1_DESEMBOQUERIOBAURU	DESEMBOQUE_RIOBAURU	FOZ_2	25,00	RET. 3,00X3,00	0,015
T2_DESEMBOQUERIOBAURU	DESEMBOQUE_RIOBAURU	FOZ	25,00	RET. 3,00X2,50	0,015
T2_ACESSONUNODEASSIS	ACESSO_NUNODEASSIS	DESEMBOQUE_RIOBAURU	40,00	RET. 3,00X2,50	0,015
T3_R.TIMBIRAS	R_TIMBIRAS	ACESSO_NUNODEASSIS	105,00	RET. 3,00X2,50	0,015
T3_R.INCONFIDÊNCIA	R_INCONFIDÊNCIA	R_TIMBIRAS	230,00	RET. 3,00X2,50	0,015
T3_R.JULIOPRESTES	R_JULIOPRESTES	R_INCONFIDÊNCIA	140,00	RET. 3,00X2,50	0,015
T3_R.MARCONDESSALGADO	RUA_MARCONDESSALGADO	R_JULIOPRESTES	142,00	RET. 3,00X2,50	0,015
T4_R.EZEQUIELRAMOS	R_EZEQUIELRAMOS	R_MARCONDESSALGADO	216,00	RET. 1,70X2,20	0,015
T4.1_R.EZEQUIELRAMOS	R_EZEQUIELRAMOS	N_AUXILIAR	108,00	RET. 1,50X1,50	0,015
T4.2_R.EZEQUIELRAMOS	N_AUXILIAR	RUA_MARCONDESSALGADO	108,00	RET. 1,50X1,50	0,015
T5_R.PRIMEIRODEAGOSTO	R_PRIMEIRODEAGOSTO	R_EZEQUIELRAMOS	102,00	CIRC. DIAM. 1,50	0,015
T5_R.BATISTADECARVALHO	R_BATISTADECARVALHO	R_PRIMEIRODEAGOSTO	120,00	CIRC. DIAM. 1,50	0,015
T5_AV.RODRIGUESALVES	AV_RODRIGUESALVES	R_BATISTADECARVALHO	80,00	CIRC. DIAM. 1,50	0,015
T5_R.CONSA.PRADO	R_CONSA.PRADO	AV_RODRIGUESALVES	140,00	CIRC. DIAM. 1,50	0,015
T5_R.DACONSTITUIÇÃO	R_DACONSTITUIÇÃO	R_CONSA.PRADO	220,00	CIRC. DIAM. 1,50	0,015
T5_R.CAP.JOÃOANTÔNIO	R_CAP.JOÃOANTÔNIO	R_DACONSTITUIÇÃO	220,00	CIRC. DIAM. 1,50	0,015
T5_AV.DUQUEDECAXIAS	AV_DUQUEDECAXIAS	R_CAP.JOÃOANTÔNIO	169,00	CIRC. DIAM. 1,50	0,015
T6_R.AVIADORRIBEIRO	R_AVIADORRIBEIRO	AV_DUQUEDECAXIAS	134,00	CIRC. DIAM. 1,50	0,015

Fonte: Autor com base em dados da Secretaria de Planejamento e Obras de Bauru

Tabela 8 - Características dos condutos sob a Avenida Nações Unidas em Bauru/SP

3.2.3 Os nós

As características dos nós da rede de drenagem são apresentadas na **Tabela 9**.

Características dos nós					
Nós	Cotas (m)		Profundidade dos nós (m)	Distância à foz (m)	Distância entre os nós (m)
	de fundo	Terreno			
FOZ	501,29	501,29	0,00	0,00	0,00
FOZ_2	501,29	501,29	0,00	0,00	
DESEMBOQUE_RIOBAURU	501,40	504,50	3,10	25,00	25,00
ACESSO_NUNODEASSIS	501,50	504,80	3,30	65,00	40,00
R_TIMBIRAS	501,67	505,39	3,72	170,00	105,00
R_INCONFIDÊNCIA	503,97	507,40	3,43	400,00	230,00
R_JULIOPRESTES	505,14	507,80	2,66	540,00	140,00
R_MARCONDESSALGADO	506,31	511,62	5,31	682,00	142,00
N_AUXILIAR	508,29	512,76	4,48	790,00	108,00
R_EZEQUIELRAMOS	510,26	513,90	3,64	898,00	108,00
R_PRIMEIRODEAGOSTO	512,21	516,00	3,79	1000,00	102,00
R_BATISTADECARVALHO	514,60	518,00	3,40	1120,00	120,00
AV_RODRIGUESALVES	516,34	521,00	4,66	1200,00	80,00
R_CONS.A.PRADO	519,98	522,68	2,70	1340,00	140,00
R_DACONSTITUIÇÃO	522,20	526,60	4,40	1560,00	220,00
R_CAP.JOÃOANTÔNIO	525,91	532,90	6,99	1780,00	220,00
AV_DUQUEDECAFIAS	532,73	537,90	5,17	1949,00	169,00
R_AVIADORRIBEIRO	536,00	539,52	3,52	2083,00	134,00

Fonte: Autor com base em dados da Secretaria de Planejamento e Obras de Bauru

Tabela 9 - Características dos nós

3.2.4 Os dados pluviométricos

Para a simulação dos eventos chuvosos considerou-se uma chuva com duração de 120 minutos, resultando assim em valores acumulados de precipitação de acordo com os tempos de recorrência de 5, 10, 50 e 100 anos, conforme mostrado na **Tabela 2**. Tais dados foram trabalhados de modo a representar, para cada tempo de recorrência, um evento chuvoso. Para tal isso foi usado o método de Huff, 1º quartil, conforme se apresenta nas **Tabela 10** e **Figura 43**.

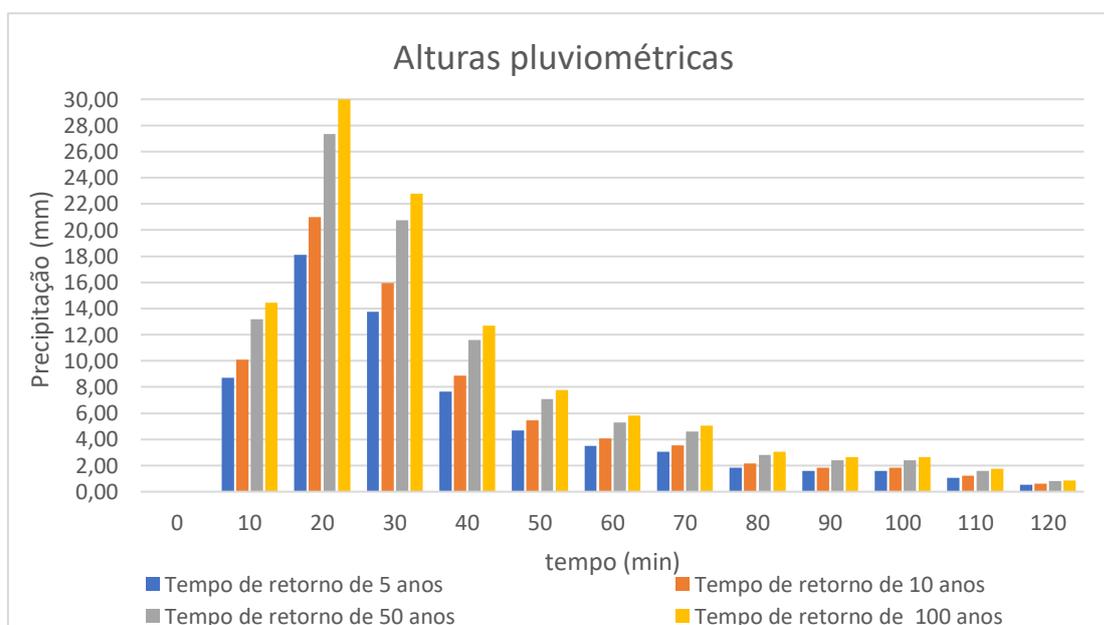
O método descrito por Huff (1967) classifica as precipitações em quatro grupos, com durações divididas em quatro partes iguais para cada. O autor analisou 261 eventos de chuva em 11 anos de registro, com duração de 30 minutos a 48 horas, de 49 postos espalhados numa área de 1 mil km². A área considerada no estudo era rural, com terreno plano e com elevações de 200 a 300 m (Abreu et al, 2017).

Segundo este método é possível desagregar os dados pluviométricos acumulados ou as alturas pluviométricas, para os intervalos de tempo desejados segundo o quartil que melhor representa as precipitações que ocorrem na região.

Precipitações segundo o primeiro quartil de Huff (mm)					
passo de tempo (min)	1° Quartil de Huff	Tempo de retorno de 5 anos	Tempo de retorno de 10 anos	Tempo de retorno de 50 anos	Tempo de retorno de 100 anos
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,132	8,73	10,11	13,17	14,45
20	0,274	18,11	20,99	27,35	30,00
30	0,208	13,75	15,93	20,76	22,78
40	0,116	7,67	8,89	11,58	12,70
50	0,071	4,69	5,44	7,09	7,77
60	0,053	3,50	4,06	5,29	5,80
70	0,046	3,04	3,52	4,59	5,04
80	0,028	1,85	2,14	2,79	3,07
90	0,024	1,59	1,84	2,40	2,63
100	0,024	1,59	1,84	2,40	2,63
110	0,016	1,06	1,23	1,60	1,75
120	0,008	0,53	0,61	0,80	0,88
Soma	1	66,1	76,6	99,8	109,5

Fonte: Autor com base em dados da Secretaria de Planejamento e Obras de Bauru

Tabela 10 - Precipitações segundo o primeiro quartil de Huff



Fonte: Autor com base em dados da secretaria de planejamento e obras de Bauru

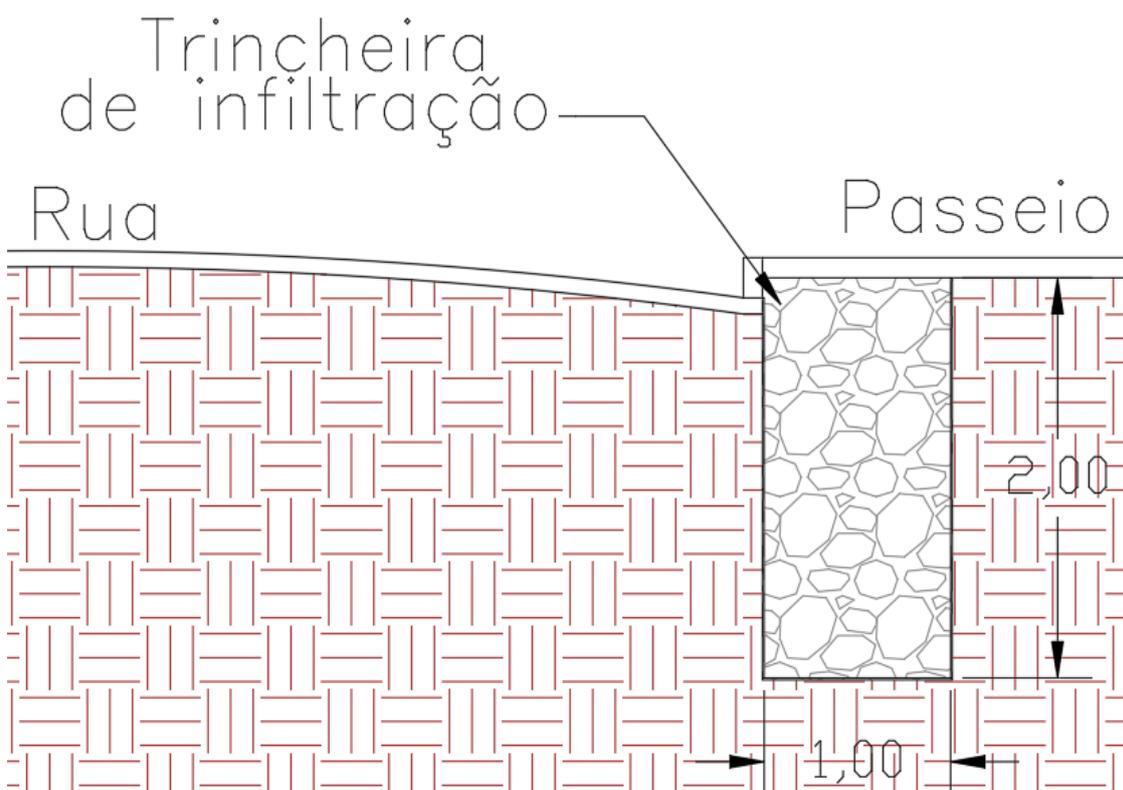
Figura 43 – Alturas pluviométricas das chuvas com duração de 120 minutos para os diferentes tempos de retorno

3.2.5 As intervenções propostas

3.2.5.1 Trincheiras de infiltração

De forma a diminuir os picos de caudal registrados para os eventos chuvosos nos variados tempos de recorrência apresentados e, de acordo com as características locais (elevada impermeabilização causada pela intensa urbanização e boas características de infiltração do solo), foi escolhida como uma das propostas de intervenção as trincheiras de infiltração.

A escolha, para além das características supracitadas, é de fácil implantação, podendo ser construída paralelamente aos arruamentos, estacionamentos ou, como é o caso desta proposta, ficar escondida sob o passeio (**Figura 44**). A versatilidade desta tecnologia de baixo impacto traz vantagens em relação às demais já que, levando-se em consideração as peculiaridades da bacia hidrográfica estudada, não necessita de desapropriações de imóveis e abertura de novas áreas para sua implantação, podendo virtualmente, ser implantada em qualquer sítio de elevada densidade demográfica.

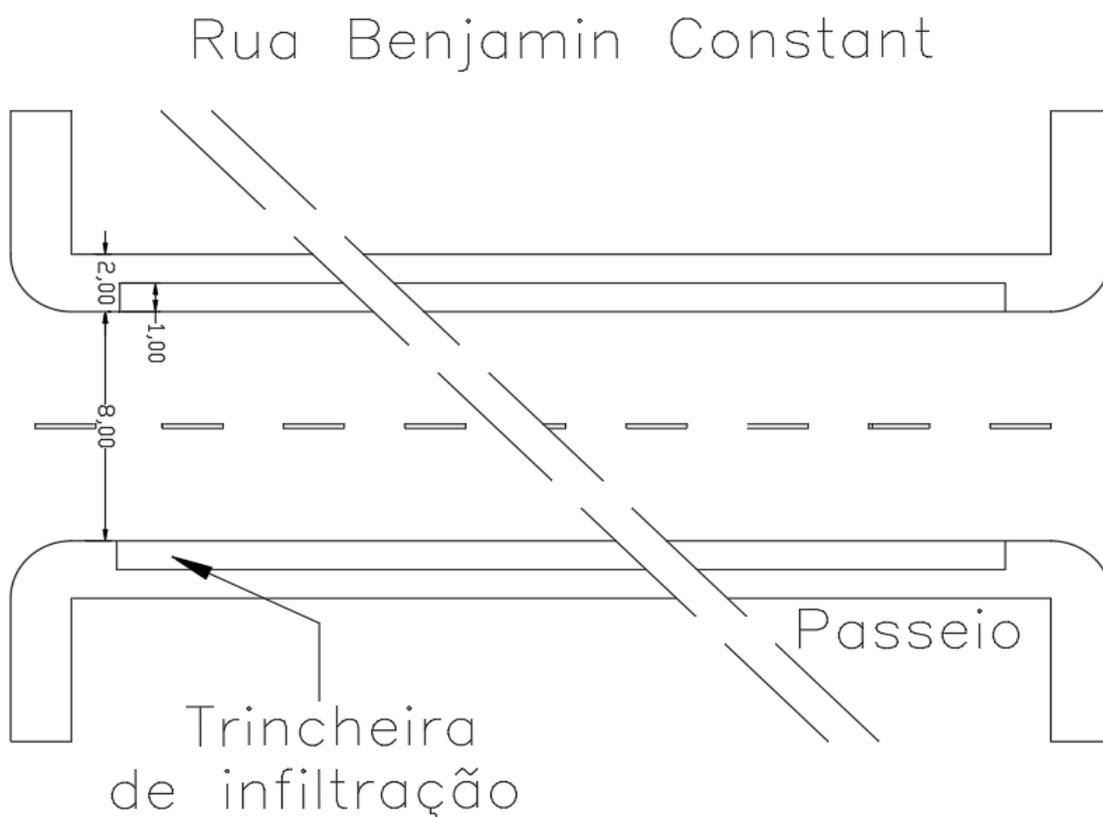


Fonte: Autor

Figura 44 - Representação de trincheira de infiltração sob calçada

A saber, na proposta apresentada, a água proveniente de uma chuvada, ao contrário de ser drenada diretamente para os coletores da rede de drenagem de águas pluviais, passa primeiro pela trincheira instalada sob o passeio. Nesta, os processos de armazenamento e infiltração são promovidos, e por fim apenas o excedente do volume líquido é drenado para o sistema convencional de drenagem.

Para a melhor determinação da área possível de ser ocupada pelas trincheiras em toda a bacia hidrográfica do Córrego das Flores, foram inicialmente feitas três simulações com um troço de arruamento local, nomeadamente a rua Benjamin Constant conforme representação mostrada na **Figura 45**, variando-se nas simulações as áreas das sub-bacias a serem drenadas, conforme mostrado nas **Tabela 11** e **Figura 46**, **Figura 47** e **Figura 48**.



Fonte: Autor

Figura 45 - Representação da localização das trincheiras de infiltração na rua Benjamin Constant

O arruamento usado como representativo da bacia tem aproximadamente 563,00 metros de comprimento total, tendo em média este arruamento 12,00 metros de largura dos quais, 8,00 metros são de via asfaltada e 2,00 metros de cada lado dedicados aos passeios para peões.

Para além do mencionado, o arruamento apresenta imóveis particulares em todo o seu comprimento, é constituído por 12 quarteirões (quadras) e os coeficientes de Manning usados para a simulação foram iguais a 0,01 e 0,1 s/m^{1/3}, para as áreas impermeáveis e permeáveis respetivamente. Adotaram-se profundidades de armazenamento para as áreas impermeáveis e permeáveis iguais 0,05 mm, conforme sugerido pelo manual do usuário do *software* (Rossmann, 2015). Estas áreas de armazenamento são descritas como sendo pequenas reentrâncias, sulcos ou imperfeições nas superfícies, as quais podem ter um efeito de armazenamento, ainda que diminuto, dos volumes precipitados

Dados da rua Benjamin Constant						
Sub-bacia	área (ha)	CN	Largura (m)	Inclinação (%)	Impermeável (%)	imper. sem armazenamento (%)
ÁREA 1	5,47	86,00	97,12	7,11	97	25
ÁREA 2	3,74	86,00	66,49	7,11	97	25
ÁREA 3	2,94	86,00	52,22	7,11	97	25

Fonte: Autor com base em dados da Secretaria de Planejamento e Obras de Bauru

Tabela 11 - Dados da rua Benjamin Constant

As trincheiras a serem implantadas têm similaridades de entre as quais se destacam: a implantação que ocorrerá em todas os passeios (calçadas) na forma de uma faixa de 1 m a contar da sarjeta do arruamento em direção aos edifícios lindeiros, tendo a princípio, 2 m de profundidade, preenchida com material granulado considerando-se um coeficiente de porosidade de 0,50 e sem a presença de drenos.

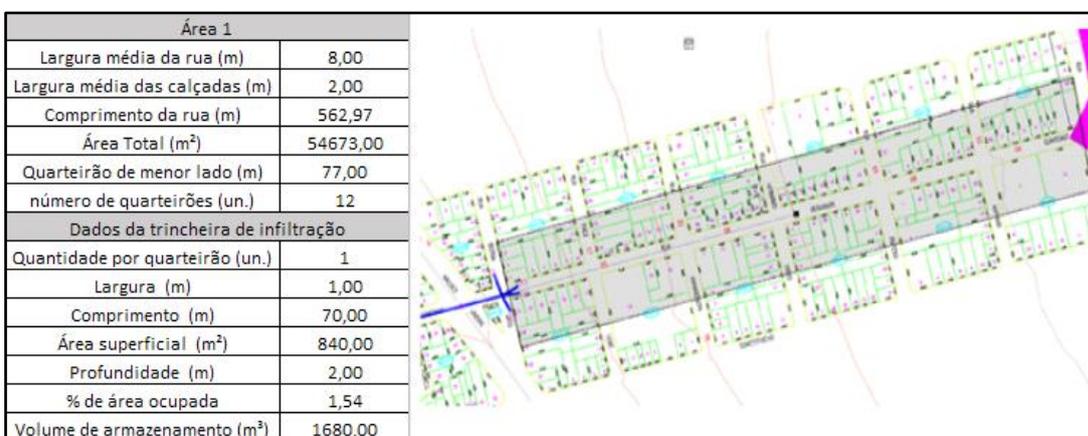
As trincheiras de infiltração são usualmente dimensionadas em função do escoamento superficial gerado pela área a ser abrangida, do balanço hídrico, das capacidades infiltrativas saturadas do solo e dos espaços físicos disponíveis para implantação. No entanto, para este trabalho, elas foram pré-estabelecidas, afim de aferir os seus efeitos num sistema de drenagem convencional. Foram analisadas três alternativas, a seguir denominadas por área 1, 2 ou 3 da sub-bacia (**Tabela 11**).

A área da sub-bacia 1 ou, área 1, foi delimitada de forma a fazer uma aproximação grosseira das possíveis áreas de influência que poderiam gerar um caudal afluente à rua estudada. A rua tem uma área proporcionalmente grande em relação à tecnologia a ser implantada, perfazendo as

trincheiras apenas 1,54% da área superficial a ser tratada, quando se adota uma trincheira com 70 m de comprimento por quarteirão.

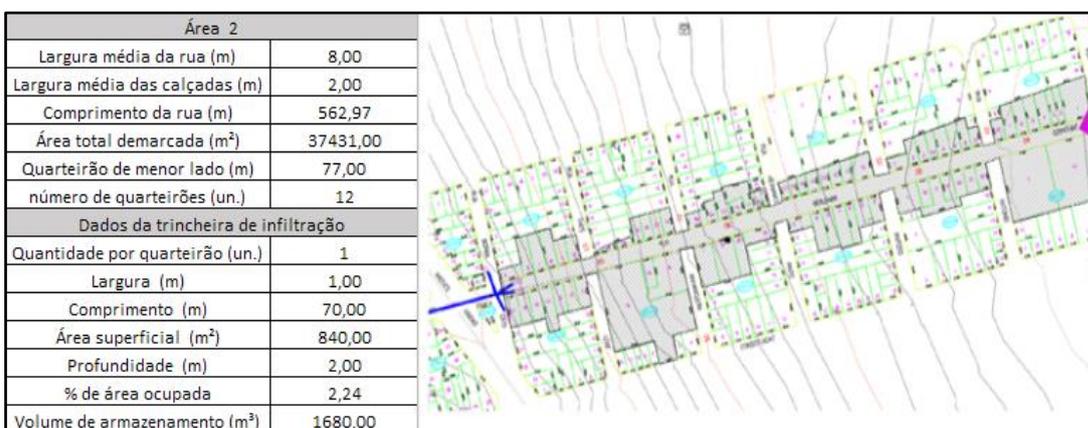
Já a área 2 foi delimitada seguindo as divisões dos lotes apresentadas pela prefeitura municipal de Bauru, adotando a área total de qualquer terreno limitado pelo arruamento estudado como área contributiva para o caudal. Isto nem sempre condiz com a realidade, visto que é apenas suposto que a rede de drenagem destes terrenos desemboque na rua Benjamin Constant. Dentro desta proposta, a tecnologia de baixo impacto constitui aproximadamente 2,24% da área a ser drenada.

Por fim, a área 3 foi desenhada de forma a distribuir um rácio de superfície proporcional para cada uma das ruas que delimitam os quarteirões. Portanto, ao verificar que no trecho estudado um quarteirão tem 4 lados, a área de contribuição para cada uma das trincheiras será de um quarto da área total do quarteirão, somando um rácio de 2,86% da área superficial constituída por trincheiras.



Fonte: Autor

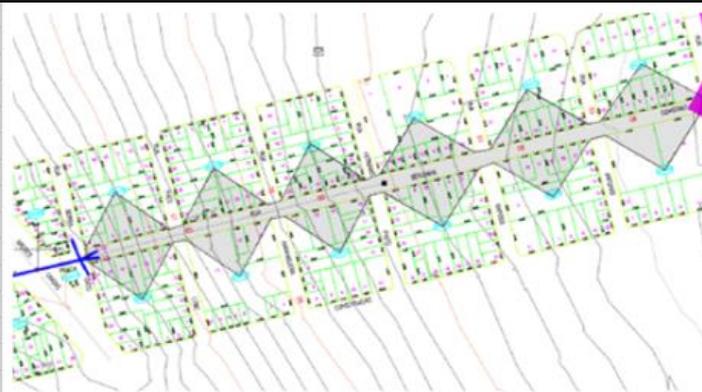
Figura 46 - Dados da Sub-bacia da área 1



Fonte: Autor

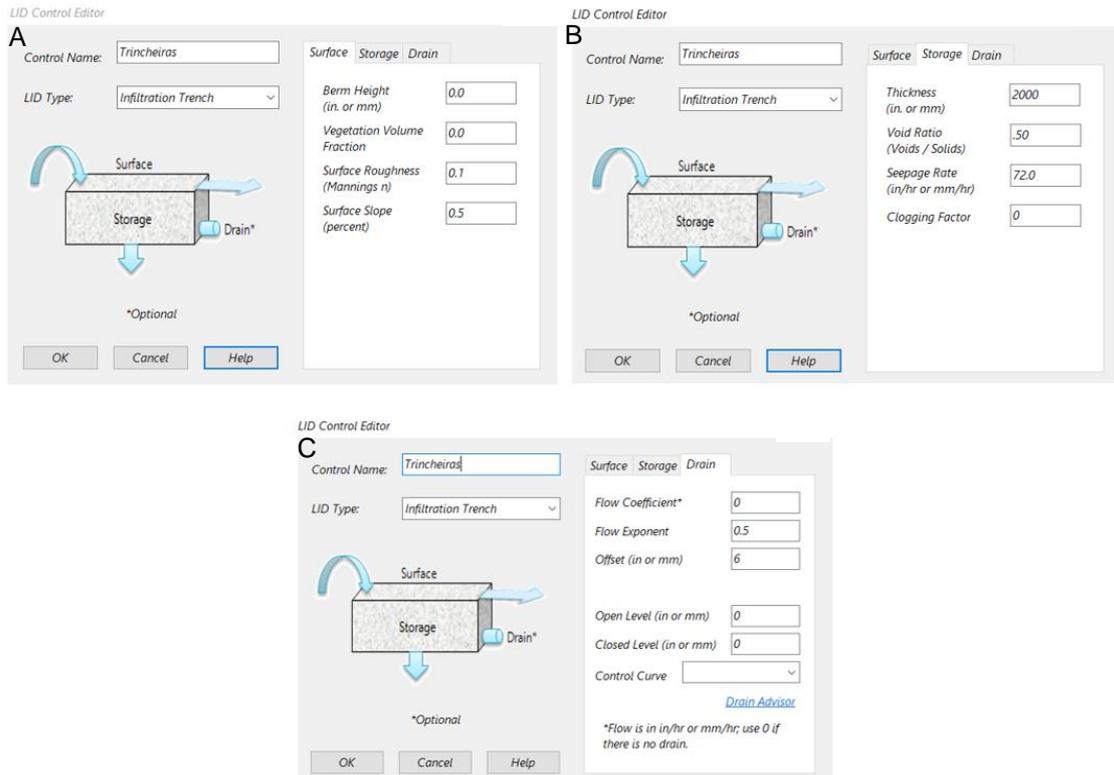
Figura 47 - Dados da Sub-bacia da área 2

Área 3	
Largura média da rua (m)	8,00
Largura média das calçadas (m)	2,00
Comprimento da rua (m)	562,97
Área Total (m ²)	29397,82
Quarteirão de menor lado (m)	77,00
número de quarteirões (un.)	12
Dados da trincheira de infiltração	
Quantidade por quarteirão (un.)	1
Largura (m)	1,00
Comprimento (m)	70,00
Área superficial (m ²)	840,00
Profundidade (m)	2,00
% de área ocupada	2,86
Volume de armazenamento (m ³)	1680,00



Fonte: Autor

Figura 48 - Dados da Sub-bacia da área 3



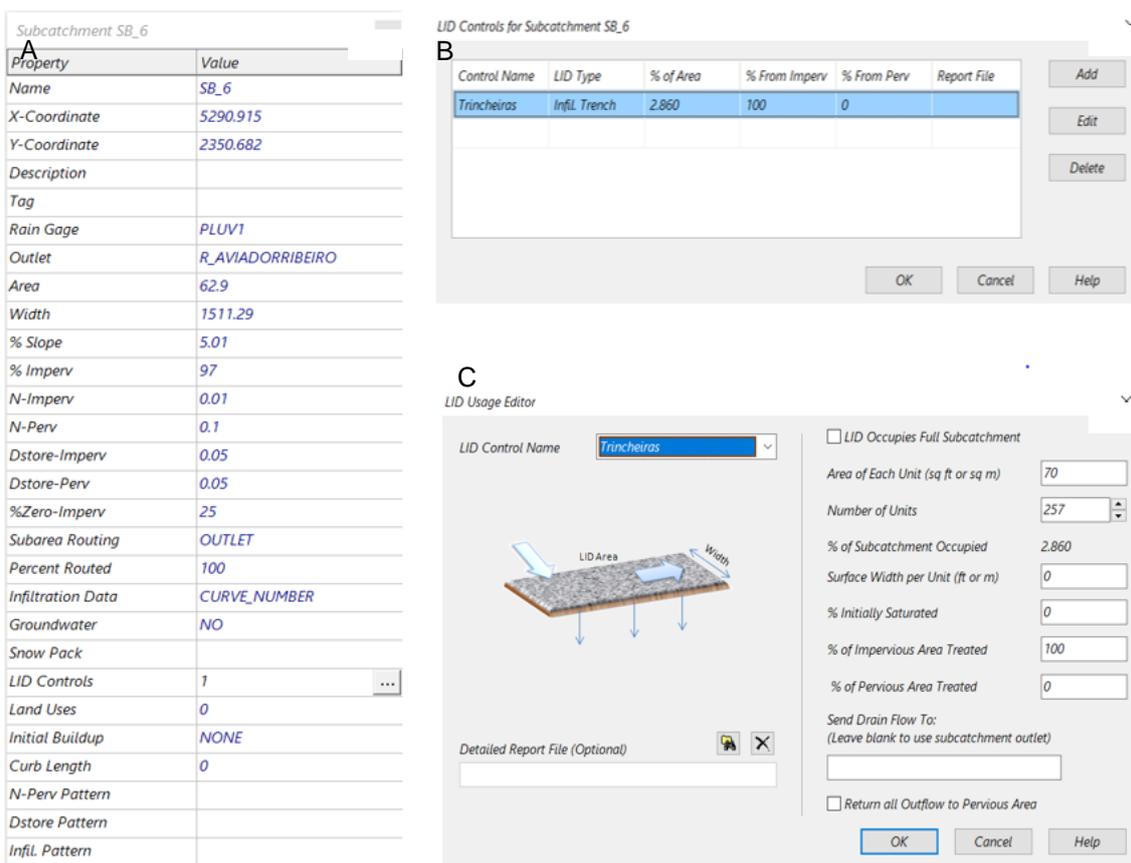
Fonte: Autor

Figura 49 - Dados da trincheira de infiltração no *software* SWMM, Editor de controles LID (A- Superfície, B-Armazenamento, C-Dreno)

Como mencionado anteriormente, as trincheiras em questão não contam com sistema de drenagem, apresentam uma profundidade de 2,00 metros, um coeficiente de vazios de 0,50 e uma taxa de infiltração de 72,00 mm/h. De salientar que os dados de superfícies como o

coeficiente de Manning e a inclinação superficial foram deixados como programados no *software*. A **Figura 49** acima mostra a configuração adotada para as trincheiras no software.

Na **Figura 50**, apresenta-se como exemplo do que foi feito em todas as sub-bacias, o definido no *software* para a área SB_6. Assim, para além dos dados característicos da área, apresentam-se os dados do controlo LID (trincheiras de infiltração) que seguindo o mencionado acima, ocupam 2,86% da área superficial total da sub-bacia. É possível notar que para alcançar esta rácio é necessária a implantação nesta zona de 257 trincheiras com uma superfície de 70,00 m².



Fonte: Autor

Figura 50 - Dados das trincheiras de infiltração associados à sub-bacia (A-Dados da sub-bacia SB_6, B-Controles LID para a sub-bacia SB_6, C-Editor de uso do LID)

É importante notar que, as trincheiras em questão recebem o caudal gerado na área impermeável da bacia. No exemplo da **Figura 50**, as trincheiras estão a receber 100% do caudal gerado por um evento chuvoso que cai na área impermeável da bacia.

3.2.5.2 Os microrreservatórios

Tendo em mente as especificidades da bacia do Córrego das Flores e de forma a contribuir com o objetivo principal deste trabalho, diminuir os eventos adversos causados pelos picos de caudal, também se analisou a possibilidade de implementar microrreservatórios.

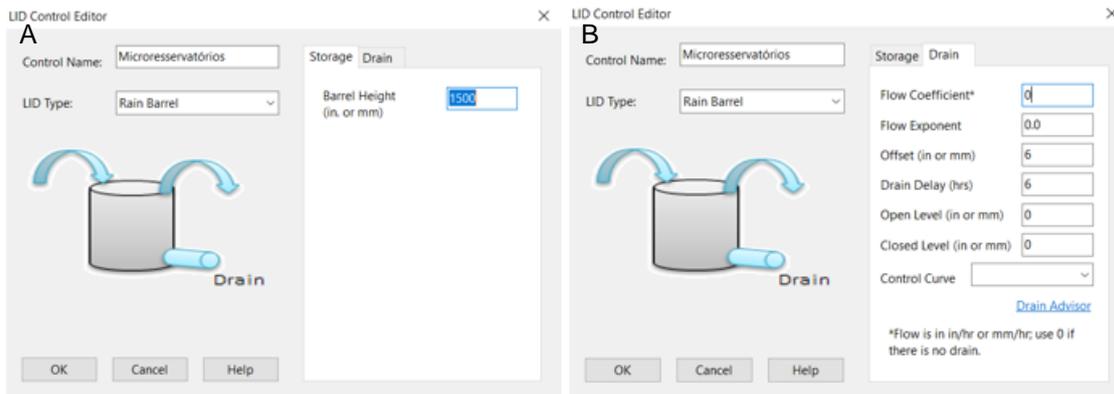
Assim como as trincheiras de infiltração, esta tecnologia LID é de fácil implementação. Os microrreservatórios podem ser comprados já prontos e instalados onde quer que haja espaço na habitação, sendo necessário apenas, na maioria dos casos, a ligação dos tubos de queda de águas pluviais para os reservatórios instalados. Ainda há a peculiaridade de tal tecnologia não necessitar de grandes áreas para a sua viabilização, portanto não é causa de processos de desapropriação de imóveis, preservando assim aos moradores das cidades o seu direito natural à propriedade.

A água advinda de uma chuvada ao invés de escoar diretamente para o sistema público de drenagem seria desviada para um dos microrreservatórios existentes nos imóveis (similares ao representado na **Figura 8**), o que resultaria em tese, numa diminuição do caudal máximo escoado e também no atraso no seu tempo de ocorrência após o início da chuva.

Para esta simulação, a exemplo do que foi feito no trabalho de Freni e Liuzzo (2019), foram escolhidos reservatórios com capacidade de captação individual de 5,0 0m³ a serem implantados inicialmente nos terrenos que fazem frente para a rua Benjamin Constant. Existem no total 73 lotes de terreno e, portanto foram considerados 73 microrreservatórios somando um volume total de armazenamento de 365 m³. Para determinar a área a ser drenada para esta tecnologia verde foram feitas 3 simulações com áreas de drenagem diferentes e dentre elas escolhidas a que melhor representaria o funcionamento real da tecnologia, como mostrado pelas **Figura 52**, **Figura 53** e **Figura 54**.

Para além do citado, os números de Manning usados na simulação foram de 0,01 s/m^{1/3} para áreas impermeáveis e de 0,1 s/m^{1/3} para áreas permeáveis, também é relevante citar que as profundidades de armazenamento para as áreas impermeáveis e permeáveis são ambas de 0,05 mm, valores sugeridos pelo manual do usuário do *software* (Rossman 2015).

A **Tabela 11** mostra mais dados referentes ao arruamento Benjamin Constant. Também é relevante referir que os microrreservatórios em questão não contam com sistema de drenagem e apresentam uma profundidade de 1,50 m. A **Figura 51** ilustra a configuração adotada para os microrreservatórios no *software*.



Fonte: Autor

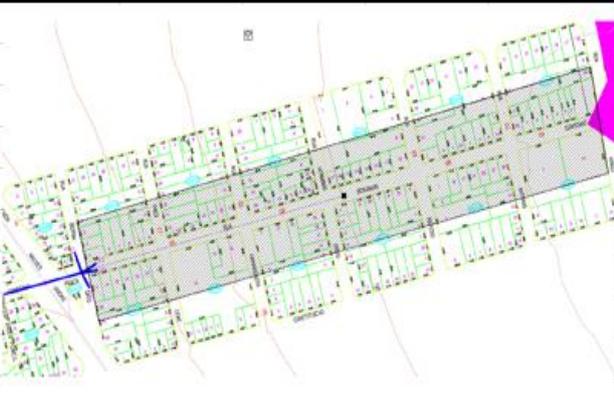
Figura 51 - Dados do microrreservatório no *software* SWMM, Editor de controles LID (A-Armacenamento, B-Dreno)

Seguindo os dados já descritos no item 3.2.5.1, a área da sub-bacia 1 ou, área 1, foi delimitada de forma a fazer uma aproximação grosseira das possíveis áreas de influência que poderiam gerar um caudal à rua estudada, tendo esta uma área proporcionalmente grande em relação à tecnologia a ser implantada, perfazendo apenas 0,445% da área superficial a ser tratada.

Já a área 2 foi delimitada seguindo as divisões dos lotes apresentadas pela prefeitura municipal de Bauru, adotando como área contributiva para o caudal, a soma das áreas dos lotes que tenham ao menos, um de seus lados voltados para o arruamento estudado. Dentro desta proposta a tecnologia de baixo impacto constitui aproximadamente 0,649% da área a ser drenada.

Por fim, a área 3 foi desenhada de forma a distribuir um rácio de superfície proporcional para cada uma das ruas que delimitam os quarteirões. Portanto, ao verificar que no trecho estudado, um quarteirão tem 4 lados e é delimitado por 4 arruamentos, a área de contribuição para a rua Benjamin Constant, por quarteirão será de um quarto da área total do quarteirão. Como resultado obteve-se um rácio de 0,827% da área superficial constituída por microrreservatórios.

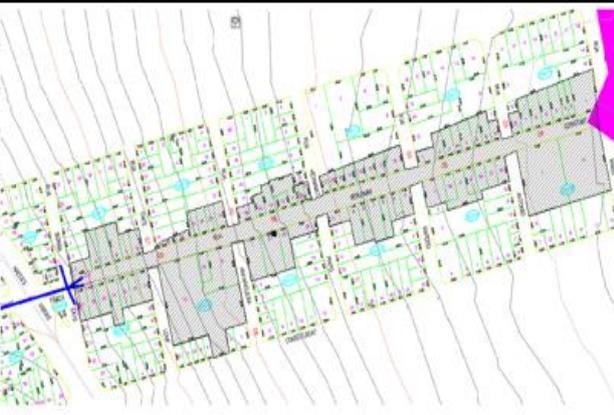
Área 1	
Número de quarteirões	12
Número de lotes	73
Área Total (m ²)	54673,00
Dados dos reservatórios	
Área da Base (m ²)	3,33
Altura (m)	1,5
Vol. do microresservatório (m ³)	5
Vol. total de armazenamento (m ³)	365
Porcentagem da área ocupada	0,445



Fonte: Autor

Figura 52 - Dados da sub-bacia da área 1

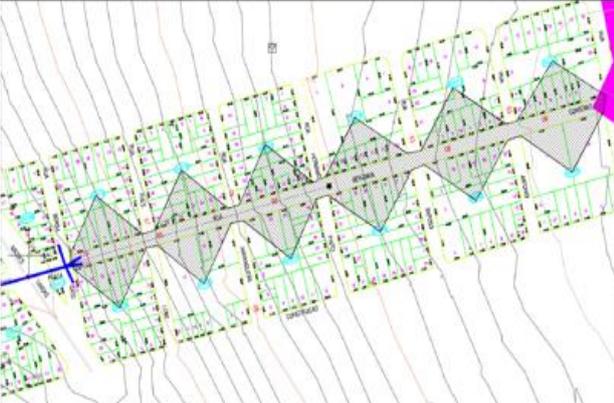
Área 2	
Número de quarteirões	12
Número de lotes	73
Área Total (m ²)	37431,00
Dados dos reservatórios	
Área da Base (m ²)	3,33
Altura (m)	1,5
Vol. do microresservatório (m ³)	5
Vol. total de armazenamento (m ³)	365
Porcentagem da área ocupada	0,649



Fonte: Autor

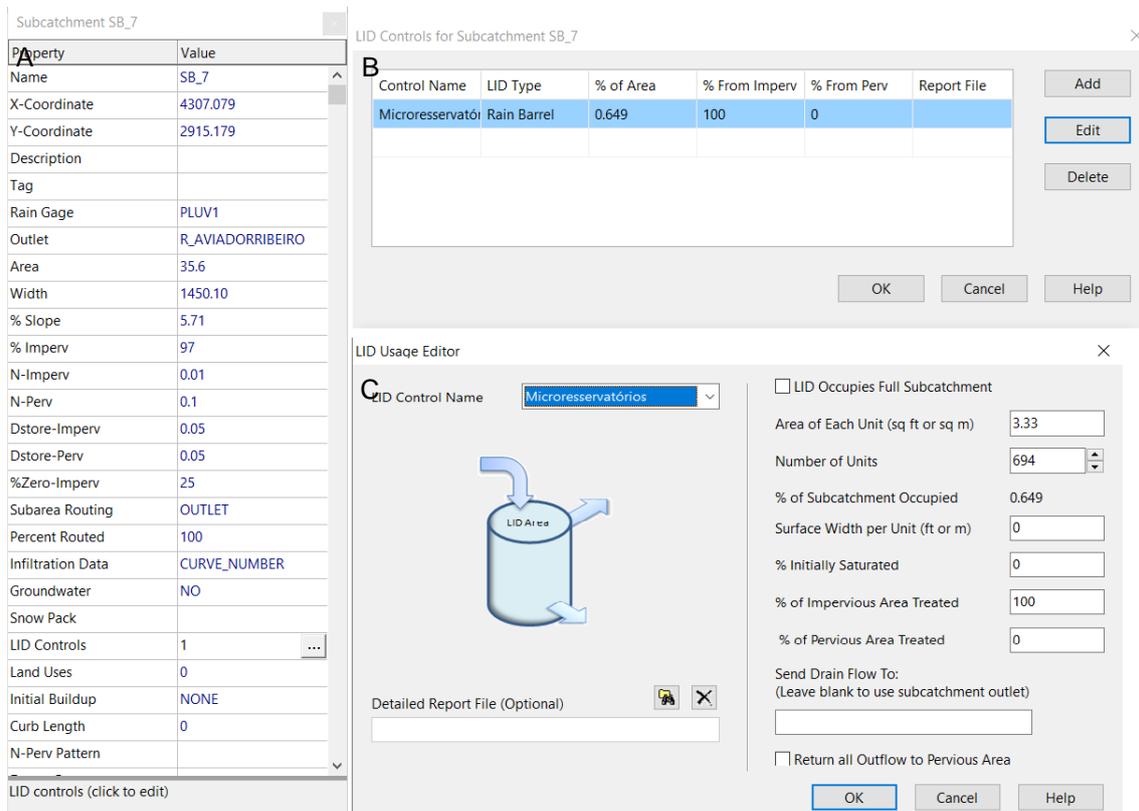
Figura 53 - Dados da sub-bacia da área 2

Área 3	
Número de quarteirões	12
Número de lotes	73
Área Total (m ²)	29397,82
Dados dos reservatórios	
Área da Base (m ²)	3,33
Altura (m)	1,5
Vol. do microresservatório (m ³)	5
Vol. total de armazenamento (m ³)	365
Porcentagem da área ocupada	0,827



Fonte: Autor

Figura 54 - Dados da sub-bacia da área 3



Fonte: Autor

Figura 55 - Dados dos microrreservatórios associados à sub-bacia (A-Dados da sub-bacia SB_7, B-Controles LID para a sub-bacia SB_7, C-Editor de uso do LID)

Na **Figura 55**, é mostrado como exemplo do que foi feito em todas as sub-bacias o programado para a área SB_7. Nesta sub-bacia, para além dos dados característicos da área, mostram-se os dados do controlo LID (microrreservatórios) que, seguindo o mencionado acima, ocupam 0,649% da área superficial total da sub-bacia. É possível notar que, para alcançar esta rácio é necessária a implantação nesta zona de 694 microrreservatórios com uma superfície unitária de 3,33m². Para além disto a tecnologia em questão trata do caudal gerado apenas na área impermeável da bacia, correspondendo a 100% desse caudal no caso do exemplo da **Figura 55**. Esta percentagem mais adiante no trabalho será variada para estudar os seus efeitos sobre a soma dos caudais gerados em toda a bacia.

4 Resultados e discussão

De acordo com o exposto na metodologia, numa primeira fase obtiveram-se resultados para a rua Benjamin Constant (três cenários) para cada tecnologia verde a ser implantada (secção 4.1). Numa segunda fase obtiveram-se resultados referentes às simulações para toda a bacia (secção 4.2), representando tanto o emprego de uma única tecnologia, ou seja, esta trata o caudal gerado por 100% da área impermeável, quanto o emprego das duas tecnologias em cenários onde os percentuais de área impermeável a ser tratada variam entre elas, nomeadamente: 60% do caudal gerado pela área impermeável tratado por trincheiras e 40% por microrreservatórios; posteriormente um rácio de 50% para cada tecnologia; e por fim 40% do caudal das áreas impermeáveis tratado por trincheiras e 60% por microrreservatórios.

Todas as simulações se referem aos 4 cenários climáticos básicos correspondentes a uma chuva de 120 minutos de duração com 4 alturas pluviométricas distintas relacionadas com os períodos de retorno de 5, 10, 50 e 100 anos. O método de cálculo usado leva em conta as equações de Hazen-Williams feitas segundo o modelo de onda dinâmica, presentes no próprio *software*.

Relembra-se que não foi possível a simulação do comportamento real do sistema de drenagem de águas pluviais, mas sim, buscou-se avaliar o impacto de técnicas verdes no desempenho do mesmo levando-se em conta apenas o comportamento do sistema gerado pelas simulações do SWMM. Isto deve-se, em parte, ao facto de não ter sido possível calibrar o modelo SWMM, devido à falta de dados reais dos caudais escoados após uma chuvada e dos níveis das águas nos coletores.

4.1 Rua Benjamin Constant

Segundo apresentado anteriormente na subsecção 3.2.5, foram criadas 3 áreas de influência diferentes no troço de rua escolhido como representativo da bacia hidrográfica estudada. Os resultados e respetivos gráficos apresentados dizem respeito às áreas delimitadas nas **Figura 46**, **Figura 47** e **Figura 48** para as trincheiras de infiltração (item 3.2.5.1) e **Figura 52**, **Figura 53** e **Figura 54** para os microrreservatórios (item 3.2.5.2), sendo agrupados abaixo para os diferentes períodos de retorno, levando-se em conta as áreas.

As simulações para a rua Benjamin Constant tiveram a duração de 200 minutos, ou seja 3 horas e 20 minutos, e adotando os dados pluviométricos para os tempos de retorno anteriormente descritos (5, 10, 50 e 100 anos) com tempo de duração de 120 minutos.

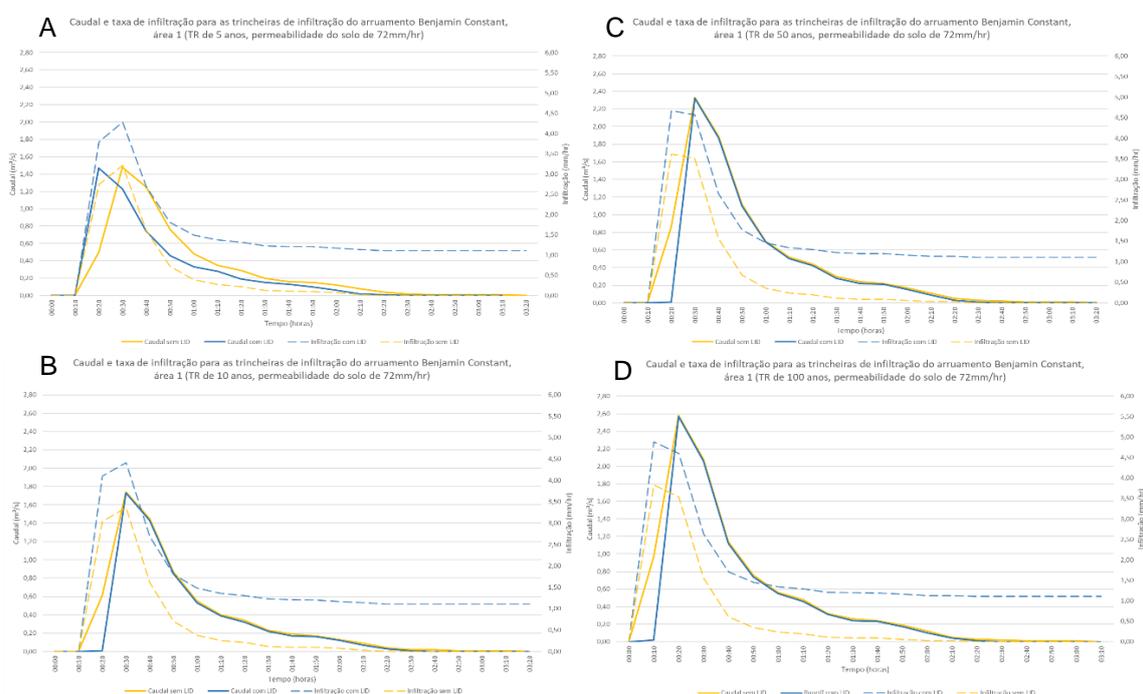
4.1.1 Trincheiras de infiltração

Apresentam-se nos itens abaixo os resultados da implantação das trincheiras de infiltração no arruamento Benjamin Constant, para as três áreas estudadas.

4.1.1.1 Área 1

Devido ao baixo rácio da área LID em relação à área drenada (**Figura 46**), os impactos mitigadores da mesma são quase impercetíveis, tornando-se praticamente nulos à medida que se aumentam os tempos de retorno dos eventos, e consequentemente o volume precipitado.

Nota-se ainda que de início há um certo efeito de retardamento de 10 minutos no caudal devido ao pequeno efeito de reservação das trincheiras. No entanto, apesar de favorecer a infiltração, visto que as taxas cresceram, os picos de caudal foram registrados aos 30 minutos, para todos os tempos de retorno.



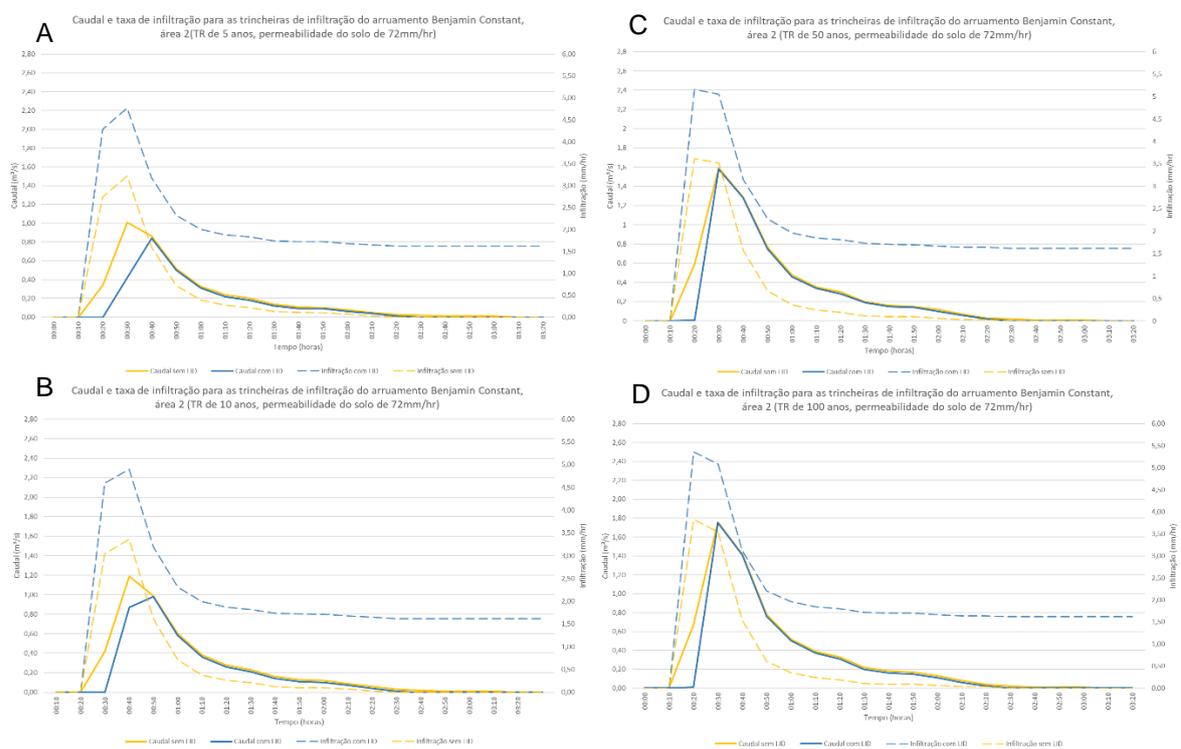
Fonte: Autor

Figura 56 - Gráficos de Caudal e taxa de infiltração para a rua Benjamin Constant, área 1, trincheiras de infiltração (A-tempo de retorno de 5 anos, B-tempo de retorno de 5 anos, C-tempo de retorno de 50 anos, D-tempo de retorno de 100 anos)

A principal melhoria notada quando se comparam as simulações com e sem a tecnologia sustentável de gestão foi tanto o aumento significativo da taxa de infiltração da região, assim como o seu prolongamento no tempo se comparado com a situação inicial. Nessa situação inicial só há praticamente infiltração enquanto há chuva, e uma vez findo o evento chuvoso, decaem abruptamente as taxas de infiltração, como pode ser visto na **Figura 56**.

4.1.1.2 Área 2

A área 2 que, leva em conta o zoneamento dos lotes que encostam à rua Benjamin Constant segundo a prefeitura municipal de Bauru, **Figura 47**, tem uma percentagem de área superficial constituída por trincheiras que perfaz o total de 2,24%.



Fonte: Autor

Figura 57 - Gráficos de Caudal e taxa de infiltração para a rua Benjamin Constant, área 2, trincheiras de infiltração (A-tempo de retorno de 5 anos, B-tempo de retorno de 5 anos, C-tempo de retorno de 50 anos, D-tempo de retorno de 100 anos)

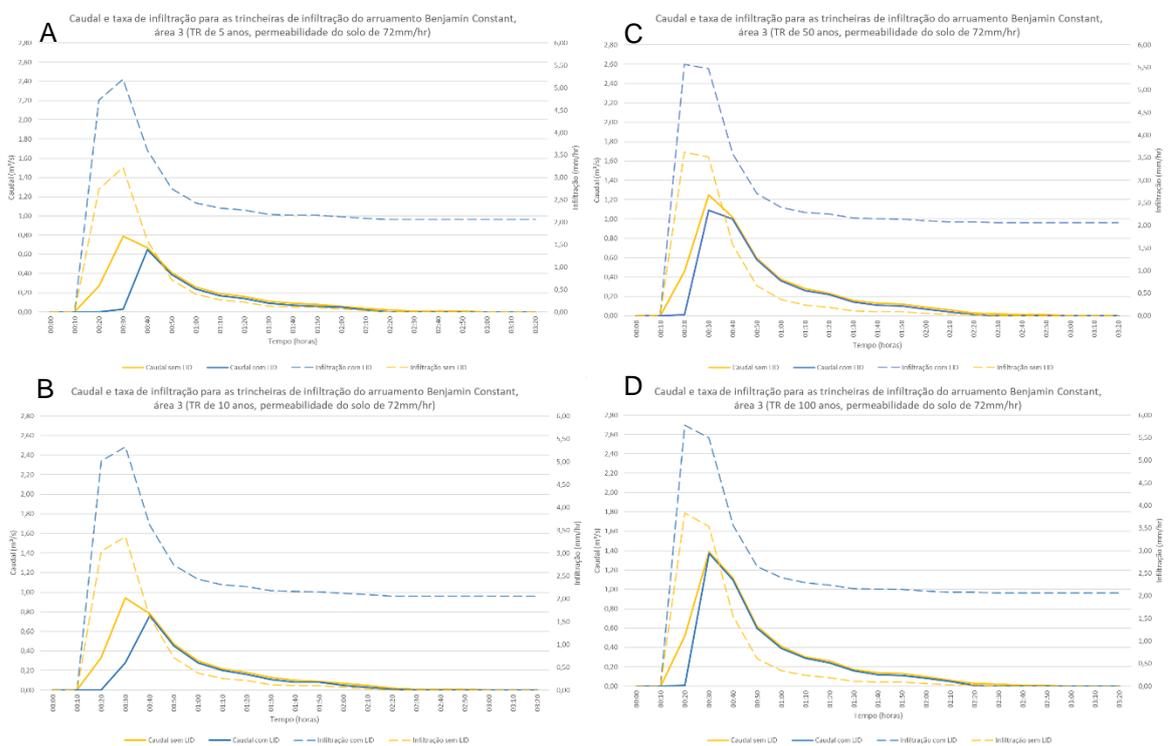
Os caudais de pico acabam por sofrer uma redução à medida que a percentagem de área LID em relação à área drenada aumenta. Observa-se igualmente o aumento da taxa de infiltração por evento chuvoso. Todavia para os tempos de retorno de 50 e 100 anos apenas o aumento da taxa

de infiltração continua relevante, já que o grande volume precipitado nesses eventos extremos acaba por suplantiar as trincheiras, fazendo com que não seja notada grande diferença no pico de vazão.

É relevante notar que nos eventos correspondentes às chuvas de 5 e 10 anos, além da redução do caudal de pico, este aconteceu com um atraso de 10 minutos em relação à simulação sem LID, como visto na **Figura 57**.

4.1.1.3 Área 3

Para a terceira simulação, feita em relação à área 3 da forma como foi definida na **Figura 48**, a percentagem de trincheiras usadas ocupou 2,86% da área total, o que resultou em uma queda ainda mais expressiva dos caudais de pico assim como seu atraso em 10 minutos. Outro aspeto importante foi o aumento da taxa de infiltração.



Fonte: Autor

Figura 58 - Gráficos de Caudal e taxa de infiltração para a rua Benjamin Constant, área 3, trincheiras de infiltração (A-tempo de retorno de 5 anos, B-tempo de retorno de 5 anos, C-tempo de retorno de 50 anos, D-tempo de retorno de 100 anos)

É visível que, conforme o rácio entre a tecnologia de baixo impacto adotada e a área a ser drenada aumenta, os seus efeitos passam a ser notados com mais contundência nos eventos chuvosos de maior volume, como visto na **Figura 58**.

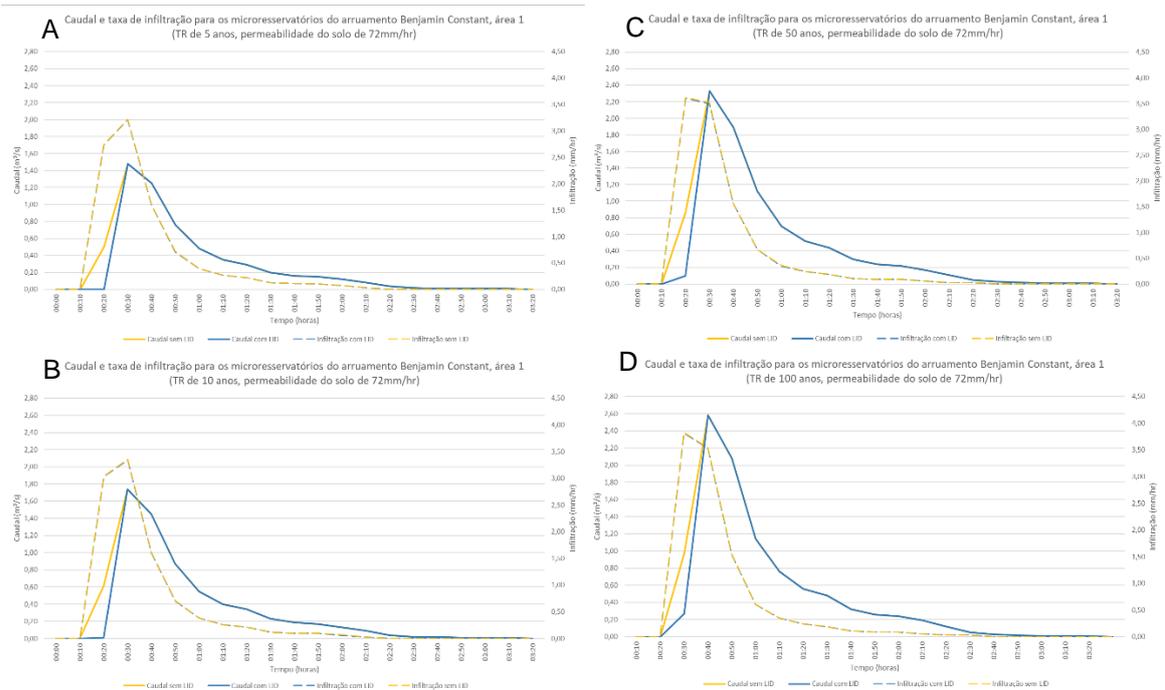
4.1.2 Microrreservatórios

Apresentam-se nos itens abaixo os resultados da implantação dos microrreservatórios no arruamento Benjamin Constant, para as três áreas consideradas.

4.1.2.1 Área 1

Devido à baixa proporção de reservatórios, aproximadamente 0,445% da área total, e pequena capacidade de retenção instalada em relação à área total estudada, observa-se que os impactos da aplicação de tal tecnologia são praticamente nulos (**Figura 59**). Ocorre apenas uma pequena diminuição do caudal no período inicial do evento climático que, entretanto, acaba por ser pontual e não acarreta uma redução considerável do caudal para instantes posteriores. Por se tratar de um método que não conta com mecanismos que visem privilegiar a infiltração, as taxas de infiltração anterior e posterior à aplicação dos reservatórios permaneceram inalteradas.

É mister salientar que, quanto mais intenso o evento chuvoso, ou seja, à medida que os tempos de retorno aumentam, há menor eficácia da aplicação desta tecnologia verde. Isto acontece porque os volumes precipitados aumentam, sobrepujando mais rapidamente as capacidades de armazenamento dos pequenos reservatórios, como pode ser observado na **Figura 59**.



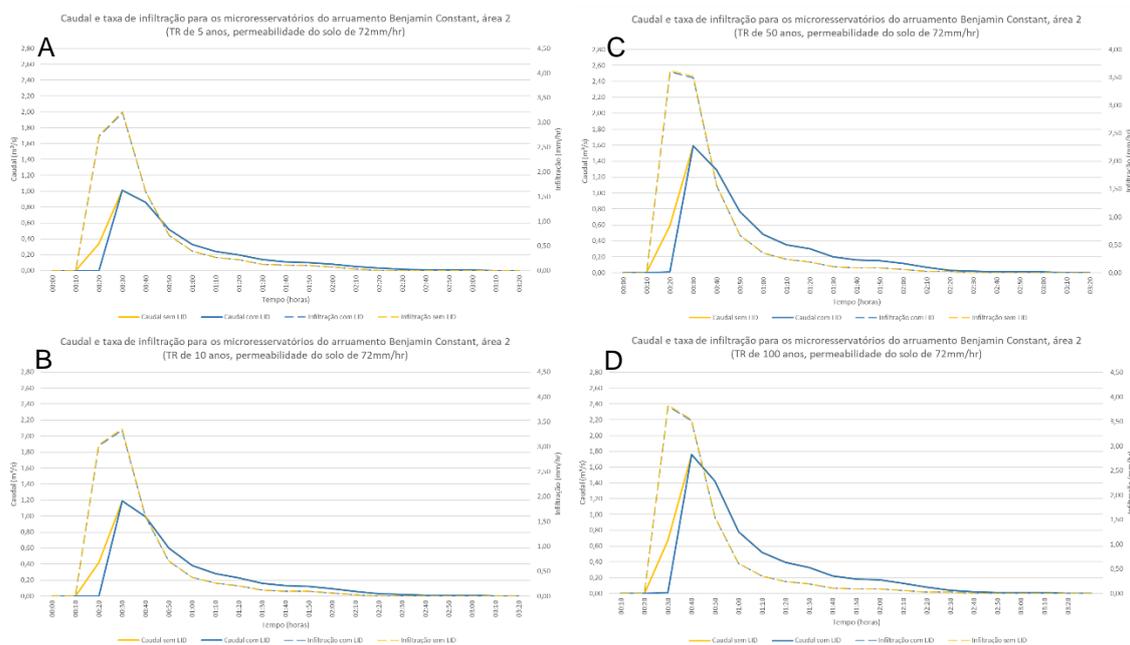
Fonte: Autor

Figura 59 - Gráficos de Caudal e taxa de infiltração para a rua Benjamin Constant, área 1, microrreservatórios (A-tempo de retorno de 5 anos, B-tempo de retorno de 5 anos, C-tempo de retorno de 50 anos, D-tempo de retorno de 100 anos)

4.1.2.2 Área 2

Nesta simulação, a área foi delimitada de forma a respeitar os limites impostos pelos terrenos dos imóveis que apresentavam, no mínimo, uma de suas faces voltadas para o arruamento Benjamin Constant. Ao tratar-se de aproximação mais fidedigna, a proporção da tecnologia empregue face à área total tratada aumentou, atingindo 0,649%, o que causou uma melhora de desempenho, todavia ainda diminuta.

Assim como ocorrido na área 1, houve diminuição dos caudais gerados no início do evento chuvoso, como pode ser visto nos gráficos mostrados na **Figura 60**. No entanto não se observou igual diminuição dos caudais no decorrer do evento, fenómeno este explicado pelo facto de tal tecnologia apenas ser capaz de atenuar os caudais enquanto a sua capacidade de armazenamento não se encontrar completamente atingida. Ainda quanto aos dados, pode-se dizer que as taxas de infiltração permaneceram inalteradas, tal qual observado na área 1.



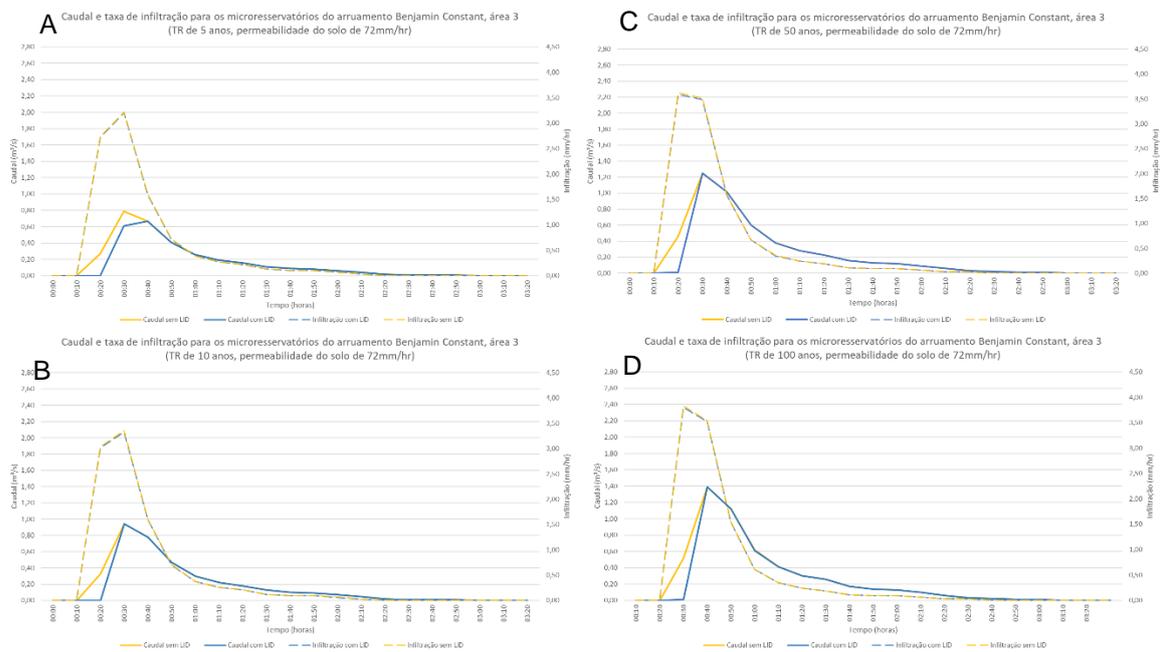
Fonte: Autor

Figura 60 - Gráficos de Caudal e taxa de infiltração para a rua Benjamin Constant, área 2, microrreservatórios (A-tempo de retorno de 5 anos, B-tempo de retorno de 5 anos, C-tempo de retorno de 50 anos, D-tempo de retorno de 100 anos)

4.1.2.3 Área 3

Para a área 3, o rácio entre a área ocupada pelos microrreservatórios e a total foi de 0,827%, sendo, de entre as 3 simulações a com maior percentual, portanto com melhores resultados, já que cada reservatório instalado receberia um volume menor de água.

Para o tempo de retorno de 5 anos, a diminuição dos caudais ultrapassou os primeiros 10 minutos após o início do evento, causando uma diminuição também no caudal de pico. No entanto, apesar do bom resultado, o mesmo não se observou para as chuvadas de maior intensidade, nomeadamente os eventos com tempos de retorno de 10, 50 e 100 anos, limitando-se nestes casos a apenas uma diminuição semelhante à das simulações anteriores para os caudais iniciais. Observou-se que, como já visto para as áreas 1 e 2, o emprego dos reservatórios não propiciou uma melhoria nas taxas de infiltração, como pode ser observado nos gráficos da **Figura 61**.



Fonte: Autor

Figura 61 - Gráficos de Caudal e taxa de infiltração para a rua Benjamin Constant, área 3, microrreservatórios (A-tempo de retorno de 5 anos, B-tempo de retorno de 5 anos, C-tempo de retorno de 50 anos, D-tempo de retorno de 100 anos)

4.1.3 Análise dos resultados obtidos para a rua Benjamin Constant

Como base na discussão dos resultados obtidos para as 3 áreas de influência simuladas (subsecção 4.1.1), considerou-se que para melhor representar o funcionamento das trincheiras de infiltração deveria ser adotada a divisão representada pela área 3 (**Figura 42**). Assim cada trincheira trataria apenas do caudal gerado pela fração de área correspondente ao passeio (calçada) que lhe faz limite, portanto a um quarto da área total da quadra neste caso específico.

Escolhido o modelo que melhor se adequa à bacia do Córrego das Flores foram programadas no *software* SWMM as trincheiras de infiltração em aproximadamente 2,86% da área superficial das 14 sub-bacias que perfazem a totalidade da área estudada (**Figura 42**) e então feitas as simulações levando-se em conta os caudais que seriam gerados sem e com o emprego das trincheiras e seu virtual impacto nos eventos de inundações naquela região.

Da forma análoga decidiu-se que o rácio, que melhor representava o uso dos microrreservatórios, seria o adotado na área 2 (**Figura 53**), já que cada microrreservatório trataria apenas do caudal

gerado em seu terreno de origem, conforme mostrado pelos resultados das simulações para cada uma das áreas (subsecção 4.1.2).

E assim como para as trincheiras de infiltração, também para os microrreservatórios, após escolhido o modelo a ser extrapolado para toda a área da bacia, foram programados no *software* SWMM os microrreservatórios em aproximadamente 0,649% da área superficial das 14 sub-bacias que totalizam a integralidade da bacia do Córrego das Flores.

4.2 Aplicação das tecnologias na bacia hidrográfica do Córrego das Flores

Ao considerar a totalidade da bacia do Córrego das Flores, composta por 15 sub-bacias identificadas na **Figura 42**, das quais apenas 14 contribuem diretamente para o caudal no trecho estudado (canalização sob a Avenida Nações Unidas), e considerando os distintos cenários propostos para a aplicação das tecnologias, obtiveram-se os resultados listados nas subsecções a seguir indicadas:

- Trincheiras de infiltração (100% do caudal gerado na área impermeável a ser destinado às trincheiras de infiltração) – subsecção 4.2.1;
- Microrreservatórios (100% do caudal gerado na área impermeável a ser destinado aos microrreservatórios) – subsecção 4.2.2;
- Microrreservatórios associados às trincheiras de infiltração (40% do caudal gerado na área impermeável a ser destinado aos microrreservatórios e 60% às trincheiras de infiltração) –subsecção 4.2.3, item 4.2.3.1;
- Microrreservatórios associados às trincheiras de infiltração (50% do caudal gerado na área impermeável a ser destinado aos microrreservatórios e 50% às trincheiras de infiltração) –subsecção 4.2.3, item 4.2.3.2;
- Microrreservatórios associados às trincheiras de infiltração (60% do caudal gerado na área impermeável a ser destinado aos microrreservatórios e 40% às trincheiras de infiltração) –subsecção 4.2.3, item 4.2.3.3.

As simulações para toda a bacia do Córrego das Flores tiveram a duração de 600 minutos, ou seja, um total de 10 horas, com os dados pluviométricos correspondentes aos tempos de retorno anteriormente descritos (5, 10, 50 e 100 anos) com tempo de duração de 120 minutos.

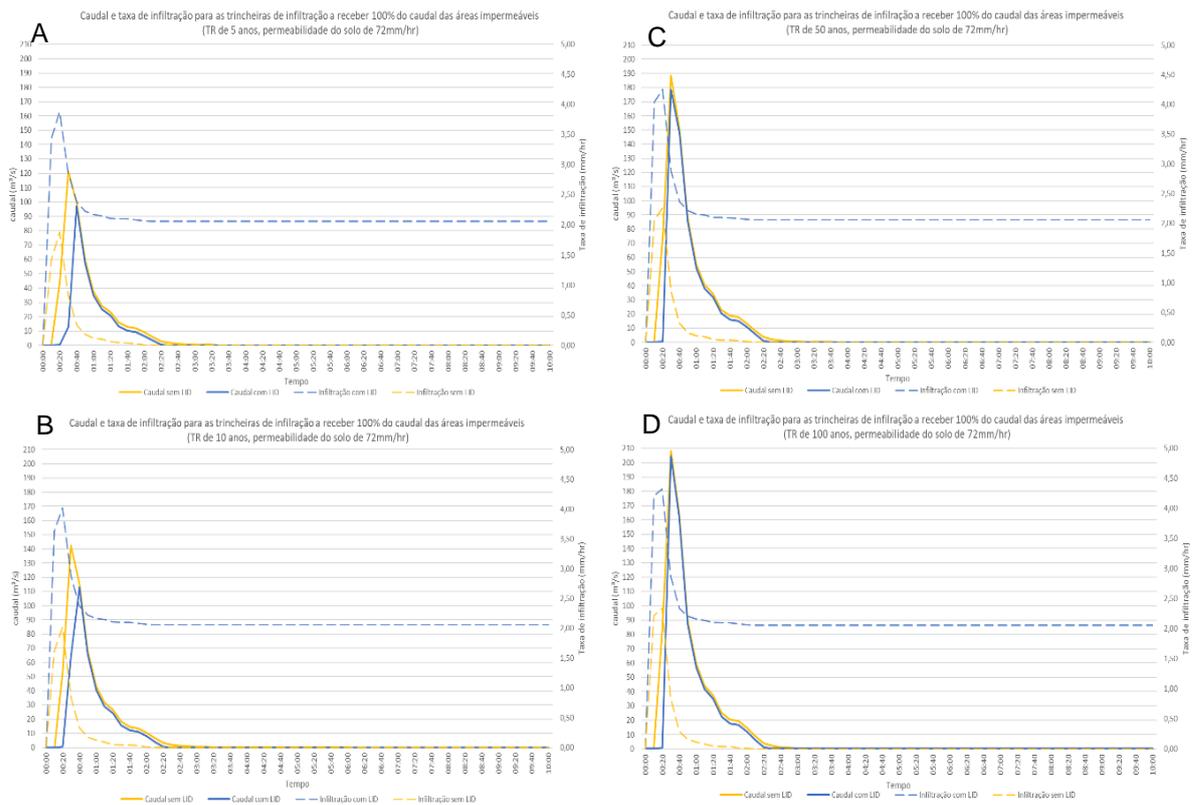
4.2.1 Trincheiras de infiltração

Levando-se em conta a percentagem de aplicação das trincheiras de infiltração semelhante à estipulada pela simulação parcial ao arruamento Benjamin Constant, área 3, ou seja 2,86%, é possível dizer que, a tecnologia em questão teve sucesso. As simulações permitiram observar que a taxa de infiltração aumentou significativamente, não apenas durante o evento chuvoso, mas também por um período que vai muito além das duas horas de precipitação.

Também é possível notar uma diminuição no caudal de pico, principalmente para chuvas com tempos de retorno menores. Nas precipitações com tempos de retorno de 5 e 10 anos, o caudal de pico diminuiu de 121,30 m³/s para 97,17 m³/s e de 142,29 m³/s para 112,95 m³/s, respectivamente, observando-se nas duas situações um retardamento do tempo de pico do instante 30 minutos para o instante 40 minutos da simulação.

Porém, esta diminuição não é substancial nos eventos chuvosos mais intensos. Mas precipitações com tempos de retorno de 50 e 100 anos, a diminuição do pico de caudal foi de, respectivamente, 188,54 m³/s para 178,32 m³/s e 208,09 m³/s para 204,51 m³/s. No entanto não se observou o anteriormente mencionado retardamento do instante de ocorrência do máximo caudal, mantendo-se esta ocorrência aos 30 minutos de simulação.

No entanto, a taxa de infiltração, mesmos nos casos onde não houve diminuição substancial do caudal de pico, aumentou sobremaneira, praticamente duplicando em todos os cenários analisados, como é possível observar na **Figura 62**.



Fonte: Autor

Figura 62 - Gráficos de caudal e taxa de infiltração para a totalidade da bacia do Córrego das Flores com e sem a implantação das trincheiras de infiltração (A-tempo de retorno de 5 anos, B-tempo de retorno de 10 anos, C-tempo de retorno de 50 anos, D-tempo de retorno de 100 anos)

Apresentam-se na **Tabela 12** as informações dos nós que em algum momento da simulação apresentaram extravasamentos. É possível ver que à partida houve uma diminuição do tempo de extravasamento, assim como dos correspondentes caudal máximo e volume, principalmente no caso de menores períodos de retorno e nos nós mais a montante no trecho analisado. É de salientar que, em alguns nós, a redução de duração do evento e volume extravasado foi superior a 65% e 99% respetivamente, como por exemplo no nó R_JULIOPRESTES para o tempo de retorno de 5 anos, conforme se observa na **Tabela 13**.

Extravasamentos								
Sem LID					Com LID			
Nós que extravasam	Duração (min)	Caudal máx. (m ³ /s)	Momento do caudal máximo (min)	Volume (m ³ *10 ³)	Duração (min)	Caudal máx. (m ³ /s)	Instante do caudal máximo (min)	Volume (m ³ *10 ³)
Tempo de retorno de 5 anos								
R_AVIADORRIBEIRO	54,60	63,85	0,50	88,709	35,40	47,58	0,67	45,098
R_BATISTADACARVALHO	36,00	4,56	0,50	5,773	21,00	4,67	0,57	2,707
R_DACONSTITUIÇÃO	33,00	10,94	0,50	12,342	20,40	7,90	0,60	5,178
R_CONS.A.PRADO	22,80	1,84	0,50	1,475	10,20	5,04	0,57	0,539
R_JULIOPRESTES	19,20	4,08	0,50	3,018	6,60	2,90	0,63	0,604
ACESSO_NUNODEASSIS	0,60	7,03	0,97	0,234	0,60	7,31	0,95	0,260
R_TIMBIRAS	0,60	1,98	0,35	0,007	0,60	5,72	0,60	0,028
R_INCONFIDÊNCIA	0,60	1,64	0,40	0,005	0,60	3,71	0,60	0,018
AV_RODRIGUESALVES	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,000
Tempo de retorno de 10 anos								
R_AVIADORRIBEIRO	63,00	78,18	0,50	113,773	45,60	61,45	0,58	67,060
R_BATISTADACARVALHO	40,80	5,51	0,50	7,462	28,80	4,42	0,58	4,188
R_DACONSTITUIÇÃO	38,40	13,90	0,50	16,792	25,80	10,77	0,58	8,672
R_CONS.A.PRADO	28,20	2,65	0,50	2,386	16,80	2,09	0,50	0,993
R_JULIOPRESTES	22,80	5,87	0,50	5,038	12,00	3,90	0,58	1,744
ACESSO_NUNODEASSIS	1,20	7,53	0,07	0,341	0,60	9,32	0,55	0,315
R_TIMBIRAS	0,60	2,44	0,33	0,009	0,60	6,76	0,53	0,038
R_INCONFIDÊNCIA	0,60	1,60	0,38	0,005	0,60	4,35	0,55	0,026
AV_RODRIGUESALVES	0,00	0,00	0,00	0,000	0,60	3,12	0,52	0,017
Tempo de retorno de 50 anos								
R_AVIADORRIBEIRO	71,40	109,69	0,50	173,231	57,00	102,08	0,50	124,074
R_BATISTADACARVALHO	51,60	7,36	0,50	11,308	37,80	7,28	0,50	7,845
R_DACONSTITUIÇÃO	46,80	20,42	0,50	27,355	36,00	18,21	0,50	18,646
R_CONS.A.PRADO	34,20	4,40	0,50	4,760	24,60	5,89	0,47	3,211
R_JULIOPRESTES	31,20	10,15	0,50	10,268	22,20	11,52	0,52	6,036
R_TIMBIRAS	1,20	7,53	0,07	0,341	1,20	9,68	0,50	0,074
ACESSO_NUNODEASSIS	0,60	2,44	0,33	0,009	1,20	7,36	0,15	0,456
AV_RODRIGUESALVES	0,60	1,60	0,38	0,005	0,60	6,49	0,47	0,062
R_INCONFIDÊNCIA	0,60	1,38	0,33	0,003	0,60	7,72	0,50	0,091
Tempo de retorno de 100 anos								
R_AVIADORRIBEIRO	74,40	122,97	0,50	195,956	60,60	120,03	0,50	144,267
R_BATISTADACARVALHO	56,40	7,42	0,45	12,661	43,80	7,39	0,52	9,195
R_DACONSTITUIÇÃO	52,20	23,16	0,50	31,477	40,20	23,00	0,50	22,603
R_CONS.A.PRADO	36,60	4,40	0,55	5,522	27,00	4,61	0,43	3,972
R_JULIOPRESTES	33,00	11,71	0,50	12,287	24,00	11,99	0,50	7,941
AV_RODRIGUESALVES	7,80	1,89	0,50	0,434	3,60	5,12	0,43	0,219
ACESSO_NUNODEASSIS	1,80	7,66	0,25	0,595	1,80	7,25	0,18	0,523
R_TIMBIRAS	1,20	6,90	0,30	0,036	1,20	8,61	0,47	0,062
R_INCONFIDÊNCIA	0,60	1,43	0,32	0,003	0,60	8,08	0,47	0,093

Fonte: Autor

Tabela 12 - Lista dos nós que apresentaram diminuição de caudal de extravasamento, considerando unicamente trincheiras de infiltração.

Extravasamentos			
Diferenças (%)			
Nós que extravasam	Duração	Caudal máximo	Volume extravasado
Tempo de retorno de 5 anos			
R_AVIADORRIBEIRO	-35,16	-25,48	-49,16
R_BATISTADCARVALHO	-41,67	2,43	-53,11
R_DACONSTITUIÇÃO	-38,18	-27,82	-58,05
R_CONS.A.PRADO	-55,26	173,49	-63,46
R_JULIOPRESTES	-65,63	-28,92	-79,99
ACESSO_NUNODEASSIS	0,00	3,85	11,11
R_TIMBIRAS	0,00	189,25	300,00
R_INCONFIDÊNCIA	0,00	125,63	260,00
AV_RODRIGUESALVES	0,00	0,00	0,00
Tempo de retorno de 10 anos			
R_AVIADORRIBEIRO	-27,62	-21,39	-41,06
R_BATISTADCARVALHO	-29,41	-19,87	-43,88
R_DACONSTITUIÇÃO	-32,81	-22,50	-48,36
R_CONS.A.PRADO	-40,43	-20,98	-58,38
R_JULIOPRESTES	-47,37	-33,53	-65,38
ACESSO_NUNODEASSIS	-50,00	23,75	-7,62
R_TIMBIRAS	0,00	176,84	322,22
R_INCONFIDÊNCIA	0,00	171,80	420,00
AV_RODRIGUESALVES	-	-	-
Tempo de retorno de 50 anos			
R_AVIADORRIBEIRO	-20,17	-6,94	-28,38
R_BATISTADCARVALHO	-26,74	-1,12	-30,62
R_DACONSTITUIÇÃO	-23,08	-10,80	-31,84
R_CONS.A.PRADO	-28,07	33,77	-32,54
R_JULIOPRESTES	-28,85	13,51	-41,22
R_TIMBIRAS	0,00	28,51	-78,30
ACESSO_NUNODEASSIS	100,00	201,63	4966,67
AV_RODRIGUESALVES	0,00	305,62	1140,00
R_INCONFIDÊNCIA	0,00	459,84	2933,33
Tempo de retorno de 100 anos			
R_AVIADORRIBEIRO	-18,55	-2,39	-26,38
R_BATISTADCARVALHO	-22,34	-0,41	-27,09
R_DACONSTITUIÇÃO	-22,99	-0,68	-28,19
R_CONS.A.PRADO	-26,23	4,75	-28,07
R_JULIOPRESTES	-27,27	2,43	-35,37
AV_RODRIGUESALVES	-53,85	170,70	-49,54
ACESSO_NUNODEASSIS	0,00	-5,39	-12,10
R_TIMBIRAS	0,00	24,83	72,22
R_INCONFIDÊNCIA	0,00	465,57	3000,00

Fonte: Autor

Tabela 13 - Diferenças percentuais nas características dos extravasamentos, considerando unicamente trincheiras de infiltração.

Tomando ainda como referência o nó R_JULIOPRESTES, é visível que, a partir do momento em que o volume das precipitações aumenta, os efeitos benéficos das trincheiras tendem a diminuir, devido à sua capacidade limitada de receber e favorecer a infiltração do volume retido para o solo. Assim vê-se que, analisando o quesito duração e volume do extravasamento, tem-se para o tempo de retorno de 5 anos uma redução, respectivamente, de 65,63% e 99,98%. Para os demais tempos de retorno crescentes, observou-se 47,37% e 65,38%, depois 28,85% e 41,22% e por fim para 100 anos temos, para a duração uma redução de 27,27% e para o volume extravasado de 35,37%. Portanto, quanto maior o volume precipitado, menor a eficiência desta tecnologia, sucedendo-se o mesmo com praticamente todos os nós.

A divergência do fenómeno imediatamente mencionado dá-se para os nós que se encontram mais a jusante do troço do sistema de drenagem (ACESSO_NUNODEASSIS, R_TIMBIRAS, R_INCONFIDÊNCIA, AV_RODRIGUESALVES), nestes acontece um aumento da duração dos eventos e do volume extravasado.

Entretanto ressalta-se o facto de, apesar de apresentarem diferenças percentuais significativas, os números reais de duração e volume serem pequenos. Apresenta-se aqui como exemplo o nó R_TIMBIRAS, no qual para um evento que acontece a cada 5 anos, após a aplicação das trincheiras de infiltração se observou um aumento de 300,00% no volume extravasado. No entanto, este evento durou apenas 0,60 minuto (36 segundos) e o volume extravasado passou de 7 m³ para 28 m³, não sendo de todo significativo

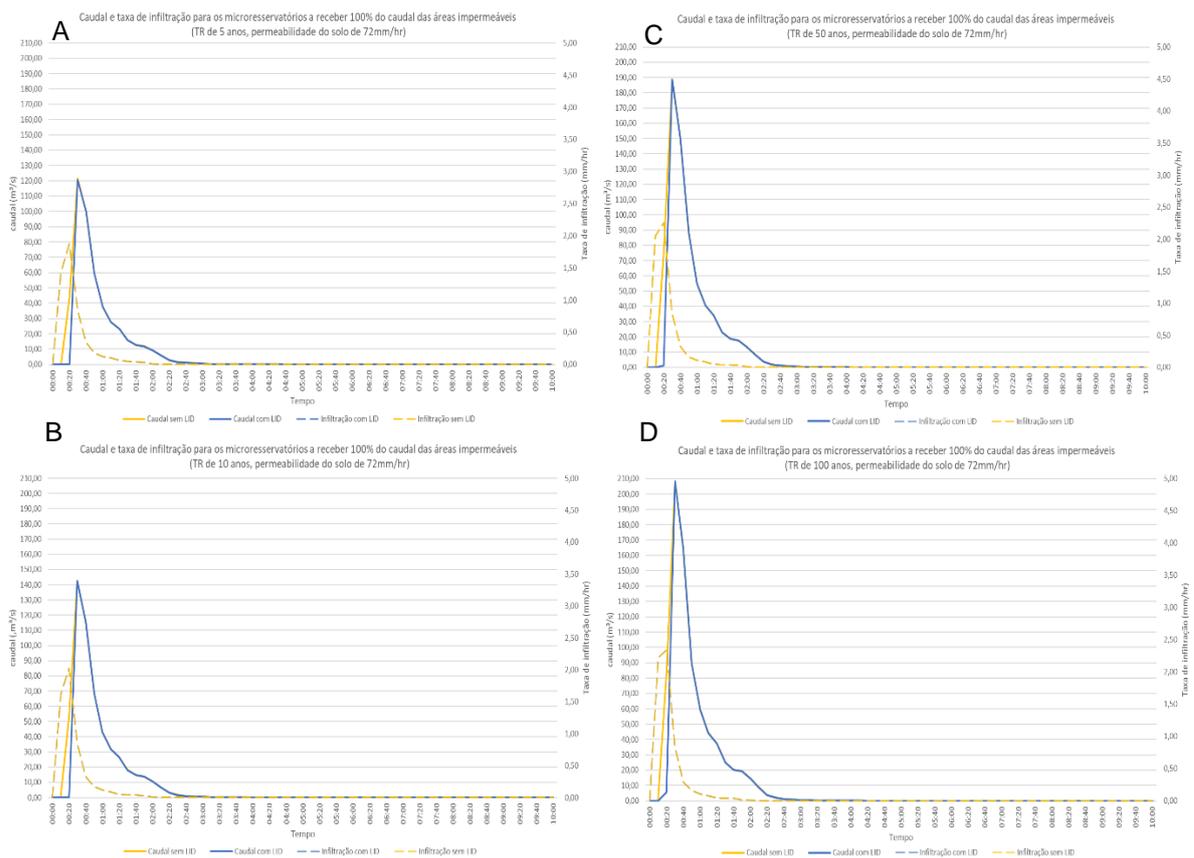
O mesmo acontece para outros nós, como exemplo o nó R_INCONFIDÊNCIA, para o tempo de retorno de 100 anos. Observou-se um aumento do volume extravasado de 3000,00%, todavia esta ocorrência foi de apenas 8,08 minutos (484,80 segundos) e seu volume total passou de 3 m³ para 93 m³, o que se considerou igualmente insignificante dada a dimensão total da bacia e as melhorias vistas nos demais pontos analisados.

4.2.2 Microrreservatórios

Levando-se em conta a percentagem de aplicação dos microrreservatórios, semelhante à estipulada pela simulação parcial feita ao arruamento Benjamin Constant, área 2, ou seja 0,649% e a receber 100% do volume de água gerado pela área impermeável da bacia, é possível dizer que a tecnologia em questão não foi capaz de diminuir os caudais de pico e aumentar as taxas de

infiltração (resultado este já esperado pois esta não se trata de uma tecnologia que privilegie a infiltração, somente o armazenamento).

Todavia, notou-se uma pequena diminuição nos caudais iniciais gerados pelo evento chuvoso durante aproximadamente os primeiros 20 minutos, o que muito possivelmente se deve ao efeito de armazenamento dos reservatórios. Todavia este efeito durou por pouco tempo, devido à pequena capacidade dos mesmos. Ao terem o seu volume totalmente ocupado, os efeitos desta tecnologia deixam de se fazer presentes durante o resto do evento chuvoso.



Fonte: Autor

Figura 63 - Gráficos de caudal e taxa de infiltração para a totalidade da bacia do Córrego das Flores com e sem a implantação dos microrreservatórios (A-tempo de retorno de 5 anos, B-tempo de retorno de 10 anos, C-tempo de retorno de 50 anos, D-tempo de retorno de 100 anos).

Extravasamentos								
Sem LID					Com LID			
Nós que extravasam	Duração (min)	Caudal máx. (m ³ /s)	Momento do caudal máximo (min)	Volume (m ³ *10 ³)	Duração (min)	Caudal máx. (m ³ /s)	Momento do caudal máximo (min)	Volume (m ³ *10 ³)
Tempo de retorno de 5 anos								
R_AVIADORRIBEIRO	54,60	63,85	00:30	88,71	46,20	63,12	00:30	70,93
R_BATISTADECARVALHO	36,00	4,56	00:30	5,77	30,00	4,59	00:30	4,51
R_DACONSTITUIÇÃO	33,00	10,94	00:30	12,34	27,60	11,09	00:30	9,47
R_CONS,A,PRADO	22,80	1,84	00:30	1,48	17,40	1,99	00:27	1,12
R_JULIOPRESTES	19,20	4,08	00:30	3,02	14,40	4,84	00:31	1,96
ACESSO_NUNODEASSIS	0,60	7,03	00:58	0,23	1,20	7,49	01:01	0,33
R_TIMBIRAS	0,60	1,98	00:21	0,01	0,60	7,59	00:29	0,05
R_INCONFIDÊNCIA	0,60	1,64	00:24	0,01	0,60	4,59	00:29	0,03
AV_RODRIGUESALVES	0,00	0,00	00:00	0,00	0,60	2,90	00:27	0,02
Tempo de retorno de 10 anos								
R_AVIADORRIBEIRO	63,00	78,18	00:30	113,77	55,80	78,22	00:30	95,85
R_BATISTADECARVALHO	40,80	5,51	00:30	7,46	36,00	5,52	00:30	6,11
R_DACONSTITUIÇÃO	38,40	13,90	00:30	16,79	33,60	13,93	00:30	13,46
R_CONS,A,PRADO	28,20	2,65	00:30	2,39	23,40	2,68	00:25	1,89
R_JULIOPRESTES	22,80	5,87	00:30	5,04	18,00	6,87	00:31	3,73
ACESSO_NUNODEASSIS	1,20	7,53	01:04	0,34	1,20	7,25	01:02	0,29
R_TIMBIRAS	0,60	2,44	00:20	0,01	1,20	8,39	00:28	0,06
R_INCONFIDÊNCIA	0,60	1,60	00:23	0,01	0,60	4,99	00:28	0,04
AV_RODRIGUESALVES	0,00	0,00	00:00	0,00	0,60	3,40	00:26	0,02
Tempo de retorno de 50 anos								
R_AVIADORRIBEIRO	71,40	109,69	00:30	173,23	63,60	109,75	00:30	155,10
R_BATISTADECARVALHO	51,60	7,36	00:30	11,31	45,00	7,49	00:24	9,80
R_DACONSTITUIÇÃO	46,80	20,42	00:30	27,36	41,40	20,43	00:30	23,66
R_CONS,A,PRADO	34,20	4,40	00:30	4,76	29,40	6,00	00:24	4,20
R_JULIOPRESTES	31,20	10,15	00:30	10,27	27,00	10,93	00:27	8,55
R_TIMBIRAS	1,20	7,53	01:04	0,34	1,80	9,97	00:26	0,08
ACESSO_NUNODEASSIS	0,60	2,44	00:20	0,01	1,80	7,56	01:12	0,59
AV_RODRIGUESALVES	0,60	1,60	00:23	0,01	1,20	4,19	00:24	0,05
R_INCONFIDÊNCIA	0,60	1,38	00:20	0,00	0,60	7,74	00:26	0,09
Tempo de retorno de 100 anos								
R_AVIADORRIBEIRO	74,40	122,97	00:30	195,96	66,00	123,05	00:30	177,27
R_BATISTADECARVALHO	56,40	7,42	00:27	12,61	49,20	7,37	00:32	11,09
R_DACONSTITUIÇÃO	52,20	23,16	00:30	31,48	46,80	23,18	00:30	27,88
R_CONS,A,PRADO	36,60	4,40	00:33	5,52	30,60	6,24	00:23	5,02
R_JULIOPRESTES	33,00	11,71	00:30	12,29	28,20	12,14	00:27	10,48
AV_RODRIGUESALVES	7,80	1,89	00:30	0,43	6,60	6,48	00:24	0,42
ACESSO_NUNODEASSIS	1,80	7,66	01:15	0,60	1,20	7,54	01:17	0,47
R_TIMBIRAS	1,20	6,90	00:18	0,04	1,20	11,25	00:25	0,10
R_INCONFIDÊNCIA	0,60	1,43	00:19	0,00	0,60	7,54	00:25	0,09

Fonte: Autor

Tabela 14 - Lista dos nós que apresentaram diminuição de caudal de extravasamento, considerando unicamente microrreservatórios.

Extravasamentos			
Diferenças (%)			
TR 5 anos			
Nós que extravasam	Período alagado	Caudal máximo	Volume extravasado
R_AVIADORRIBEIRO	-15,38	-1,13	-20,04
R_BATISTADECARVALHO	-16,67	0,64	-21,91
R_DACONSTITUIÇÃO	-16,36	1,37	-23,27
R_CONS,A,PRADO	-23,68	8,18	-23,93
R_JULIOPRESTES	-25,00	18,48	-35,16
ACESSO_NUNODEASSIS	100,00	6,52	41,45
R_TIMBIRAS	0,00	284,09	542,86
R_INCONFIDÊNCIA	0,00	178,98	480,00
AV_RODRIGUESALVES	-	-	-
TR 10 anos			
R_AVIADORRIBEIRO	-11,43	0,06	-15,76
R_BATISTADECARVALHO	-11,76	0,24	-18,09
R_DACONSTITUIÇÃO	-12,50	0,20	-19,82
R_CONS,A,PRADO	-17,02	1,12	-20,70
R_JULIOPRESTES	-21,05	17,03	-26,02
ACESSO_NUNODEASSIS	0,00	-3,75	-14,08
R_TIMBIRAS	100,00	243,84	511,11
R_INCONFIDÊNCIA	0,00	211,73	620,00
AV_RODRIGUESALVES	-	-	-
TR 50 anos			
R_AVIADORRIBEIRO	-10,92	0,05	-10,46
R_BATISTADECARVALHO	-12,79	1,82	-13,34
R_DACONSTITUIÇÃO	-11,54	0,07	-13,53
R_CONS,A,PRADO	-14,04	36,48	-11,85
R_JULIOPRESTES	-13,46	7,75	-16,72
R_TIMBIRAS	50,00	32,31	-76,54
ACESSO_NUNODEASSIS	200,00	209,98	6444,44
AV_RODRIGUESALVES	100,00	161,44	900,00
R_INCONFIDÊNCIA	0,00	461,34	2966,67
TR 100 anos			
R_AVIADORRIBEIRO	-11,29	0,07	-9,53
R_BATISTADECARVALHO	-12,77	-0,56	-12,10
R_DACONSTITUIÇÃO	-10,34	0,10	-11,42
R_CONS,A,PRADO	-16,39	41,74	-9,18
R_JULIOPRESTES	-14,55	3,69	-14,75
AV_RODRIGUESALVES	-15,38	242,22	-2,30
ACESSO_NUNODEASSIS	-33,33	-1,66	-20,67
R_TIMBIRAS	0,00	63,14	177,78
R_INCONFIDÊNCIA	0,00	427,49	2766,67

Fonte: Autor

Tabela 15 - Diferenças percentuais nas características dos extravasamentos, considerando unicamente microrreservatórios

Tomando ainda como referência o nó R_AVIADORRIBEIRO, segundo os dados das **Tabela 14** e **Tabela 15** é visível que, a partir do momento em que o volume das precipitações aumenta, os efeitos benéficos dos microrreservatórios tendem a diminuir, devido à sua capacidade limitada de receber o volume precipitado.

É notável que, ao analisar-se o quesito duração e volume do extravasamento, tem-se para o tempo de retorno de 5 anos uma redução respetivamente de 15,38% e 20,04%. Para os demais tempos de retorno sucessivamente crescentes, registaram-se 11,43% e 15,76%, depois 10,92% e 10,46%, e por fim para 100 anos observou-se para a duração uma redução de 11,29% e de volume extravasado de 9,53%. Estes resultados mostram claramente que, quanto maior o volume precipitado, menor a eficiência desta tecnologia. Observou-se o mesmo em praticamente todos os nós.

No entanto, nos nós que se encontram mais a jusante do troço de canalização (ACESSO_NUNODEASSIS, R_TIMBIRAS, R_INCONFIDÊNCIA, AV_RODRIGUESALVES) e em alguns cenários, observa-se um aumento da duração dos eventos e do volume extravasado.

Entretanto ressalta-se o facto de, apesar de apresentarem diferenças percentuais elevadas, os valores reais de duração e volume serem pequenos. A título de exemplo refere-se o nó AV_RODRIGUESALVES para o tempo de retorno de 5 anos, que considerando os microrreservatórios registou um extravasamento que antes não ocorria. No entanto, este evento durou apenas 0,60 minutos (36 segundos) e o volume extravasado passou de 0 m³ para 20 m³, não sendo de todo, significativo dentro da amostra.

O mesmo acontece para outros nós, toma-se agora como exemplo o tempo de retorno de 100 anos e o nó, R_INCONFIDÊNCIA, onde se observou um aumento do volume extravasado de 2766,67% sem aumento do tempo de duração do evento (36,00 segundos). Todavia, em números ordinais, o volume extravasado passou de um total de 0 m³ para 90 m³, considerando-se igualmente insignificante dada a dimensão total da bacia e as melhorias vistas nos demais pontos analisados.

4.2.3 Associação entre os microrreservatórios e trincheiras de infiltração

A corrente subsecção visa mostrar os resultados que conseguem ser atingidos caso haja a associação das duas tecnologias de baixo impacto supracitadas. Para tal foram realizadas três simulações, nas quais se variou intencionalmente o rácio dos caudais gerados nas áreas

impermeáveis. Assim, no primeiro cenário os microrreservatórios recebem 40% do caudal das áreas impermeáveis e as trincheiras 60%; no segundo há o balanceamento das proporções, recebendo cada tecnologia 50% do caudal gerado; e por fim no terceiro cenário invertem-se os valores iniciais, ou seja, os microrreservatórios recebem 60% do caudal gerado pela chuva nas áreas impermeáveis e as trincheiras recebem a diferença, 40%.

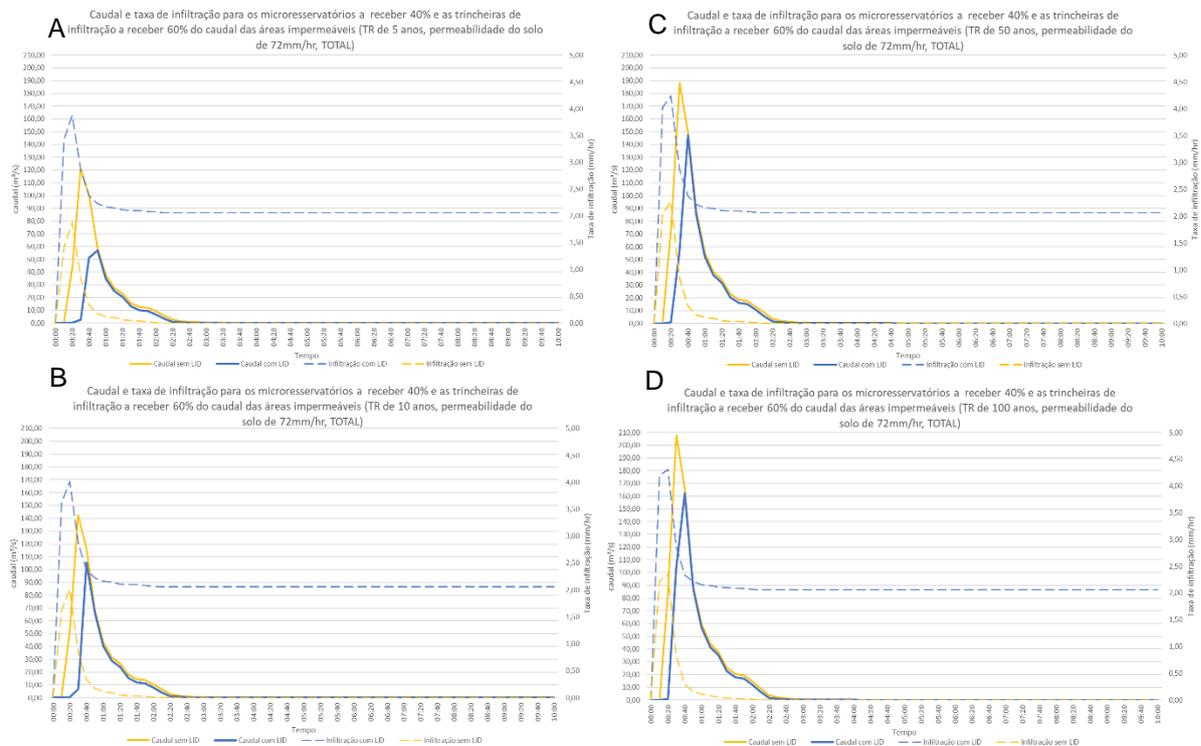
Para tal, levou-se em conta as percentagens de aplicação dos microrreservatórios e das trincheiras de infiltração na área total da bacia semelhantes às estipuladas nos itens imediatamente anteriores, respetivamente, pelas simulações parciais realizadas para o arruamento Benjamin Constant nas áreas 2 e 3, ou seja 0,649% da área total da bacia ocupada por microrreservatórios e 2,89% por trincheiras de infiltração.

4.2.3.1 Microrreservatórios associados às trincheiras de infiltração (40% do caudal gerado na área impermeável a ser destinado aos microrreservatórios e 60% às trincheiras de infiltração)

Para este cenário foram modelados microrreservatórios e trincheiras de infiltração a exemplo dos cenários anteriores, ou seja, a ocupar respetivamente 0,649% e 2,86% da área total da bacia do Córrego das Flores, sendo que, como já mencionado, foram variadas as percentagens de caudal recebidas por cada tecnologia, a salientar que, os microrreservatórios receberam neste cenário 40% do volume líquido gerado nas áreas impermeáveis e as trincheiras 60% deste volume.

A associação entre as duas tecnologias gerou melhores resultados do que a aplicação de ambas em separado, tanto no retardamento na ocorrência do caudal de pico tanto em seu volume. Este efeito foi tanto maior quanto menor o tempo de retorno dos eventos chuvosos, ou seja, teve maior eficiência em eventos com menores volumes precipitados, como era expectável.

É interessante notar que, a associação dos dois modelos também gerou um aumento da taxa de infiltração da água no solo, aumento este que se manteve no tempo. Tal aspeto deveu-se exclusivamente às trincheiras de infiltração, haja visto que a outra tecnologia não tem elemento algum que privilegie esta componente, como se pode observar na **Figura 64** abaixo.



Fonte: Autor

Figura 64 - Gráficos de caudal e taxa de infiltração para a totalidade da bacia do Córrego das Flores com e sem a implantação dos microrreservatórios e trincheiras de infiltração na proporção de 40 e 60% (A-tempo de retorno de 5 anos, B-tempo de retorno de 10 anos, C-tempo de retorno de 50 anos, D-tempo de retorno de 100 anos)

Para um evento com tempo de retorno de 5 anos, notou-se um atraso de aproximadamente 20 minutos no momento do máximo caudal, assim como sua diminuição de $121,30 \text{ m}^3/\text{s}$ para $56,78 \text{ m}^3/\text{s}$. O mesmo ocorreu em menor grau para os demais eventos, nomeadamente: para 10 anos, um atraso de 10 minutos e uma diminuição do caudal de $142,29 \text{ m}^3/\text{s}$ para $105,49 \text{ m}^3/\text{s}$; para uma chuva com recorrência de 50 anos, um atraso de 10 minutos, assim como uma redução do caudal de ponta de $188,54 \text{ m}^3/\text{s}$ para $147,66 \text{ m}^3/\text{s}$; e por fim, para 100 anos um retardo de aproximadamente 10 minutos e uma diminuição do caudal de $208,09 \text{ m}^3/\text{s}$ para $162,36 \text{ m}^3/\text{s}$. Houve melhoria nas taxas de infiltração ao longo do tempo, similar ao acontecido no modelo que considerava apenas as trincheiras de infiltração como tecnologia LID empregada (item 4.2.1). As taxas variaram, após o término do evento chuvoso, de 0 mm/hr para o valor praticamente constante de $2,06 \text{ mm/hr}$, durante o período de 10 horas de simulação.

Extravasamentos								
Sem LID					Com LID			
Nós que extravasam	Duração (min)	Caudal máx. (m ³ /s)	Momento do caudal máximo (min)	Volume (m ³ *10 ³)	Duração (min)	Caudal máx. (m ³ /s)	Momento do caudal máximo (min)	Volume (m ³ *10 ³)
Tempo de retorno de 5 anos								
R_AVIADORRIBEIRO	54,60	63,85	00:30	88,71	29,40	24,45	00:45	21,82
R_BATISTADECARVALHO	36,00	4,56	00:30	5,77	13,20	1,84	00:45	0,92
R_DACONSTITUIÇÃO	33,00	10,94	00:30	12,34	11,40	3,45	00:45	1,32
R_CONS,A,PRADO	22,80	1,84	00:30	1,48	0,60	1,13	00:39	0,00
R_JULIOPRESTES	19,20	4,08	00:30	3,02	0,00	0,00	00:00	0,00
ACESSO_NUNODEASSIS	0,60	7,03	00:58	0,23	1,20	7,85	00:59	0,37
R_TIMBIRAS	0,60	1,98	00:21	0,01	0,60	1,56	00:41	0,01
R_INCONFIDÊNCIA	0,60	1,64	00:24	0,01	0,00	0,00	00:00	0,00
AV_RODRIGUESALVES	0,00	0,00	00:00	0,00	0,00	0,00	00:00	0,00
Tempo de retorno de 10 anos								
R_AVIADORRIBEIRO	63,00	78,18	00:30	113,77	40,20	52,89	00:40	43,99
R_BATISTADECARVALHO	40,80	5,51	00:30	7,46	22,80	3,93	00:40	2,60
R_DACONSTITUIÇÃO	38,40	13,90	00:30	16,79	19,80	8,55	00:40	4,72
R_CONS,A,PRADO	28,20	2,65	00:30	2,39	10,80	2,24	00:36	0,37
R_JULIOPRESTES	22,80	5,87	00:30	5,04	5,40	3,78	00:41	0,61
ACESSO_NUNODEASSIS	1,20	7,53	01:04	0,34	0,60	7,69	01:01	0,23
R_TIMBIRAS	0,60	2,44	00:20	0,01	0,60	3,01	00:38	0,01
R_INCONFIDÊNCIA	0,60	1,60	00:23	0,01	0,60	2,57	00:39	0,01
AV_RODRIGUESALVES	0,00	0,00	00:00	0,00	0,00	0,00	00:00	0,00
Tempo de retorno de 50 anos								
R_AVIADORRIBEIRO	71,40	109,69	00:30	173,23	55,80	82,03	00:40	98,41
R_BATISTADECARVALHO	51,60	7,36	00:30	11,31	34,80	6,03	00:35	6,20
R_DACONSTITUIÇÃO	46,80	20,42	00:30	27,36	32,40	14,95	00:40	13,88
R_CONS,A,PRADO	34,20	4,40	00:30	4,76	21,60	3,07	00:35	2,10
R_JULIOPRESTES	31,20	10,15	00:30	10,27	19,20	6,84	00:36	3,95
R_TIMBIRAS	1,20	7,53	01:04	0,34	0,60	6,26	00:33	0,03
ACESSO_NUNODEASSIS	0,60	2,44	00:20	0,01	1,20	7,33	01:09	0,40
AV_RODRIGUESALVES	0,60	1,60	00:23	0,01	0,60	2,70	00:31	0,01
R_INCONFIDÊNCIA	0,60	1,38	00:20	0,00	0,60	4,83	00:33	0,03
Tempo de retorno de 100 anos								
R_AVIADORRIBEIRO	74,40	122,97	00:30	195,96	58,20	95,73	00:35	120,33
R_BATISTADECARVALHO	56,40	7,42	00:27	12,61	40,80	6,68	00:35	7,56
R_DACONSTITUIÇÃO	52,20	23,16	00:30	31,48	37,20	17,97	00:35	17,39
R_CONS,A,PRADO	36,60	4,40	00:33	5,52	24,00	4,84	00:29	2,83
R_JULIOPRESTES	33,00	11,71	00:30	12,29	21,00	7,76	00:36	5,50
AV_RODRIGUESALVES	7,80	1,89	00:30	0,43	0,60	3,78	00:29	0,02
ACESSO_NUNODEASSIS	1,80	7,66	01:15	0,60	1,20	7,41	01:14	0,41
R_TIMBIRAS	1,20	6,90	00:18	0,04	0,60	7,63	00:31	0,05
R_INCONFIDÊNCIA	0,60	1,43	00:19	0,00	0,60	7,04	00:31	0,07

Fonte: Autor

Tabela 16 - Lista dos nós que apresentaram diminuição de caudal de extravasamento, considerando 40% do caudal das áreas impermeáveis drenado para os microrreservatórios e 60% drenado para as trincheiras de infiltração.

Extravasamentos			
Diferenças (%)			
TR 5 anos			
Nós que extravasam	Período alagado	Caudal máximo	Volume extravasado
R_AVIADORRIBEIRO	-46,15	-61,71	-75,41
R_BATISTADACARVALHO	-63,33	-59,66	-84,10
R_DACONSTITUIÇÃO	-65,45	-68,42	-89,29
R_CONS,A,PRADO	-97,37	-38,77	-99,73
R_JULIOPRESTES	-100,00	-100,00	-100,00
ACESSO_NUNODEASSIS	100,00	11,62	57,26
R_TIMBIRAS	0,00	-21,27	-14,29
R_INCONFIDÊNCIA	-100,00	-100,00	-100,00
AV_RODRIGUESALVES	-	-	-
TR 10 anos			
R_AVIADORRIBEIRO	-36,19	-32,35	-61,33
R_BATISTADACARVALHO	-44,12	-28,75	-65,18
R_DACONSTITUIÇÃO	-48,44	-38,50	-71,87
R_CONS,A,PRADO	-61,70	-15,41	-84,62
R_JULIOPRESTES	-76,32	-35,58	-87,81
ACESSO_NUNODEASSIS	-50,00	2,07	-31,38
R_TIMBIRAS	0,00	23,48	11,11
R_INCONFIDÊNCIA	0,00	60,64	100,00
AV_RODRIGUESALVES	-	-	-
TR 50 anos			
R_AVIADORRIBEIRO	-21,85	-25,22	-43,19
R_BATISTADACARVALHO	-32,56	-18,04	-45,17
R_DACONSTITUIÇÃO	-30,77	-26,79	-49,27
R_CONS,A,PRADO	-36,84	-30,19	-55,90
R_JULIOPRESTES	-38,46	-32,54	-61,49
R_TIMBIRAS	-50,00	-16,85	-90,91
ACESSO_NUNODEASSIS	100,00	200,21	4355,56
AV_RODRIGUESALVES	0,00	68,50	140,00
R_INCONFIDÊNCIA	0,00	250,23	966,67
TR 100 anos			
R_AVIADORRIBEIRO	-21,77	-22,15	-38,59
R_BATISTADACARVALHO	-27,66	-9,90	-40,08
R_DACONSTITUIÇÃO	-28,74	-22,40	-44,75
R_CONS,A,PRADO	-34,43	10,05	-48,73
R_JULIOPRESTES	-36,36	-33,75	-55,25
AV_RODRIGUESALVES	-92,31	99,89	-94,93
ACESSO_NUNODEASSIS	-33,33	-3,33	-31,76
R_TIMBIRAS	-50,00	10,61	33,33
R_INCONFIDÊNCIA	0,00	392,31	2233,33

Fonte: Autor

Tabela 17 - Diferenças percentuais nas características dos extravasamentos, considerando 40% do caudal das áreas impermeáveis drenado para os microrreservatórios e 60% drenado para as trincheiras de infiltração.

Segundo a **Tabela 16** é possível ver que, à partida houve uma diminuição do tempo de extravasamento, assim como do seu caudal máximo e volume. Isto ocorreu principalmente para os eventos mais recorrentes e nós mais a montante no trecho analisado. Salienta-se que em alguns nós a redução de duração do evento e volume extravasado foi de 100% , como visto nos nós R_JULIOPRESTES e R_INCONFIDÊNCIA, para o tempo de retorno de 5 anos, conforme se pode observar na **Tabela 17**.

Tomando ainda como referência o nó R_AVIADORRIBEIRO, assim como nos exemplos passados, a partir do momento em que o volume das precipitações aumenta, os efeitos benéficos combinados das duas tecnologias empregadas tende a diminuir.

Ao analisar-se o quesito duração e volume do extravasamento, tem-se resultados superiores aos obtidos com o emprego de uma única tecnologia, para o tempo de retorno de 5 anos observa-se uma redução respetivamente de 46,15% e 75,41%. Para os demais tempos de retorno crescentes observa-se, respetivamente, 36,19% e 61,33%; depois 21,85% e 43,19%; e por fim para 100 anos observou-se para a duração uma redução de 21,77% e de volume extravasado de 38,59%.

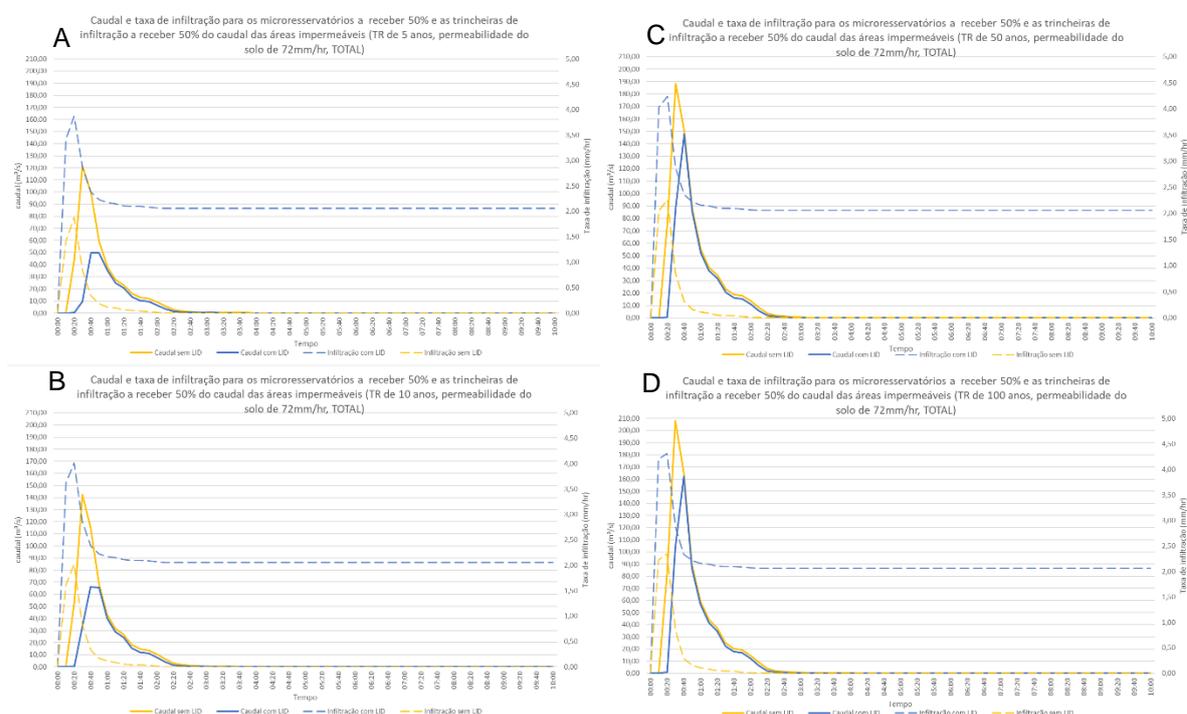
A divergência do fenómeno acima mencionado ocorre nos nós que se encontram mais a jusante na rede de drenagem (ACESSO_NUNODEASSIS, R_TIMBIRAS, R_INCONFIDÊNCIA, AV_RODRIGUESALVES). Nos cenários com maiores volumes precipitados, observa-se um aumento da duração dos eventos e do volume extravasado.

Entretanto, ressalta-se o facto de, apesar de apresentarem diferenças percentuais grandes, os números reais de duração e volume serem pequenos. Por exemplo no nó ACESSO_NUNODEASSIS, e para um evento que acontece a cada 5 anos, após a aplicação das tecnologias observou-se um aumento da duração do extravasamento e do volume total extravasado. Este evento passou de 0,60 minutos (36 segundos) para 1,20 minutos (72 segundos) e o volume extravasado passou de 230m³ para 370m³.

O mesmo acontece para outros nós: por exemplo para o tempo de retorno de 100 anos e o nó, R_INCONFIDÊNCIA, observou-se um aumento do volume extravasado de 2233,33%, sem aumento do tempo de duração do evento (36,00 segundos). Todavia, em números ordinais, o volume extravasado passou de um total 0 m³ para 70 m³, sendo de todo insignificante dada a dimensão total da bacia e as melhorias vistas nos demais pontos analisados.

4.2.3.2 Microrreservatórios associados às trincheiras de infiltração (50% do caudal gerado na área impermeável a ser destinado aos microrreservatórios e 50% às trincheiras de infiltração)

No intuito de estabelecer uma comparação entre quais seriam os melhores rácios para a implantação das tecnologias LID em questão, foi modelado este cenário no qual 50% do caudal das áreas impermeáveis seriam tratadas pelos microrreservatórios e igual percentual pelas trincheiras de infiltração. Tal cenário, assim como os anteriores e o posterior, considera a mesma proporção da área total da bacia tratada por cada tecnologia. Os resultados desta simulação e seus impactos tanto nos caudais máximos, quanto nas taxas de infiltração podem ser vistos na **Figura 65**.



Fonte: Autor

Figura 65- Gráficos de caudal e taxa de infiltração para a totalidade da bacia do Córrego das Flores, com e sem a implantação dos microrreservatórios e trincheiras de infiltração na proporção de 50 e 50% (A-tempo de retorno de 5 anos, B- tempo de retorno de 10 anos, C- tempo de retorno de 50 anos e D-tempo de retorno de 100 anos)

Para um evento com tempo de retorno de 5 anos, notou-se um atraso de aproximadamente de 10 minutos no momento do máximo caudal, assim como a sua diminuição de 121,30 m³/s para 49,74 m³/s. O mesmo ocorreu em menor grau para os demais eventos, nomeadamente para 10 anos: um atraso de 10 minutos e uma diminuição do caudal de 142,29 m³/s para 65,89 m³/s; para uma chuva com recorrência de 50 anos: um atraso de 10 minutos, assim como uma redução do caudal de ponta de 188,54 m³/s para 147,66 m³/s; e por fim, para 100 anos: um retardo de aproximadamente 10 minutos e uma diminuição do caudal de 208,09 m³/s para 162,36 m³/s.

Explicita-se que, para estes dois últimos eventos (chuvas com tempos de retorno de 50 e 100 anos) não houve alterações significativas de caudal e tempo de ocorrência do caudal de pico, se comparado com os resultados do item imediatamente anterior (item 4.2.3.1). Tal facto é devido ao grande volume precipitado, que suplantou a capacidade de mitigação das tecnologias LID simuladas

Notou-se um aumento nas taxas de infiltração ao longo do tempo, similares ao acontecido no modelo que considerava apenas as trincheiras de infiltração como tecnologia LID empregada (item 4.2.1). As taxas variaram, após o término do evento chuvoso, de 0 mm/hr, para um valor praticamente constante de 2,06 mm/hr.

Segundo a **Tabela 18** e de acordo com os eventos anteriores, à partida houve uma diminuição do tempo de extravasamento, de seu caudal máximo e volume, principalmente para os menores tempos de retorno e nós mais a montante no trecho analisado. Salienta-se que, em alguns nós, a redução de duração do evento e volume extravasado foi de 100%, como visto nos nós R_JULIOPRESTES e R_INCONFIDÊNCIA, para o tempo de retorno de 5 anos, conforme se pode observar na **Tabela 19**.

Tomando ainda como referência o nó R_BATISTADecARVALHO, ao analisar o quesito duração e volume do extravasamento, tem-se resultados superiores aos obtidos com o emprego de uma única tecnologia. Para o tempo de retorno de 5 anos, observa-se uma redução respetivamente de 71,67% e 95,69%. Para os demais tempos de retorno crescentes, regista-se 30,48% e 64,48%, depois 20,17% e 43,96% e por fim, para 100 anos, observa-se uma redução de 20,97% para a duração e de 39,74% para o volume extravasado. Estes resultados mostram claramente que, quanto maior o volume precipitado, menor a eficiência desta tecnologia. Sucede-se o mesmo em praticamente todos os nós.

Extravasamentos								
Sem LID					Com LID			
Nós que extravasam	Duração (min)	Caudal máx. (m ³ /s)	Momento do caudal máximo (min)	Volume (m ³ *10 ³)	Duração (min)	Caudal máx. (m ³ /s)	Momento do caudal máximo (min)	Volume (m ³ *10 ³)
Tempo de recorrência de 5 anos								
R_AVIADORRIBEIRO	54,60	63,85	00:30	88,71	33,60	15,23	00:40	18,23
R_BATISTADECARVALHO	36,00	4,56	00:30	5,77	10,20	0,79	00:40	0,25
R_DACONSTITUIÇÃO	33,00	10,94	00:30	12,34	2,40	1,84	00:35	0,03
R_CONS,A,PRADO	22,80	1,84	00:30	1,48	0,60	2,00	00:35	0,01
R_JULIOPRESTES	19,20	4,08	00:30	3,02	0,00	0,00	00:00	0,00
ACESSO_NUNODEASSIS	0,60	7,03	00:58	0,23	1,20	7,59	00:46	0,44
R_TIMBIRAS	0,60	1,98	00:21	0,01	1,20	2,45	00:37	0,01
R_INCONFIDÊNCIA	0,60	1,64	00:24	0,01	0,00	0,00	00:00	0,00
AV_RODRIGUESALVES	0,00	0,00	00:00	0,00	0,00	0,00	00:00	0,00
Tempo de recorrência de 10 anos								
R_AVIADORRIBEIRO	63,00	78,18	00:30	113,77	43,80	31,10	00:45	40,42
R_BATISTADECARVALHO	40,80	5,51	00:30	7,46	25,20	2,40	00:45	2,22
R_DACONSTITUIÇÃO	38,40	13,90	00:30	16,79	22,20	4,91	00:45	3,56
R_CONS,A,PRADO	28,20	2,65	00:30	2,39	5,40	0,18	00:45	0,03
R_JULIOPRESTES	22,80	5,87	00:30	5,04	0,00	0,00	00:00	0,00
ACESSO_NUNODEASSIS	1,20	7,53	01:04	0,34	1,20	7,57	01:03	0,30
R_TIMBIRAS	0,60	2,44	00:20	0,01	0,60	2,56	00:34	0,01
R_INCONFIDÊNCIA	0,60	1,60	00:23	0,01	0,00	0,00	00:00	0,00
AV_RODRIGUESALVES	0,00	0,00	00:00	0,00	0,00	0,00	00:00	0,00
Tempo de recorrência de 50 anos								
R_AVIADORRIBEIRO	71,40	109,69	00:30	173,23	57,00	81,92	00:40	97,08
R_BATISTADECARVALHO	51,60	7,36	00:30	11,31	36,60	5,75	00:40	6,11
R_DACONSTITUIÇÃO	46,80	20,42	00:30	27,36	34,80	14,93	00:40	13,26
R_CONS,A,PRADO	34,20	4,40	00:30	4,76	23,40	4,67	00:29	1,86
R_JULIOPRESTES	31,20	10,15	00:30	10,27	19,80	5,79	00:40	3,62
R_TIMBIRAS	1,20	7,53	01:04	0,34	0,60	6,87	00:31	0,04
ACESSO_NUNODEASSIS	0,60	2,44	00:20	0,01	1,20	7,54	01:10	0,43
AV_RODRIGUESALVES	0,60	1,60	00:23	0,01	0,60	3,88	00:29	0,02
R_INCONFIDÊNCIA	0,60	1,38	00:20	0,00	0,60	4,33	00:32	0,03
Tempo de recorrência de 100 anos								
R_AVIADORRIBEIRO	74,40	122,97	00:30	195,96	58,80	92,01	00:40	118,08
R_BATISTADECARVALHO	56,40	7,42	00:27	12,61	42,00	6,38	00:39	7,54
R_DACONSTITUIÇÃO	52,20	23,16	00:30	31,48	38,40	17,01	00:40	17,18
R_CONS,A,PRADO	36,60	4,40	00:33	5,52	25,20	4,03	00:28	2,70
R_JULIOPRESTES	33,00	11,71	00:30	12,29	21,60	8,25	00:37	5,43
AV_RODRIGUESALVES	7,80	1,89	00:30	0,43	0,60	3,85	00:28	0,02
ACESSO_NUNODEASSIS	1,80	7,66	01:15	0,60	1,20	7,37	01:10	0,34
R_TIMBIRAS	1,20	6,90	00:18	0,04	0,60	5,87	00:30	0,03
R_INCONFIDÊNCIA	0,60	1,43	00:19	0,00	0,60	4,40	00:31	0,03

Fonte: Autor

Tabela 18 - Lista dos nós que apresentaram redução de caudal de extravasamento, considerando 50% do caudal das áreas impermeáveis drenado para os microrreservatórios e 50% drenado para as trincheiras de infiltração.

Extravasamentos			
Diferenças (%)			
TR 5 anos			
Nós que extravasam	Período alagado	Caudal máximo	Volume extravasado
R_AVIADORRIBEIRO	-38,46	-76,15	-79,45
R_BATISTADECARVALHO	-71,67	-82,62	-95,69
R_DACONSTITUIÇÃO	-92,73	-83,14	-99,72
R_CONS,A,PRADO	-97,37	8,82	-99,32
R_JULIOPRESTES	-100,00	-100,00	-100,00
ACESSO_NUNODEASSIS	100,00	7,95	87,18
R_TIMBIRAS	100,00	23,90	57,14
R_INCONFIDÊNCIA	-100,00	-100,00	-100,00
AV_RODRIGUESALVES	-	-	-
TR 10 anos			
R_AVIADORRIBEIRO	-30,48	-60,22	-64,48
R_BATISTADECARVALHO	-38,24	-56,44	-70,26
R_DACONSTITUIÇÃO	-42,19	-64,70	-78,80
R_CONS,A,PRADO	-80,85	-93,12	-98,87
R_JULIOPRESTES	-100,00	-100,00	-100,00
ACESSO_NUNODEASSIS	0,00	0,51	-11,73
R_TIMBIRAS	0,00	4,76	0,00
R_INCONFIDÊNCIA	-100,00	-100,00	-100,00
AV_RODRIGUESALVES	-	-	-
TR 50 anos			
R_AVIADORRIBEIRO	-20,17	-25,32	-43,96
R_BATISTADECARVALHO	-29,07	-21,83	-45,94
R_DACONSTITUIÇÃO	-25,64	-26,89	-51,54
R_CONS,A,PRADO	-31,58	6,22	-61,01
R_JULIOPRESTES	-36,54	-42,94	-64,74
R_TIMBIRAS	-50,00	-8,80	-88,27
ACESSO_NUNODEASSIS	100,00	208,94	4688,89
AV_RODRIGUESALVES	0,00	142,28	340,00
R_INCONFIDÊNCIA	0,00	214,24	733,33
TR 100 anos			
R_AVIADORRIBEIRO	-20,97	-25,17	-39,74
R_BATISTADECARVALHO	-25,53	-14,00	-40,23
R_DACONSTITUIÇÃO	-26,44	-26,57	-45,43
R_CONS,A,PRADO	-31,15	-8,51	-51,12
R_JULIOPRESTES	-34,55	-29,53	-55,83
AV_RODRIGUESALVES	-92,31	103,61	-95,39
ACESSO_NUNODEASSIS	-33,33	-3,87	-43,36
R_TIMBIRAS	-50,00	-14,86	-16,67
R_INCONFIDÊNCIA	0,00	207,75	800,00

Fonte: Autor

Tabela 19 - Diferenças percentuais nas características dos extravasamentos, considerando 50% do caudal das áreas impermeáveis drenado para os microrreservatórios e 50% drenado para as trincheiras de infiltração.

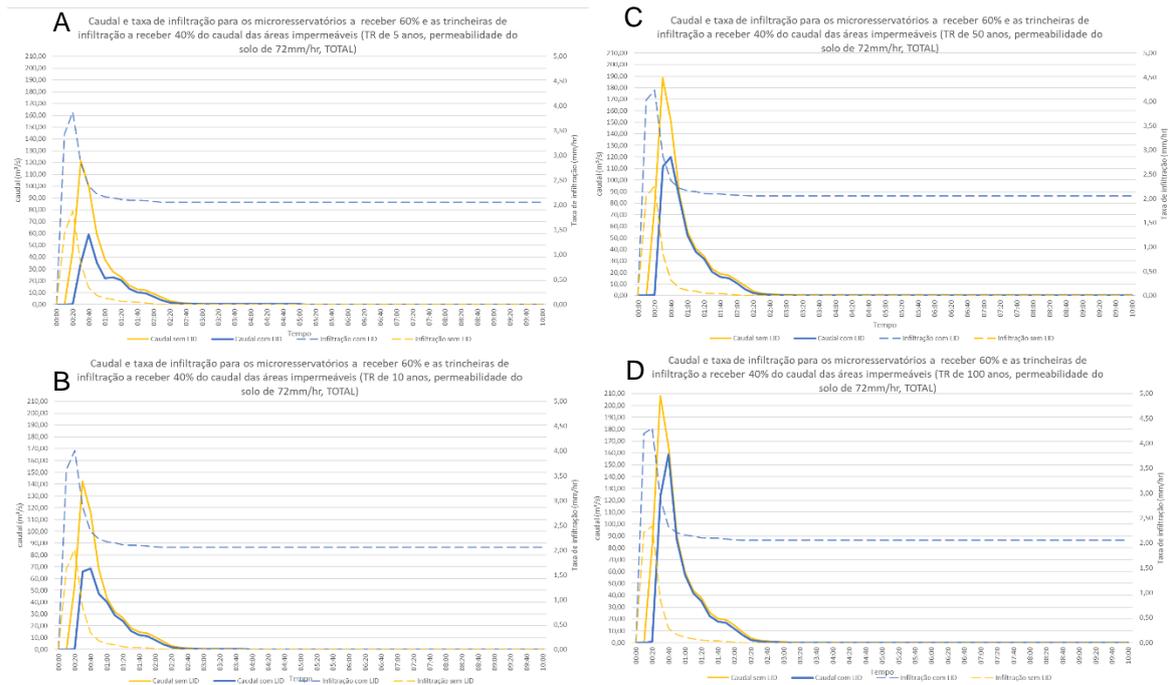
Entretanto, sobretudo nos nós mais a jusante no trecho da rede de drenagem analisada, observou-se o efeito inverso (ACESSO_NUNODEASSIS, R_TIMBIRAS, R_INCONFIDÊNCIA, AV_RODRIGUESALVES). Ou seja, em alguns cenários, a salientar os com maiores volumes precipitados, acontece um aumento da duração dos eventos e do volume extravasado. Entretanto, ressalta-se o facto de, apesar de apresentarem diferenças percentuais elevadas, os números ordinais de volume extravasado e tempo de duração serem pequenos. Toma-se aqui como exemplo os nós ACESSO_NUNODEASSIS e R_TIMBIRAS, que apresentaram respetivamente, para um evento que acontece a cada 5 anos, um aumento das variáveis mencionadas, passando de uma duração de 0,60 minutos (36 segundos) para 1,20 minutos (72 segundos) para ambos os nós. O volume extravasado variou de 230 m³ para 440 m³ e de 7 m³ para 11 m³ (representado nas tabelas sob os valores 0,01m³*10³ e 0,01m³*10³, respetivamente). A diferença numérica, portanto, não é notada devido às aproximações nas casas decimais.

O mesmo acontece para outros nós: tomando agora como exemplo o tempo de retorno de 100 anos e o nó, R_INCONFIDÊNCIA, observando-se um aumento do volume extravasado de 800,00%, sem aumento do tempo de duração do evento (36,00 segundos). Todavia, em números ordinais o volume extravasado passou de um total de 0 m³ para 30 m³, considerando-se pequeno dada a dimensão total da bacia e as melhorias vistas nos demais pontos analisados.

4.2.3.3 Microrreservatórios associados às trincheiras de infiltração (60% do caudal gerado na área impermeável a ser destinado aos microrreservatórios e 40% às trincheiras de infiltração)

Seguindo o mesmo critério adotado anteriormente e para estabelecer uma comparação entre quais seriam os melhores rácios para a implantação das tecnologias LID em questão, simulou-se um cenário no qual 60% do caudal das áreas impermeáveis seria conduzido aos microrreservatórios e 40% seria recebido pelas trincheiras de infiltração, cenário este que representa quase uma inversão da associação inicial entre ambos as tecnologias (item 4.2.3.1).

Tal cenário, assim como os anteriores, considera a mesma proporção da área total da bacia tratada por cada tecnologia, especificamente 0,649% da área total em microrreservatórios e 2,86% em trincheiras de infiltração. Os resultados desta simulação e seus impactos tanto nos caudais máximos quanto nas taxas de infiltração podem ser observados na **Figura 66**.



Fonte: Autor

Figura 66 - Gráficos de caudal e taxa de infiltração para a totalidade da bacia do Córrego das Flores, com e sem a implantação dos microrreservatórios e trincheiras de infiltração na proporção de 60 e 40% (A-tempo de retorno de 5 anos, B- tempo de retorno de 10 anos, C- tempo de retorno de 50 anos e D-tempo de retorno de 100 anos)

Para um evento com tempo de retorno de 5 anos, notou-se um atraso de aproximadamente 10 minutos no momento do máximo caudal, assim como sua diminuição de 121,30 m³/s para 59,15 m³/s. O mesmo ocorreu em menores graus para os demais eventos, nomeadamente para 10 anos: um atraso de 10 minutos e uma diminuição do caudal de 142,29 m³/s para 68,57 m³/s; para uma chuva com recorrência de 50 anos um atraso de 10 minutos, assim como uma redução do caudal de ponta de 188,54 m³/s para 120,15 m³/s; e por fim, para 100 anos um retardo de aproximadamente 10 minutos e uma diminuição do caudal de 208,09 m³/s para 158,69 m³/s.

Explicita-se que, para estes dois últimos eventos (chuvas com tempos de retorno de 50 e 100 anos) passou a haver diminuições de caudal de pico superiores às registadas nas simulações das duas associações de tecnologias imediatamente anteriores (itens 4.2.3.1 e 4.2.3.2). Isto que pode ser explicado pelo efeito atenuador da maior percentagem do caudal gerado a ser destinado aos microrreservatórios no início da chuvada, justamente quando o volume precipitado é maior (**Figura**

43), preservando assim a capacidade de retenção das trincheiras de infiltração por mais tempo para o decorrer da chuva, quando o volume precipitado é menor.

Majoraram-se as taxas de infiltração ao longo do tempo, similar ao acontecido no modelo que considerava apenas as trincheiras de infiltração como tecnologia verde empregada (item 4.2.1). Estas passaram, após o término do evento chuvoso, de 0 mm/hr para o valor praticamente constante de 2,06 mm/hr nas horas que seguiram após o término da chuva.

Segundo a **Tabela 20** e **Tabela 21** vê-se que houve uma diminuição do tempo de duração dos eventos e do seu volume, principalmente para os eventos mais frequentes e nos nós mais elevados. Salienta-se que em alguns nós a redução de duração do evento e volume extravasado foi de 100%, como por exemplo nos nós R_JULIOPRESTES e R_INCONFIDÊNCIA e R_CONS.A.PRADO.

Tomando ainda como referência o nó R_DACONSTITUIÇÃO, ao analisar-se o quesito duração e volume do extravasamento, tem-se resultados superiores aos obtidos com o emprego de uma única tecnologia. Para o tempo de retorno de 5 anos observou-se uma redução respectivamente de 72,73% e 92,33%. Para os demais tempos de retorno crescentes registou-se 42,19% e 78,80%, depois 23,08% e 53,34% e por fim, para 100 anos, uma redução da duração de 22,99% e do volume extravasado de 47,62%.

Em alguns cenários, a salientar os com maiores volumes precipitados, acontece um aumento da duração dos eventos e do volume extravasado em alguns nós (ACESSO_NUNODEASSIS, R_TIMBIRAS, R_INCONFIDÊNCIA, AV_RODRIGUESALVES). Como exemplo cita-se, o tempo de retorno de 50 anos e o nó ACESSO_NUNODEASSIS, onde se observou um aumento do tempo de duração do evento de 200,00% e do volume extravasado de 6311,11%, representando em números ordinais respectivamente, 0,60 minutos (36 segundos) para 1,80 minutos (108 segundos) e do volume extravasado de 10 m³ para 580 m³. Estes valores foram considerados insignificantes, dada a dimensão total da bacia e as melhorias vistas nos demais pontos analisados.

Extravasamentos								
Sem LID					Com LID			
Nós que extravasam	Duração (min)	Caudal máx. (m ³ /s)	Momento do caudal máximo (min)	Volume (m ³ *10 ³)	Duração (min)	Caudal máx. (m ³ /s)	Momento do caudal máximo (min)	Volume (m ³ *10 ³)
Tempo de recorrência de 5 anos								
R_AVIADORRIBEIRO	54,60	63,85	00:30	88,71	25,20	23,21	00:35	18,54
R_BATISTADECARVALHO	36,00	4,56	00:30	5,77	10,80	1,56	00:35	0,73
R_DACONSTITUIÇÃO	33,00	10,94	00:30	12,34	9,00	2,57	00:36	0,95
R_CONS,A,PRADO	22,80	1,84	00:30	1,48	0,00	0,00	00:00	0,00
R_JULIOPRESTES	19,20	4,08	00:30	3,02	0,00	0,00	00:00	0,00
ACESSO_NUNODEASSIS	0,60	7,03	00:58	0,23	0,60	7,56	00:35	0,26
R_TIMBIRAS	0,60	1,98	00:21	0,01	0,60	2,79	00:34	0,01
R_INCONFIDÊNCIA	0,60	1,64	00:24	0,01	0,00	0,00	00:00	0,00
AV_RODRIGUESALVES	0,00	0,00	00:00	0,00	0,00	0,00	00:00	0,00
Tempo de recorrência de 10 anos								
R_AVIADORRIBEIRO	63,00	78,18	00:30	113,77	45,60	29,89	00:35	39,16
R_BATISTADECARVALHO	40,80	5,51	00:30	7,46	28,80	3,05	00:30	1,90
R_DACONSTITUIÇÃO	38,40	13,90	00:30	16,79	20,40	4,23	00:35	2,51
R_CONS,A,PRADO	28,20	2,65	00:30	2,39	4,20	2,68	00:30	0,03
R_JULIOPRESTES	22,80	5,87	00:30	5,04	0,00	0,00	00:00	0,00
ACESSO_NUNODEASSIS	1,20	7,53	01:04	0,34	0,60	7,41	00:59	0,22
R_TIMBIRAS	0,60	2,44	00:20	0,01	0,60	6,53	00:32	0,03
R_INCONFIDÊNCIA	0,60	1,60	00:23	0,01	0,00	0,00	00:00	0,00
AV_RODRIGUESALVES	0,00	0,00	00:00	0,00	0,00	0,00	00:00	0,00
Tempo de recorrência de 50 anos								
R_AVIADORRIBEIRO	71,40	109,69	00:30	173,23	58,80	62,97	00:40	94,42
R_BATISTADECARVALHO	51,60	7,36	00:30	11,31	38,40	4,46	00:40	6,01
R_DACONSTITUIÇÃO	46,80	20,42	00:30	27,36	36,00	10,30	00:40	12,76
R_CONS,A,PRADO	34,20	4,40	00:30	4,76	25,20	2,46	00:27	1,54
R_JULIOPRESTES	31,20	10,15	00:30	10,27	22,20	4,40	00:40	3,03
R_TIMBIRAS	1,20	7,53	01:04	0,34	0,60	6,64	00:29	0,04
ACESSO_NUNODEASSIS	0,60	2,44	00:20	0,01	1,80	7,53	01:10	0,58
AV_RODRIGUESALVES	0,60	1,60	00:23	0,01	0,60	2,44	00:27	0,01
R_INCONFIDÊNCIA	0,60	1,38	00:20	0,00	0,60	4,11	00:30	0,02
Tempo de recorrência de 100 anos								
R_AVIADORRIBEIRO	74,40	122,97	00:30	195,96	61,80	89,10	00:40	116,32
R_BATISTADECARVALHO	56,40	7,42	00:27	12,61	43,80	6,34	00:40	7,44
R_DACONSTITUIÇÃO	52,20	23,16	00:30	31,48	40,20	16,22	00:40	16,49
R_CONS,A,PRADO	36,60	4,40	00:33	5,52	27,00	3,39	00:40	2,33
R_JULIOPRESTES	33,00	11,71	00:30	12,29	24,00	6,89	00:40	4,70
AV_RODRIGUESALVES	7,80	1,89	00:30	0,43	0,60	2,23	00:26	0,01
ACESSO_NUNODEASSIS	1,80	7,66	01:15	0,60	1,20	7,52	01:14	0,49
R_TIMBIRAS	1,20	6,90	00:18	0,04	1,20	7,54	00:28	0,05
R_INCONFIDÊNCIA	0,60	1,43	00:19	0,00	0,60	4,35	00:29	0,03

Fonte: Autor

Tabela 20 - Lista dos nós que apresentaram diminuição de caudal de extravasamento, considerando 60% do caudal das áreas impermeáveis drenado para os microrreservatórios e 40% drenado para as trincheiras de infiltração.

Extravasamentos			
Diferenças %			
TR 5 anos			
Nós que extravasam	Período alagado	Caudal máximo	Volume extravasado
R_AVIADORRIBEIRO	-53,85	-63,64	-79,11
R_BATISTADECARVALHO	-70,00	-65,74	-87,35
R_DACONSTITUIÇÃO	-72,73	-76,49	-92,33
R_CONS,A,PRADO	-100,00	-100,00	-100,00
R_JULIOPRESTES	-100,00	-100,00	-100,00
ACESSO_NUNODEASSIS	0,00	7,44	10,26
R_TIMBIRAS	0,00	41,10	28,57
R_INCONFIDÊNCIA	-100,00	-100,00	-100,00
AV_RODRIGUESALVES	-	-	-
TR 10 anos			
R_AVIADORRIBEIRO	-27,62	-61,76	-65,58
R_BATISTADECARVALHO	-29,41	-44,71	-74,59
R_DACONSTITUIÇÃO	-46,88	-69,56	-85,06
R_CONS,A,PRADO	-85,11	1,29	-98,87
R_JULIOPRESTES	-100,00	-100,00	-100,00
ACESSO_NUNODEASSIS	-50,00	-1,61	-36,66
R_TIMBIRAS	0,00	167,53	255,56
R_INCONFIDÊNCIA	-100,00	-100,00	-100,00
AV_RODRIGUESALVES	-	-	-
TR 50 anos			
R_AVIADORRIBEIRO	-17,65	-42,59	-45,49
R_BATISTADECARVALHO	-25,58	-39,37	-46,88
R_DACONSTITUIÇÃO	-23,08	-49,57	-53,34
R_CONS,A,PRADO	-26,32	-43,98	-67,56
R_JULIOPRESTES	-28,85	-56,65	-70,48
R_TIMBIRAS	-50,00	-11,83	-89,74
ACESSO_NUNODEASSIS	200,00	208,47	6311,11
AV_RODRIGUESALVES	0,00	52,33	160,00
R_INCONFIDÊNCIA	0,00	197,86	666,67
TR 100 anos			
R_AVIADORRIBEIRO	-16,94	-27,54	-40,64
R_BATISTADECARVALHO	-22,34	-14,46	-41,02
R_DACONSTITUIÇÃO	-22,99	-29,96	-47,62
R_CONS,A,PRADO	-26,23	-22,90	-57,77
R_JULIOPRESTES	-27,27	-41,19	-61,73
AV_RODRIGUESALVES	-92,31	17,95	-97,00
ACESSO_NUNODEASSIS	-33,33	-1,92	-17,82
R_TIMBIRAS	0,00	9,35	38,89
R_INCONFIDÊNCIA	0,00	204,10	733,33

Fonte: Autor

Tabela 21 - Diferenças percentuais nas características dos extravasamentos, considerando 60% do caudal das áreas impermeáveis drenado para os microrreservatórios e 40% drenado para as trincheiras de infiltração.

5 Considerações finais

5.1 Conclusões

Com base nas características da sub-bacia do Córrego das Flores na região urbana da cidade de Bauru, caracterizada por grande adensamento populacional, intensa urbanização e, por consequência, solo altamente impermeabilizado, buscou-se o emprego de tecnologias no âmbito da gestão sustentável das águas pluviais, que pudessem ser aplicadas de forma a minimizar os transtornos gerados à população residente.

As tecnologias para tal precisariam aliar algumas características, nomeadamente, uma área reduzida, visto a dificuldade em encontrar espaços abertos, ao elevado custo da desapropriação de imóveis particulares, e por fim que, aproveitassem as boas capacidades infiltrativas do solo da região, propiciando também a recarga de aquíferos, visto que mais de 60% da água potável da cidade é oriunda de poços profundos.

As trincheiras de infiltração atendiam a todas estas demandas, contando ainda com o benefício de não precisarem ficar expostas, estando as que foram propostas neste trabalho, localizadas sob os passeios, o que ajuda a reduzir sobremaneira o impacto visual negativo.

Também os microrreservatórios podiam ser aplicados, já que, por terem um tamanho reduzido, podem ser instalados em quase qualquer imóvel, contribuindo sobremaneira para a redução dos caudais de pico, embora não demonstrem efeitos benéficos diretos quanto ao aumento das taxas de infiltração.

Verificou-se que as suas eficiências, segundo dados obtidos por meio de simulações no *software* SWMM, tendem a variar de acordo com algumas características, nomeadamente, a percentagem que ocupam na bacia hidrográfica, a sua capacidade de retenção de volumes, a intensidade dos eventos chuvosos e também se atuam sozinhas ou associadas e neste último caso, a proporção da combinação de cada uma das tecnologias.

Primeiramente, quanto à percentagem ocupada na bacia pelas tecnologias LID, os resultados foram similares para ambas: quanto menores as suas proporções em relação à área total da bacia, tão menores serão seus efeitos na diminuição dos caudais de ponta e, especificamente para as trincheiras de infiltração, seus benefícios para a reposição de água dos aquíferos.

E em segundo lugar, quanto à intensidades dos eventos chuvosos, quanto maiores os volumes precipitados, menor será a capacidade das tecnologias em absorver estes volumes e diminuir o

caudal de ponta, de modo que, para eventos com tempos de retorno maiores (50 e 100 anos), os efeitos quase não foram notados.

Ao comparar as técnicas entre si, as trincheiras enquanto tecnologia aplicada de forma exclusiva, tiveram maior impacto na diminuição dos caudais de pico e implemento nas taxas de infiltração do que os microrreservatórios, principalmente nos eventos chuvosos menos intensos.

Entretanto, foi ao associar ambas as tecnologias que o impacto percebido se majorou, tanto para os tempos de retorno menores, 5 e 10 anos, quanto para os maiores tempos de retorno, 50 e 100 anos. Nesse contexto é relevante dizer que, o rácio entre o volume de água drenado para cada tecnologia implica em melhores ou piores resultados, de forma que, para os dois menores tempos de retorno (5 e 10 anos), os resultados obtidos variaram pouco entre si. No entanto, a simulação com o maior percentual de volume líquido tratado por microrreservatórios (item 4.2.3.3) e menor por trincheiras de infiltração, obteve maior sucesso na redução dos caudais e atraso nos horários de pico, inclusive para os maiores tempos de retorno (50 e 100 anos). Numa análise preliminar, isto sugere que o emprego de tecnologias verdes, de forma geral, tem maior eficiência quando em conjunto, ponto explicado pelo fato de cada tecnologia tentar mimetizar processos naturais diferentes, umas a privilegiar mais a infiltração ao invés da reservação e outras mais a evaporação ou reutilização dos volumes precipitados.

Por fim, é notório que nos pontos mais críticos para extravasamentos houve uma perceptível redução tanto no tempo de duração dos eventos quanto no volume de líquido vazado, de tal modo diminuindo a intensidade e tamanho das possíveis inundações causadas por esses extravasamentos. Isto ocorreu principalmente para os tempos de retorno de 5 e 10 anos.

Em contrapartida, devido à dinâmica das águas na bacia, após as simulações com as tecnologias em voga viu-se que, alguns locais (nós) apresentavam aumento no tempo de duração e volume dos extravasamentos, sendo estes aumentos apesar de grandes percentualmente, pequenos em números ordinais, o que ainda poderia suscitar a necessidade de uma análise mais detalhada.

Apesar dos bons resultados na diminuição dos caudais máximos (de pico), assim como nos volumes extravasados e na duração dos eventos de extravasamento, não é possível afirmar de forma categórica que tais melhoras implicarão em total remissão das inundações ou em melhoras significativas, já que, o estudo em questão não fez uma análise aprofundada do relevo local e tão pouco discorre sobre a formação de lâminas de água que, no relevo, causariam ou não uma inundação.

5.2 Propostas para trabalhos futuros

Como forma de incentivar trabalhos futuros com o uso do *software* SWMM e das tecnologias LID, pode-se sugerir uma análise mais aprofundada de como ocorre a interação entre as técnicas LID no caso da implementação de mais de uma infraestrutura deste tipo numa mesma área e de como a proporção do volume de água a ser desviado para cada tecnologia afeta o caudal de pico de um evento chuvoso.

Caso estejam disponíveis no futuro, dados reais de caudal no sistema de drenagem estudado, sugere-se a tentativa de validação do modelo proposto através da análise destes dados frente aos obtidos através das simulações nos variados cenários deste trabalho.

Ainda seria interessante a adoção de um indicador, numérico ou gráfico, que pudesse traduzir de forma mais direta ou intuitiva ao leitor a relação emprego de tecnologias LID/mitigação da ocorrência de efeitos adversos, tornando a leitura dos dados mais simples e prática.

Referências bibliográficas

- Abreu, F. G., Sobrinha, L. A., Brandão, J. L. B. (2017) “Análise da distribuição temporal das chuvas em eventos hidrológicos extremos”. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 22 (02);239-250. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016146750>
- Abu-Zreig, M., Attom, M., Hamasha, N. (2000). “Rainfall Harvesting Using Sand Ditches in Jordan”. *Agricultural Water Management* 46(2):183–192. doi: 10.1016/S0378-3774(00)00082-2.
- Akther, Musa, Jianxun He, Angus Chu, Jian Huang, and Bert van Duin. 2018. “A Review of Green Roof Applications for Managing Urban Stormwater in Different Climatic Zones.” *Sustainability (Switzerland)* 10(8):1–28. doi: 10.3390/su10082864.
- ANA. (2017). “Aproveitamento de Água de Chuva é Incluído Na Legislação.” Agência Nacional de Águas. Acessado em 8 de Novembro de 2020, disponível em <https://www.ana.gov.br/noticias/aproveitamento-de-agua-de-chuva-e-incluido-na-legislacao>.
- APA. n.d. “PNUEA.” Acessado em 9 de Novembro de 2020, disponível em: <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=860>.
- Carugati, F., Hadfield G. K., Weingast B. R. (2015). “Building Legal Order in Ancient Athens.” *Journal of Legal Analysis* 7(2):291–324. doi: 10.1093/jla/lav003.
- Charvériat, C.(2020). “Natural Disasters in Latin America and the Caribbean: An Overview of Risk.” *SSRN Electronic Journal (Março)*. doi: 10.2139/ssrn.1817233.
- Chichagov, V. P. (2010). “Anthropogenic Arid Plains of Asia Minor.” *Geography and Natural Resources* 31(1):86–92. doi: 10.1016/j.gnr.2010.03.016.
- Coffman, L.S. (2000). “Low-Impact Development Design: A New Paradigm for Stormwater Management Mimicking and Restoring the Natural Hydrologic Regime An Alternative Stormwater.” 158–67. doi=10.1.1.199.2586
- COUNTY, MARYLAND-PRINCE GEORGE’S. 1999. “Low-Impact Development Design Strategies An Integrated Design Approach Low-Impact Development : An Integrated Design Approach.” (June).

Climate-data.org. n.d. “Clima Bauru: Temperatura, Tempo e Dados Climatológicos Bauru - Climate-Data.Org.” Acessado em 14 de Dezembro de 2020, disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/bauru-4225/>.

Cruz, Susana Manuela Sousa. (2013). “Contribuição para a Avaliação de Técnicas de Aproveitamento de Água da Chuva em Comunidades Urbanas.”. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho, Braga.

Eckart, K., McPhee Z. e Bolisetti, T. (2017). “Performance and Implementation of Low Impact Development – A Review.” *Science of the Total Environment* 607–608:413–32. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.06.254.

EMBRAPA. n.d. “Banco de Dados Climáticos Do Brasil.” Acessado em 8 de Abril de 2021, disponível em: <https://www.cnpem.embrapa.br/projetos/bdclima/balanco/resultados/sp/265/balanco.html>.

Emídio, Zildene P. O. (2021). Estação do verão - Características Gerais. IPMet-Centro de meteorologia/Unesp, Bauru.

EPA. n.d. “Storm Water Management Model (SWMM) | Water Research | US EPA.” .Acessado em 12 de Novembro de 2020, disponível em: (<https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>).

Escobedo, F. J., Giannico, V., Jim, C. Y., Sanesi, G. e Laforteza, G. (2019). “Urban Forests, Ecosystem Services, Green Infrastructure and Nature-Based Solutions: Nexus or Evolving Metaphors?” *Urban Forestry and Urban Greening* 37(March 2018):3–12. doi: 10.1016/j.ufug.2018.02.011.

Freni, G., Liuzzo, L. (2019). “Effectiveness of Rainwater Harvesting Systems for Flood Reduction in Residential Urban Areas.” *Water (Switzerland)* 11(7). doi: 10.3390/w11071389.

Genovez, A., Neto F., Sartori, A. (2005). “Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros Para a Estimativa Da Chuva Excedente Com o Método Do Serviço de Conservação Do Solo Dos Estados Unidos Parte 1: Classificação.” *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 10(4):5–18. doi: 10.21168/rbrh.v10n4.p5-18.

Ghirardello, Nilson. (2020). Bauru Em Temas Urbanos. 1º ed. Associação dos amigos da natureza da alta paulista-ANAP, Tupã.

GRAF, C. 2015. "Dry Wells for Stormwater Management: An Envolving Viewpoint." *Arizona Water Resource* 23(2).

IBGE. n.d. "IBGE | Cidades@ | São Paulo | Bauru | Panorama.". Acessado em 11 de Novembro de 2020, disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/bauru/panorama>.

IBGE. n.d. "Clima | 2002 Clima – 1:5 000 000 | IBGE." Acessado em 7 de Abril de 2021, disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/climatologia/15817-clima.html?=&t=downloads>).

Instituto Agrônômico. n.d. "Solos Do Estado de São Paulo - IAC." Acessado em 15 de Abril de 2021, disponível em : (<http://www.iac.sp.gov.br/solosp/>).

Junior, F. M., Magni, N. L. G. (1999). *Equações de Chuvas Intensas Do Estado de São Paulo*. Governo do estado de São Paulo, departamento de água s energia elétrica e escola politécnica da universidade de São Paulo. Acessado em 9 de Abril de 2021, disponível em: http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Fernando/leb1440/Aula%203/DAEE_Eq_Chuvas_SP.pdf.

Kellagher, R., Ashley, R., Scott, T., Illman, S., Udale-Clarke, H., Wilson, S., Woods-Ballard, B., B. Woods Ballard, (2015) *Construction Industry Research and Information Association*, Great Britain, Department of Trade and Industry, and Environment Agency. 2015. *The SUDS Manual*.

Li, Fazhi, Jingqiu Chen, Bernard A. Engel, Yaoze Liu, Shizhong Wang, and Hua Sun. 2021. "Assessing the Effectiveness and Cost Efficiency of Green Infrastructure Practices on Surface Runoff Reduction at an Urban Watershed in China." *Water (Switzerland)* 13(1). doi: 10.3390/w13010024.

Magagnato, M. H., Hatano, P. M., Lodi, P. C. (2019). "Avaliação Do Coeficiente Hidráulico de Solos Arenosos a Partir de Acréscimos Percentuais Gradativos de Cimento Visando a Impermeabilização de Fundos de Aterros e Lagoas de Estabilização." *Revista Científica ANAP Brasil* 12(25):54–64. doi: 10.17271/19843240122520192220.

Matsler, A. M., Meerow, S., Mell, I. C. e Pavao-Zuckerman M. A., (2021). "A 'Green' Chameleon: Exploring the Many Disciplinary Definitions, Goals, and Forms of 'Green Infrastructure.'" *Landscape and Urban Planning* 214:104145. doi: 10.1016/j.landurbplan.2021.104145.

Müller, Eva Nora, Loes Van Schaik, Theresa Blume, Axel Bronstert, Jana Carus, Jan H. Fleckenstein, Nicola Fohrer, Horst H. Gerke, Thomas Graeff, Cornelia Hesse, Anke Hildebrandt,

Franz Hölker, Philip Hunke, and Katrin Körner. 2014. "Herausforderungen Der Ökohydrologischen Forschung in Deutschland." *Hydrologie Und Wasserbewirtschaftung* 58(4):221–40. doi: 10.5675/HyWa.

Marconato, A., Turra, B. B., Salvador E. D., et al. (2006). "Programa Geologia Do Brasil: Mapa Geológico Do Estado de São Paulo. Escala 1:750.000." 173. CPRM - Serviço Geológico do Brasil.

Organização das Nações Unidas. (2018). "Guia Sobre Desenvolvimento Sustentável: 17 Objetivos Para Transformar o Nosso Mundo." Centro de Informação Regional Das Nações Unidas Para a Europa Ocidental 1–38.

Pinto, E. J. A. (2017). "Drenagem Urbana de Águas Pluviais." Acessado em 24 de Novembro de 2020, disponível em: <https://www.etg.ufmg.br/wp-content/uploads/2018/03/tim1-palestra-drenagem-2017-2.pdf>.

Porto, R. L. L., Setzer, J. (1979). "Tentativa de Avaliação de Escoamento Superficial de Acordo Com o Solo e Seu Recobrimento Vegetal Nas Condições Do Estado de São Paulo." *Biblioteca Técnica DAEE* 82–135. São Paulo.

Righetto, A. M., et. al. (2009). *Manejo de águas pluviais urbanas, PROSAB*. 1º ed. ABES. Rio de Janeiro.

Robin, Treilles, Gasperi Johnny, Saad Mohamed, Tramoy Romain, Breton Jérôme, Rabier Alain, and Tassin Bruno. 2021. "Abundance, Composition and Fluxes of Plastic Debris and Other Macrolitter in Urban Runoff in a Suburban Catchment of Greater Paris." *Water Research* 192:116847. doi: 10.1016/j.watres.2021.116847.

Rossman, L. A. (2015). *Storm Water Management Model User'S Manuel*. Version li. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency.

Sartori, A. (2004). "Avaliação Da Classificação Hidrológica Do Solo Para a Determinação Do Excesso de Chuva Do Método Do Serviço de Conservação Do Solo Dos Estados Unidos." *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 10(4):19–29. Campinas.

Secretaria municipal de meio ambiente de Bauru. n.d. "Plano Municipal de Conservação e Recuperação Da Mata Atlântica de Canavieiras." Acessado em 15 de Maio de 2021, disponível em:

https://www2.bauru.sp.gov.br/arquivos/arquivos_site/sec_meioambiente/plano_mata_atlantica.pdf

Silva, Eduardo Araújo. (2013). "Uso de 'ecotécnicas' no manejo de águas pluviais em meio urbano: uma abordagem crítica". Dissertação de mestrado. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Silva, J. A. B., Barroso R. C. A., Rodrigues A. J., et al. (2014). "Á urbanização no mundo contemporâneo e os problemas ambientais." Caderno de Graduação - Ciências Humanas e Sociais - UNIT 2(2):197–207. Aracaju.

Storey, Glenn R. (1997). "The Population of Ancient Rome." *Antiquity* 71(274):966–78. doi: 10.1017/S0003598X00085859.

Talebi, Leila, and Robert E. Pitt. 2014. "Evaluation and Demonstration of Stormwater Dry Wells and Cisterns in Millburn Township, New Jersey." *Journal of Water Management Modeling (Figure 1)*:1–11. doi: 10.14796/jwmm.c376.

The World Bank. n.d. "World Development Indicators | DataBank." . Acessado em 20 de Novembro de 2020, disponível em: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>.

Ward, A. (2003). "Weighing Earth 's Water from Space." NASA Earth Observatory. Acessado em 4 de Novembro de 2020, disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/WeighingWater>.

Wissler, Austin D., William F. Hunt, and Richard A. McLaughlin. 2020. "Hydrologic and Water Quality Performance of Two Aging and Unmaintained Dry Detention Basins Receiving Highway Stormwater Runoff." *Journal of Environmental Management* 255(July 2019):109853. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109853.

Yang, Hanbae, Warren A. Dick, Edward L. McCoy, P. Larry Phelan, and Parwinder S. Grewal. 2013. "Field Evaluation of a New Biphasic Rain Garden for Stormwater Flow Management and Pollutant Removal." *Ecological Engineering* 54:22–31. doi: 10.1016/j.ecoleng.2013.01.005.

Zhou, Qianqian. (2014). "A Review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts." *Water (Switzerland)* 6(4):976–92. doi: 10.3390/w6040976.

Chauvin, J. P., Glaeser, E., Ma, Y., & Tobio, K. (2017). "What is different about urbanization in rich and poor countries? Cities in Brazil, China, India and the United States". *Journal of Urban Economics*, 98, 17–49. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2016.05.003>

Ungaro, F., Calzolari, C., Pistocchi, A., & Malucelli, F. (2014). "Modelling the impact of increasing soil sealing on runoff coefficients at regional scale : a hydrogeological approach". *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 62(1), 33–42. <https://doi.org/10.2478/johh-2014-0005>