

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

**LIMITES E POTENCIALIDADES DA UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS
COMPENSATÓRIAS NO MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS
EM ÁREAS JÁ URBANIZADAS**

BRUNA LAMOREA VEIGA LOPES

SÃO CARLOS – SP

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

**LIMITES E POTENCIALIDADES DA UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS
COMPENSATÓRIAS NO MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS
EM ÁREAS JÁ URBANIZADAS**

BRUNA LAMOREA VEIGA LOPES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana

Orientação: Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira

SÃO CARLOS – SP

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Bruna Lamoréa Veiga Lopes, realizada em 28/05/2021.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira (UFSCar)

Profa. Dra. Renata Bovo Peres (UFSCar)

Prof. Dr. Jozrael Henriques Rezende (FATEC)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus familiares, em especial meu pai Eduardo Luiz Veiga Lopes e minha mãe Maria do Carmo Lamorea Veiga Lopes, que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e me incentivando em todas as minhas decisões e realizações de projetos profissionais e pessoais, e que se não fosse por eles eu não estaria aqui hoje carregando toda essa bagagem de conhecimento, vontade de aprender e superar novos desafios.

Aos meus amigos, que me apoiaram e por toda a ajuda que tive durante esse período, tanto na vida academia como na vida pessoal, me dando suporte nas horas boas e ruins sempre da melhor maneira que possível.

Ao meu orientador Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira, sempre presente, prestativo e paciente, com enorme dedicação e disposição em ajudar, e que mesmo com esse período de pandemia, sempre esteve me auxiliando prontamente e transmitindo todo seu conhecimento para a elaboração dessa dissertação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo de Mestrado.

RESUMO

Com o crescimento das áreas urbanas, são gerados problemas de manejo das águas pluviais decorrentes da impermeabilização do solo, agravados pelo uso de técnicas de drenagem que nem sempre lidam adequadamente com a questão. As chamadas Técnicas Compensatórias (TC) surgiram como alternativa para aproximar o ciclo das águas pluviais urbanas dos ciclos naturais. Entretanto, o emprego das TC é muitas vezes associado a situações em que a urbanização ainda será feita, desconsiderando as áreas já previamente ocupadas. Neste sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar limites e potencialidades da aplicação das TC em áreas já urbanizadas. Para isto, foram identificadas na literatura variáveis que devem ser consideradas para a escolha e a implantação de TC. Novas variáveis especificamente relacionadas às áreas já urbanizadas foram acrescentadas e a sistematização final resultou num conjunto que pode ser empregado nestas áreas. O conjunto de variáveis foi aplicado em diferentes situações de urbanização na microbacia do Córrego da Servidão, em Araraquara-SP, de modo a se avaliar as condições de emprego das TC. Para se ter uma ordem de grandeza dos efeitos das TC foi feito também o pré-dimensionamento de algumas alternativas. Os resultados indicaram que o método utilizado considerando as variáveis propostas contribui para definir melhor o uso de TC nas áreas já urbanizadas, acrescentando considerações adicionais, além das usuais. Observou-se, assim, que há um potencial de aplicação, sobretudo de TCs de pequenas dimensões, podendo-se obter melhores resultados com a combinação de diferentes técnicas.

PALAVRAS-CHAVE: Técnicas Compensatórias. Drenagem Urbana. Manejo de Águas Pluviais. Urbanização consolidada.

ABSTRACT

With the growth of urban areas, the problems are result of waterproofing in the soil aggravated by the use of drainage techniques that do not adequately deal with issue. The called Compensatory Techniques (CT) appeared as an alternative to bring the cycleof urban rainwater closer to normal cycles. However, the use of CT is often associated with situations in which urbanization will still be carried out, disregaring previously occupied areas. In this sense, the objetive os this work was to evaluate the limits and potentialities of the application of CT in already urbanized areas. For this, variables were identified in the literature that should be considered for the choice and implementation of CT. New variables specifically related to already urbanized areas was added and the final systematization results in a set that can be used in this type of area. The set of variables was applied in differents urbanization situations in the microbasin of Strem of Servidão, in Araraquara-SP, in the order to assess the conditions of employment of CT. To have an order of magnitude of the effects of the CT, the pre-dimensioning of some alternatives was also done. The results indicated that the variables used can contribute to better define the use of CT in already urbanized areas, with consideration of some additional concerns, but with potential for application, which can be enhanced by the combination of different techniques. This, it was observed that there a potential for application, especially for mal-sized CT, and better results can be obtained with the combination o diferente techniques.

KEYWORDS: Compensatory Techniques. Urban Drainage. Rainwater Management. Consolidated urbanization.

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Parque High Line em Manhattan – New York.....	18
Figura 2.1 – Boca-de-Lobo e Poço de Visita.....	20
Figura 2.2 – Bacia de detenção em Araraquara – SP.....	24
Figura 2.3 – Jardim de Chuva.....	25
Figura 2.4 – Trincheira de Infiltração no Campus da UFSCar.....	27
Figura 2.5 – Sistema de Filtro-Vala-Trincheira de Infiltração no Campus da UFSCar.....	28
Figura 2.6 – Pavimento Permeável.....	30
Figura 2.7 – Poço de Infiltração no Campus da UFSCar.....	33
Figura 2.8 – Telhado de Cobertura Vegetal.....	34
Figura 3.1 – Síntese da Pesquisa.....	37
Figura 5.1 – Mapa de Localização do Município de Araraquara.....	53
Figura 5.2 – Localização do Município de Araraquara.....	54
Figura 5.3 – Sub-bacias Hidrográficas na Área Urbana de Araraquara – SP.....	55
Figura 5.4 – Microbacia do Córrego da Servidão.....	56
Figura 5.5 – Áreas de Estudo dentro da Microbacia.....	58
Figura 5.6 – Vista Aérea da área residencial sem espaço disponível.....	59
Figura 5.7 – Vista pela rua Bahia.....	60
Figura 5.8 – Vista pela Av. dos Ferroviários.....	60
Figura 5.9 – Mapa de Localização da Praça Popular 2.....	66
Figura 5.10 – Praça Popular 2.....	66
Figura 5.11 – Praça Popular 2.....	67
Figura 5.12 – Praça Popular 2.....	67
Figura 5.13 – Vista aérea da área comercial.....	71
Figura 5.14 – Vista Rua Nove de Julho.....	72
Figura 5.15 – Vista Rua Nove de Julho.....	72
Figura 5.16 – Mapa de Localização do Terminal Central de Integração.....	76
Figura 5.17 – Vista Superior do Terminal Central de Integração em Araraquara – SP.....	76
Figura 5.18 – Terminal Central de Integração em Araraquara – SP.....	77
Figura 5.19 – Região abaixo do Terminal Central onde ocorrem alagamentos.....	77
Figura 5.20 – Alagamento na Via Expressa.....	78

Figura 5.21 – Drenagem na Via Expressa.....	79
Figura 5.22 – Mapa de Localização do Estádio da Arena da Fonte Luminosa.....	83
Figura 5.23 – Estádio da Arena da Fonte Luminosa.....	84
Figura 5.24 – Estádio da Arena da Fonte Luminosa.....	84
Figura 5.25 – CEAR – Centro de Eventos de Araraquara e Região.....	85
Figura 5.26 – Estacionamento utilizado para aulas práticas de direção.....	86
Figura 5.27 – Quiosques para alimentação.....	86
Figura 5.28 – Quadra Poliesportiva coberta.....	87
Figura 5.29 – Mini Campo de Futebol.....	87
Figura 5.30 – Pista de Skate.....	88
Figura 5. 31 – Mapa de Localização Área Ferroviária.....	92
Figura 5.32 – Área Ferroviária.....	93
Figura 5.33 – Área Ferroviária.....	93
Figura 5.34 – Área Ferroviária.....	94
Figura 5.35 – Comparação de Quadros de Variáveis.....	99
Figura 6.1 – Quarteirão Padrão para Pré-Dimensionamento.....	104
Figura 6.2 – Área de Contribuição da Bacia.....	105
Figura 6.3 – Tabela de Restrições de Capacidade de Infiltração (CI).....	107
Figura 6.4 – Exemplo de Bacia de Infiltração na Praça Popular 2.....	113
Figura 6.5 – Esquina com pequeno jardim de chuva.....	116
Figura 6.6 – Exemplo de Estacionamento com aplicações de drenagem sustentável...117	
Figura 6.7 – Aplicação em Locais de Tráfego.....	118
Figura 6.8 – Esquema de biorretenção em área de estacionamento.....	119

Lista de Quadros

Quadro 4.1 – Variáveis de Aspectos Relacionados aos Objetivos.....	41
Quadro 4.2 – Variáveis de Aspecto Quantitativo.....	44
Quadro 4.3 – Variáveis de Aspecto Qualitativo.....	45
Quadro 4.4 – Variáveis de Aspectos Sociais, Econômicos e Operacionais.....	47
Quadro 4.5 – Variáveis Propostas para a Aplicação de TC em Área Urbanizada.....	49
Quadro 4.6 – Variáveis Propostas para Aplicação de TC em Áreas Já Urbanizadas.....	51
Quadro 5.1 – Aplicação de Variáveis em Área Residencial sem Espaços Livres.....	62
Quadro 5.2 – Matriz Variáveis x TC para Área Residencial sem Espaços Disponíveis.....	63
Quadro 5.3 – Aplicação de Variáveis em Área Pública com Espaço Disponível.....	68
Quadro 5.4 – Matriz Variáveis x TC para Área Residencial com Espaço Disponível....	69
Quadro 5.5 – Aplicação de Variáveis em Área Comercial.....	73
Quadro 5.6 – Matriz Variáveis x TC para Área Comercial.....	74
Quadro 5.7 – Aplicação de Variáveis em Área de Ocorrência de Alagamentos.....	80
Quadro 5.8 – Matriz Variáveis x TC para Área de Ocorrência de Alagamentos.....	81
Quadro 5.9 – Aplicação de Variáveis em Área do Estádio da Fonte Luminosa.....	89
Quadro 5.10 – Matriz Variáveis x TC para Área do Estádio da Fonte Luminosa.....	90
Quadro 5.11 – Aplicação de Variáveis em Área Próxima à Ferrovia.....	95
Quadro 5.12 – Matriz Variáveis x TC para Área Próxima à Ferrovia.....	96
Quadro 5.13 – Matriz Variáveis x TC para microbacia em geral.....	100

Lista de Tabelas

Tabela 6.1 - Previsão de Máximas Intensidades de Chuvas em Araraquara, em mm/h.....	107
--	-----

Sumário

1	Introdução	13
1.1	Aspectos Gerais.....	13
1.2	Objetivos.....	14
2	Revisão Bibliográfica.....	15
2.1	A Urbanização e Águas Pluviais	15
2.2	Sistemas de Drenagem Urbana Tradicional	18
2.2.1	Microdrenagem.....	19
2.2.2	Macrodrenagem	20
2.3	Sistemas de Drenagem Mais Sustentáveis	20
2.4	Técnicas Compensatórias de Drenagem Urbana.....	21
2.4.1	Técnicas de Controle Centralizado.....	22
2.4.1.1	Bacias de retenção	22
2.4.1.2	Bacias de detenção	23
2.4.1.3	Jardins de Chuva	24
2.4.2	Técnicas de Controle Lineares	26
2.4.2.1	Trincheiras de infiltração	26
2.4.2.2	Valas e Valetas de Infiltração	28
2.4.2.3	Pavimentos Permeáveis	29
2.4.2.4	Faixa Gramada	31
2.4.3	Técnicas de Controle Localizadas ou Pontuais	32
2.4.3.1	Poços de Infiltração	32
2.4.3.2	Telhados de Cobertura Vegetal.....	34
2.4.3.3	Reservatórios Individuais	35
3	Metodologia.....	37
3.1	Identificação das TC na bibliografia revisada.....	38
3.2	Identificação e Sistematização de Variáveis para Escolha de TC.....	38
3.3	Proposição e sintetização de variáveis para escolha de TC	38
3.4	Aplicação das variáveis em uma microbacia urbana	38

3.5	Sistematização e análise final dos resultados obtidos.....	39
4	Resultados e Discussão	40
4.1	Definição de Variáveis.....	40
4.1.1	Aspectos Relacionados com a(s) Finalidade(s) das TC	40
4.1.2	Aspectos Quantitativos	42
4.1.3	Aspectos Qualitativos	44
4.1.4	Aspectos Sociais, Econômicos e Operacionais	46
4.1.5	Proposição de Novas Variáveis para Áreas Já Urbanizadas.....	48
4.2	Considerações para Aplicação de TC em meio já Urbanizado	49
5	Aplicação das Variáveis em Área Urbanizada: Córrego da Servidão –	
	Araraquara/SP.....	53
5.1	Caracterização do Município de Araraquara.....	53
5.2	Hidrografia.....	54
5.3	Microbacia Córrego da Servidão	56
5.4	Aplicação das Variáveis em Áreas do Córrego da Servidão	57
5.4.1	Área Residencial sem Espaço Disponível	58
5.4.2	Área Residencial com Espaços Disponíveis.....	65
5.4.3	Área Comercial.....	70
5.4.4	Área de Ocorrência de Alagamentos	75
5.4.5	Área do Estádio da Arena Fonte Luminosa.....	82
5.4.6	Área Ferroviária (Rumo – Araraquara) – Área em Reurbanização.....	91
5.5	Variáveis Principais.....	97
5.6	Análise Geral das Variáveis.....	101
6	Cálculos de Pré-Dimensionamento das TC	104
6.1	Vazão de projeto	107
6.2	Pré-Dimensionamento de Trincheira de Infiltração	109
6.3	Pré-Dimensionamento de Poço de Infiltração.....	111
6.4	Pré-Dimensionamento de Bacia de Retenção.....	113
6.5	Combinações de TC como Possível Solução.....	115

7	Conclusões e Recomendações	121
8	Referências Bibliográficas	123
Anexo 1.....		127

1 Introdução

1.1 Aspectos Gerais

Com a expansão das cidades, ocorrem diversas alterações, dentre os quais a impermeabilização do solo, acarretando impactos devido à dificuldade de infiltração das águas pluviais escoadas. O sistema convencional de drenagem, que é adotado até os dias de hoje, vem demonstrando crescente ineficiência, por não conseguir atender às vazões do escoamento superficial ou por transferir os efeitos de cheias para jusante. Para compensar tal ineficiência, busca-se uma compreensão mais integrada da área urbana e dos ciclos naturais, contemplando relações entre os sistemas tecnológicos, legais e sociais para a concepção e implantação dos sistemas de drenagem urbana (PORTO *et al*, 2015).

Desde meados da década de 1970, estão sendo desenvolvidas alternativas ao sistema de drenagem convencional conhecido. Dentre elas, estão as Técnicas Compensatórias (TC), que tem como objetivo minimizar os impactos da urbanização sobre os processos hidrológicos, valorizando a presença da água no ambiente urbano e, sendo prevista a integração urbanística destas técnicas, com a criação de espaços de convivência e contemplação para a população, buscando a preservação dos recursos naturais envolvidos (BAPTISTA *et al*, 2015).

Diante do aumento na procura da utilização de TC no Brasil, observa-se sua adoção principalmente para novas ocupações urbanas, algumas vezes já como exigência legal. Entretanto, as TC nem sempre são consideradas como solução de problemas de drenagem em áreas já urbanizadas, em função de dificuldades para sua implantação (necessidade de áreas, desenho urbano já definido, ocupação já existente, interferência com outras infraestruturas etc.). A identificação e superação destas dificuldades seriam favoráveis ao aumento do uso de TC neste contexto, com os consequentes benefícios esperados.

Para auxiliar na escolha e na implantação das diferentes tipologias de TC, são normalmente consideradas variáveis características de cada uma delas e do contexto de aplicação. Nem sempre, entretanto, tais variáveis consideram as áreas já urbanizadas como suas características mais restritivas. É interessante, assim, identificar estes limites, mas também as potencialidades do uso das TC neste contexto, contemplando variáveis mais adequadas.

1.2 Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar os limites e as potencialidades da utilização de Técnicas Compensatórias (TC) no manejo de águas pluviais em áreas já urbanizadas, fazendo uma aplicação no município de Araraquara-SP.

Para o alcance desta proposta, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar e sistematizar, a partir da literatura, variáveis a serem consideradas para avaliação do uso de TC.
- Propor e sistematizar variáveis a serem aplicadas em áreas já urbanizadas.
- Fazer uma aplicação das variáveis de avaliação na microbacia do Córrego da Servidão, município de Araraquara-SP

2 Revisão Bibliográfica

2.1 A Urbanização e Águas Pluviais

A migração da população rural para as cidades em busca de trabalho e melhores condições de vida, gerou a necessidade de expansão no território urbano e a utilização do solo para a construção de moradias. Assim, contribuindo para a impermeabilização e dificultando a drenagem, gerando diversos problemas com a água pluvial não escoada devidamente.

De acordo com Soares (2006), o fenômeno da “dispersão urbana” está alterando a morfologia urbana tradicional, gerando novas centralidades e novas periferias. Uma cidade tem áreas definidas, como o centro da cidade, local de concentração de atividades comerciais, de serviços e de gestão, áreas industriais, áreas residenciais distintas em termos de forma e conteúdo social, de lazer e aquelas reservadas para futura expansão (CORRÊA, 2000).

Com o crescimento das cidades, bairros antigos não conseguiram acompanhar seu desenvolvimento, continuando com características de locais menos urbanizados, como ruas estreitas, calçadas pequenas e com pavimentos irregulares, falta de vegetações pelos quarteirões, dentre outros fatores.

Algumas das características presentes em bairros mais antigos já edificadas e sem possibilidade de uma reestruturação, dificultam o processo de ergonomia urbana, trazendo a necessidade de adaptação da população urbana crescente.

Segundo Batista *et al* (2015), as primeiras aglomerações urbanas já se localizavam quase sempre junto aos cursos d'água, tendo em vista que a disponibilidade de água favorecia o seu suprimento para consumo e higiene das populações, efetivando ainda a evacuação de dejetos.

Ainda segundo os autores, a urbanização implica, forçosamente, em alterações significativas no meio ambiente, de forma geral, e nos processos hidrológicos, em particular, através da ação direta nos cursos d'água e nas superfícies das bacias hidrográficas como um todo. Em um quadro de urbanização crescente, constata-se a obsolescência gradual e inexorável dos sistemas de drenagem implantados segundo a ótica higienista, levando a inundações cada vez mais frequentes em áreas urbanas, com severas implicações sociais, econômicas e políticas decorrentes.

Os principais problemas relacionados com a urbanização e a infraestrutura nos países em desenvolvimento, em especial da América Latina, para Tucci (1997), são a grande concentração populacional em pequena área, o aumento da periferia das cidades

e a existência da segregação do meio urbano em cidade formal e informal, no âmbito da gestão urbana. O autor ainda ressalta que a impermeabilização do solo e a supressão da vegetação são fatores relevantes para a alteração do ciclo hidrológico e intensificação da ocorrência de inundações em áreas urbanas, pois a água que antes infiltrava passa a escoar por galerias, aumentando o escoamento superficial de seis a sete vezes. E o volume que escoava lentamente pela superfície do solo natural e ficava retido pela vegetação, após a urbanização passa a escoar nos canais, que requerem maior capacidade de escoamento.

Alterações como desmatamento, substituição da cobertura vegetal natural, instalação de redes de drenagem artificial, ocupação das áreas de inundação, impermeabilização das superfícies, redução dos tempos de concentração e o aumento dos deflúvios superficiais, podem ocasionar efeitos diretos sobre os recursos hídricos, afetando o ciclo hidrológico e por consequência impactando o funcionamento eficiente de sistemas de drenagem. A quantificação do escoamento superficial é importante na hidrologia urbana, pois é com essa concepção do sistema de drenagem que é possível pensar no controle da acumulação da água na superfície, evitando assim os problemas de alagamento e inundações (RIGHETTO, 2009).

Segundo Tucci (1997), enchentes em áreas urbanas são consequência de dois processos:

- **Devido a Urbanização:** são ocasionadas devido a ocupação do solo com superfícies impermeáveis e rede de condutos de escoamentos, juntamente com o desenvolvimento urbano, pode produzir obstruções ao escoamento como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento.
- **Em Áreas Ribeirinhas:** são enchentes naturais que atingem a população, normalmente de baixa renda, que ocupa áreas de risco de acordo com o Plano Diretor, próximas aos rios por falta de planejamento do uso do solo.

É válido ressaltar que o termo “inundações” é utilizado para referir-se ao extravasamento das enchentes dos corpos d’água para as áreas ribeirinhas. Por sua vez, o termo “alagamento” designa o acúmulo de água pluvial em áreas urbanas em decorrência da inexistência ou insuficiência dos sistemas de drenagem, agravadas pela impermeabilização do solo.

De acordo com Tucci (1997), o desenvolvimento urbano altera a cobertura vegetal, provocando assim, vários efeitos que alteram os componentes do ciclo hidrológico

natural. Com a urbanização, a cobertura da bacia é alterada para pavimentos impermeáveis e são introduzidos condutos para escoamento pluvial, gerando alterações em seu ciclo.

A urbanização desordenada também pode promover mudanças nos regimes de chuvas, na concentração da poluição do ar, do solo, da água e sonora, na impermeabilização excessiva, na elevação da temperatura e, depredação de áreas externas às cidades para atender as necessidades impostas à ampliação e manutenção da malha urbana.

Além desses problemas diretamente relacionados às variáveis do ciclo hidrológico, a urbanização também carrega problemas como a geração de resíduos sólidos e esgoto, que são fatores que podem comprometer a quantidade e a qualidade da água (PERONI, 2018). Como algumas cidades possuem a ligação de esgoto e escoamento de águas pluviais interligados, além das enchentes outros problemas podem ocorrer devido ao mau funcionamento do sistema, como a proliferação de doenças e o aparecimento de maus odores em regiões inundadas.

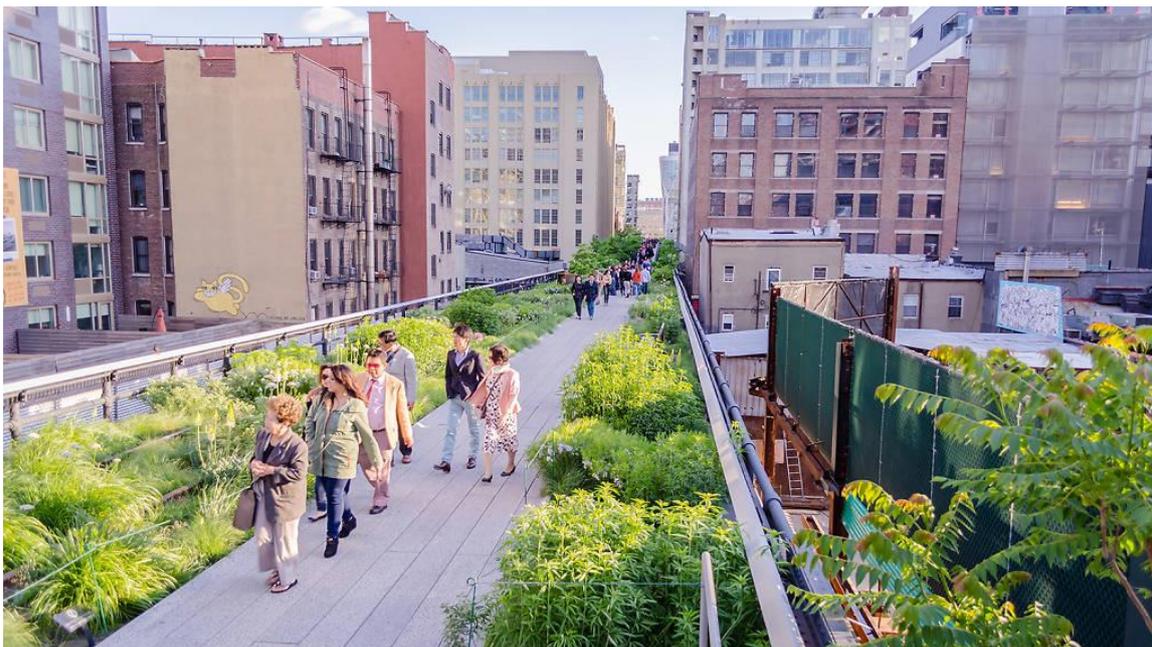
O processo brasileiro de urbanização revela uma crescente associação com o da pobreza, sobretudo nas grandes cidades (SANTOS, 1993). O nível de urbanização, o desenho urbano, as manifestações das carências da população são realidades a serem analisadas à luz dos subprocessos econômicos, políticos e socioculturais, assim como das realizações técnicas e das modalidades de uso do território nos diversos momentos históricos.

Outro agravante que ocorre devido a urbanização, é a má utilização de espaços, construções que acabaram desativadas por algum motivo, como indústrias ou fábricas, e até mesmo locais que vieram a falência, gerando espaços considerados “inutilizados”.

Mas a partir disso, um outro processo que é válido citar é o de reurbanização, que consiste em trazer reestruturações ou replanejamento para este tipo de situações encontradas, utilizando técnicas de flexibilização de projeto para o aproveitamento de estruturas já existentes ou da demolição total e reconstrução do zero. Um exemplo de reurbanização é a reforma de uma das linhas ferroviárias que passavam em Manhattan - New York (Timeout, 2019), que hoje virou o parque High Line (Figura 1.1).

O parque High Line é um parque público linear localizado numa seção elevada da linha Est Side, possuindo um caminho para passeio, mobiliário urbano e diversas vegetações que melhoram as condições de drenagem e integram o ambiente com o meio urbano local.

Figura 1.1 – Parque High Line em Manhattan - New York



Fonte: TIMEOUT, 2019.

Áreas de reurbanização são comuns nos dias de hoje, devido a setores que estão se extinguindo, empresas falindo ou locais que não possuem mais a mesma utilidade que possuíam antigamente. E assim, para que seja possível um reaproveitamento dessas áreas, sem deixar vazios urbanos ou construções abandonadas e/ou sem utilizações atuais dentro da cidade, é possível utilizar técnicas de reurbanização desses locais.

A criação de novas indústrias, reforma de edificações ou até mesmo reestruturação de projetos de áreas de convívio social são formas de reurbanização comumente utilizadas para o reaproveitamento de espaços desativados ou que tem previsão de desativação.

2.2 Sistemas de Drenagem Urbana Tradicional

Como dito anteriormente, devido ao desenvolvimento urbano, ocorreu a impermeabilização do solo, fazendo com que parte da água não consiga infiltrar diretamente na terra, aumentando o escoamento superficial, onde esse volume que antes era absorvido, hoje precisa de ajuda para chegar até um destino final.

Basicamente, um sistema convencional se resume na rápida remoção das águas pluviais em excesso no meio urbano, evitando a ocorrência de inundações urbanas, acúmulo de água e o escoamento excessivo em termos de volume e velocidade. Esse

sistema pode ser dividido em outros dois subsistemas: Microdrenagem e a Macrodrenagem, que são diferenciados entre si.

2.2.1 Microdrenagem

Segundo Tucci e Bertoni (2003), a microdrenagem é definida pelo sistema de condutos de águas pluviais em nível de loteamento. Os principais métodos utilizados para seu dimensionamento são: redes de galerias, poços de visita, bocas-de-lobo (Figura 2.1), tubos de ligação, sarjetas, meios-fios, condutos forçados, estações de bombeamento, dentre outros, que são descritos a seguir:

- **Redes de Galerias:** São canalizações públicas com a função de conduzir a água pluvial originária de bocas-de-lobo e de ligações particulares;
- **Poço de Visita:** É um dispositivo localizado em pontos estratégicos das redes de galerias, permitindo a mudança de direção, declividade e diâmetro, e auxiliando também para a facilitação de inspeção e limpeza das canalizações;
- **Boca-de-lobo:** É um dispositivo responsável pela captação de água pluvial, localizado em pontos estratégicos nas sarjetas;
- **Tubo de ligação:** São canalizações que conduzem a água pluvial captada pela boca-de-lobo para galerias ou poços de visita;
- **Sarjetas:** São faixas da via pública, localizadas em paralelo e ao lado do meio-fio, cuja função é receptor a água pluvial das ruas;
- **Meio-Fio:** É um elemento de concreto ou pedra, implantado entre o passeio e a via pública, em paralelo com o eixo da rua e com sua face superior no mesmo nível do passeio;
- **Condutos Forçados:** São as canalizações destinadas a condução da água pluvial coletada, sem que a capacidade da seção transversal dos condutos seja completamente preenchida;
- **Estações de bombeamento:** São estruturas utilizadas quando há dificuldades no escoamento por gravidade. São responsáveis por transportar a água de um canal de drenagem para outro local mais elevado.

Figura 2.1 – Boca-de-Lobo e Poço de Visita

Fonte: Cunha, 2018.

As técnicas tradicionais são usadas até os dias de hoje, mas muitas vezes acabam se tornando obsoletas no quesito de sustentabilidade e integração com o meio urbano, além de, algumas vezes, não conseguirem conter o problema de drenagem de diferentes locais.

2.2.2 Macrodrenagem

Segundo Martins (2015), a macrodrenagem é feita essencialmente pela rede de drenagem natural pré-existente, composta pelos cursos d'água naturais ou artificiais, presentes em vales e talvegues. Suas estruturas são responsáveis pela condução final das águas pluviais da microdrenagem. Ainda de acordo com o mesmo autor, as obras de macrodrenagem se constituem na retificação e ampliação das seções de canais naturais, construção de canais artificiais ou galerias de grandes dimensões, bem como estruturas de controle, dissipadores de energia, proteção contra erosão e assoreamento, amortecimento de pico, travessias e estação de bombeamento.

2.3 Sistemas de Drenagem Mais Sustentáveis

Com as diversas dificuldades que começaram a aparecer com o crescimento das cidades, principalmente pelo problema da impermeabilização do solo, discussões sobre meios mais sustentáveis de drenagem começaram a surgir.

Os sistemas de drenagem mais sustentáveis são aqueles que se adaptam melhor ao meio urbano, trazendo harmonia das cidades com o meio ambiente, além de solucionar o problema principal que é a redução da vazão de pico da água de chuva.

Diversas técnicas começaram a aparecer, trazendo soluções para integrar o meio hídrico, ecológico e urbano, melhorando a viabilidade e a estética dos municípios,

juntamente com suas utilizações multifuncionais, onde podem ser inseridas em locais já existentes em um meio já urbanizado, planejadas para um meio a ser urbanizado ou rearranjadas em um ambiente em reurbanização.

Uma das principais características destes sistemas de drenagem são as diversas alternativas facilitadoras, trazendo maior sustentabilidade ao meio urbano e aspectos agradáveis para a população que irá usufruir delas.

2.4 Técnicas Compensatórias de Drenagem Urbana

Desde meados da década de 1970 estão sendo desenvolvidas Técnicas Compensatórias (TC) de drenagem em diferentes concepções quanto ao porte e a localização das estruturas. O objetivo das TC é de compensar ou minimizar os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico urbano, trazendo benefícios à qualidade de vida da população e a preservação do meio ambiente. Essas TC são definidas basicamente por seu caráter estrutural ou não estrutural (BAPTISTA *et al*, 2015).

Segundo Tucci (1997), as medidas não-estruturais não são projetadas para dar uma proteção completa, sendo essa proteção fisicamente e economicamente inviável na maioria das situações. As medidas não-estruturais, em conjunto visam minimizar significativamente os prejuízos com um custo menor. As principais medidas não-estruturais são as seguintes:

- Instalação de vedação temporária ou permanente nas aberturas das estruturas;
- Elevação de estruturas existentes;
- Construção de novas estruturas sob pilotis;
- Construção de pequenas paredes ou diques circulando a estrutura;
- Relocação ou proteção de artigos que possam ser danificados dentro de uma estrutura existente;
- Uso de material resistente à água;
- Regulamentação da ocupação da área de inundação por cercamento;
- Regulamentação do loteamento e código de construção;
- Seguro de inundações;
- Previsão de cheia e plano de evacuação;
- Incentivos fiscais para uso prudente da área de inundação;
- Política de desenvolvimento adequada ao município, evitando prejuízos da inundação.

As medidas estruturais são obras de engenharia para reduzir ou mitigar o risco de enchentes. Essas ações estruturais são referentes à dragagem, desassoreamento e correção de margens buscando a melhoria do fluxo, sendo executadas exclusivamente nos trechos de cursos d'água que apresentam problemas iminentes (POMPÊO, 2000).

Segundo Baptista *et al* (2015), as técnicas compensatórias estruturais se dividem em três: centralizadas, lineares e pontuais.

A partir do encontro das TC na literatura, foi possível estudá-las e compreender melhor seu funcionamento. Assim, além das descrições são apresentados os pontos positivos e negativos de cada TC apontados na bibliografia. Alguns desenhos esquemáticos de TC também podem ser encontrados no Anexo 1.

2.4.1 Técnicas de Controle Centralizado

As técnicas de controle centralizado são basicamente, as bacias de retenção e de detenção, associadas com áreas de drenagem de maior porte, com estruturas que permitem diversas configurações, com a associação ou não do armazenamento e infiltração, e visando a minimização de enchentes no meio urbano, redução do volume de escoamento superficial e a redução da poluição de origem pluvial (BAPTISTA *et al*, 2015).

2.4.1.1 Bacias de retenção

São estruturas utilizadas para armazenar o volume gerado na bacia, possibilitando também a melhoria da qualidade da água. Normalmente possuem alta capacidade de retenção, bem maior que o volume permanente no lago, além de proporcionar valorização paisagística e servir de habitat natural para alguns seres vivos. Compostas por descargas de fundo fechadas durante eventos de chuvas, e que, após a decantação, podem ser abertas para drenar a água armazenada para uma estação de tratamento ou para o meio natural, devendo ser removidos os sedimentos depositados no fundo da bacia.

- **Pontos Positivos:** redução da vazão de pico; redução do volume de escoamento; capacidade de infiltração do solo; recarga de água subterrânea; melhoria da qualidade da água; capacidade de infiltração do solo; possibilidade de integração com o sistema de drenagem existente; possibilidade de composição paisagística; possibilidade de usos múltiplos; possibilidade de implantação em áreas de

reurbanização; dispersão dos lançamentos em diferentes pontes de corpos receptores;

- **Pontos Negativos:** profundidade do lençol freático; área superficial ocupada; ausência de exutório; fragilidade do solo por ação da água; interferência com instalações subterrâneas; carga poluidora de afluentes à TC; Taxa de sedimentos afluentes à TC; RS afluentes à TC; risco sanitário associado a operação e manutenção; risco sedimentológico associado a operação e manutenção; contaminação de aquífero; proliferação de vetores; disponibilidade de áreas públicas; aceitação pela população; tipologia de uso e ocupação do solo; custo de implantação; custo de operação e manutenção; possibilidade de fraudes ou usos indevidos;

2.4.1.2 Bacias de detenção

São estruturas para deter parte do volume escoado na bacia a montante, permitindo amortecer a vazão máxima escoada em decorrência da chuva na bacia. Seu objetivo é impedir a inundação de áreas situadas a jusante. Também compostas com descargas de fundo, porém, permanecem abertas.

Essas técnicas são únicas no controle de vazões de pico com tempos de retorno grande, de até 100 anos, característica essencial para minimizar os impactos da urbanização sobre as vazões e velocidades do escoamento superficial (BAPTISTA *et al*, 2015). Segundo o autor, essas estruturas também reforçam uma melhor integração com o projeto urbanístico, a partir de usos múltiplos do espaço reservado.

A Figura 2.2 é um exemplo mais comum de bacias de detenção que temos na região de Araraquara-SP, onde são implantadas em espaços abertos com vegetação local, normalmente afastadas da cidade, próximas a regiões de condomínios.

Figura 2.2– Bacia de detenção em Araraquara - SP



Fonte: PERONI, 2018.

- **Pontos Positivos:** redução da vazão de pico; redução do volume de escoamento; capacidade de infiltração do solo; possibilidade de integração com o sistema de drenagem existente; possibilidade de composição paisagística; possibilidade de usos múltiplos; possibilidade de implantação em áreas de reurbanização; dispersão dos lançamentos em diferentes pontes de corpos receptores;
- **Pontos Negativos:** profundidade do lençol freático; área superficial ocupada; fragilidade do solo por ação da água; ausência de exutório; interferência com instalações subterrâneas; risco sanitário associado a operação e manutenção; risco sedimentológico associado a operação e manutenção; contaminação de aquífero; proliferação de vetores; disponibilidade de áreas públicas; aceitação pela população; custo de implantação; custo de operação e manutenção;

2.4.1.3 Jardins de Chuva

A técnica de Biorretenção ou Jardins de Chuva é caracterizada por ser uma depressão rasa na paisagem não projetada, utilizando o solo nativo ou uma mistura de solo e plantas, com o objetivo de capturar as águas pluviais de pequenas áreas adjacentes contribuintes (Easton Washington, 2013).

Essa TC auxilia na redução de contaminantes mediante a filtração da água escoada através do solo e da vegetação. Se possível, a água é infiltrada no terreno e, em caso

contrário, é possível instalar um sistema de drenagem subsuperficial para evacuar controladamente a água captada. A vegetação também contribue para seu esvaziamento mediante a transpiração (MADRID, 2018). Na Figura 2.3, é mostrado um exemplo de jardim de chuva.

Figura 2.3 – Jardim de Chuva



Fonte: Casa Abril, 2020.

- **Pontos Positivos:** redução da vazão de pico; redução do volume de escoamento; recarga de água subterrânea; melhoria da qualidade da água; capacidade de infiltração do solo; possibilidade de integração com o sistema de drenagem existente; possibilidade de composição paisagística; possibilidade de usos múltiplos; possibilidade de implantação em áreas de reurbanização; dispersão dos lançamentos em diferentes pontes de corpos receptores;
- **Pontos Negativos:** profundidade do lençol freático; área superficial ocupada; fragilidade do solo por ação da água; interferência com instalações subterrâneas; carga poluidora de afluentes à TC; Taxa de sedimentos afluentes à TC; RS afluentes à TC; risco sanitário associado a operação e manutenção; risco sedimentológico associado a operação e manutenção; contaminação de aquífero; proliferação de vetores; disponibilidade de áreas públicas; aceitação pela população; tipologia de uso e ocupação do solo; custo de implantação; custo de operação e manutenção; possibilidade de fraudes ou usos indevidos;

2.4.2 Técnicas de Controle Lineares

As técnicas de controle lineares são estruturas que possuem dimensão longitudinal com maior relevância do que a sua largura e comprimento, favorecendo assim, a possibilidade de sua associação com o sistema viário, ou até mesmo, substituindo o sistema convencional de drenagem. Essa técnica é referente a estruturas como trincheiras, valas, valetas e pavimentos permeáveis.

2.4.2.1 Trincheiras de infiltração

São estruturas semelhantes as trincheiras de retenção, mas, neste caso, sua evacuação é realizada pela descarga, a jusante, no meio natural ou no sistema convencional de drenagem, e tem como finalidade o rearranjo temporal de vazões. Para sua estrutura, é recomendado um revestimento permeável para garantir a estanqueidade da estrutura (BAPTISTA *et al*, 2015).

Segundo Baptista *et al* (2015), a implantação de trincheiras acarreta em diversos benefícios como a redução das dimensões do sistema convencional de drenagem, ganhos ambientais devido a recarga do lençol freático e redução da carga de poluição de origem pluvial. É válido destacar sua facilidade de implantação, mesmo que com a necessidade de manutenção periódica, restrições de implantação em áreas com acentuada declividade e risco de poluição do lençol freático, para as trincheiras de infiltração.

Na Figura 2.4 é mostrado uma trincheira de infiltração localizada no campus da UFSCar em São Carlos.

Figura 2.4 – Trincheira de infiltração no campus da UFSCar



Fonte: Lucas, 2011.

- **Pontos Positivos:** redução da vazão de pico; redução do volume de escoamento; recarga de água subterrânea; melhoria da qualidade da água; capacidade de infiltração do solo; declividade do terreno; flexibilidade de projeto; possibilidade de integração com o sistema de drenagem existente; possibilidade de implantação em áreas privadas; possibilidade de composição paisagística; possibilidade de usos múltiplos; uso de áreas de circulação e estacionamentos de veículos; possibilidade de implantação em áreas de reurbanização; dispersão dos lançamentos em diferentes pontes de corpos receptores;
- **Pontos Negativos:** profundidade do lençol freático; área superficial ocupada; fragilidade do solo por ação da água; esforços e vibrações externas; tipos de circulação de veículos; interferência com instalações subterrâneas; carga poluidora de afluentes à TC; Taxa de sedimentos afluentes à TC; RS afluentes à TC; risco sanitário associado a operação e manutenção; risco sedimentológico associado a operação e manutenção; contaminação de aquífero; proliferação de vetores; disponibilidade de áreas públicas; aceitação pela população; tipologia de uso e ocupação do solo; custo de implantação; custo de operação e manutenção; possibilidade de fraudes ou usos indevidos;

2.4.2.2 Valas e Valetas de Infiltração

São estruturas basicamente construídas por depressões escavadas no solo, que visam sua função principal em reduzir os picos de vazão escoados através de infiltração e/ou da retenção, com o rearranjo temporal das vazões. O funcionamento destas estruturas é composto pela entrada direta das águas pluviais por meio do escoamento superficial e sua evacuação ocorre por infiltração no sistema de drenagem existente ou no corpo receptor.

De acordo com Baptista *et al* (2015), a funcionalidade destas estruturas é parecida com a das trincheiras, podendo associa-las ao sistema viário, e é comum a implantação de canaletas no fundo destas estruturas para auxiliar no escoamento dos volumes armazenados. As valetas e valas possuem dimensões longitudinais maiores que as dimensões transversais, e os planos de infiltração, possuem dimensões longitudinais e transversais semelhantes, e profundidades reduzidas.

Assim como nas trincheiras, a manutenção periódica e restrições de implantação em áreas com acentuadas declividades são fatores que precisam de cuidados na hora da escolha da utilização dessa técnica, podendo acarretar em implicações sanitárias e de erosão (BAPTSTA *et al*, 2015). A Figura 2.5 representa um sistema de filtro-vala-trincheira de infiltração existente no campus da UFSCar em São Carlos.

Figura 2.5– Sistema de Filtro-Vala-Trincheira de infiltração no campus da UFSCar



Fonte: Guitierrez, 2010.

- **Pontos Positivos:** redução da vazão de pico; redução do volume de escoamento; recarga de água subterrânea; melhoria da qualidade da água; capacidade de infiltração do solo; declividade do terreno; flexibilidade de projeto; possibilidade de integração com o sistema de drenagem existente; possibilidade de implantação em áreas privadas; possibilidade de composição paisagística; possibilidade de usos múltiplos; uso de áreas de circulação e estacionamentos de veículos; possibilidade de implantação em áreas de reurbanização; dispersão dos lançamentos em diferentes pontes de corpos receptores;
- **Pontos Negativos:** profundidade do lençol freático; área superficial ocupada; fragilidade do solo por ação da água; esforços e vibrações externas; tipos de circulação de veículos; interferência com instalações subterrâneas; carga poluidora de afluentes à TC; Taxa de sedimentos afluentes à TC; RS afluentes à TC; risco sanitário associado a operação e manutenção; risco sedimentológico associado a operação e manutenção; contaminação de aquífero; proliferação de vetores; disponibilidade de áreas públicas; aceitação pela população; tipologia de uso e ocupação do solo; custo de implantação; custo de operação e manutenção; possibilidade de fraudes ou usos indevidos;

2.4.2.3 Pavimentos Permeáveis

São estruturas que podem ser utilizadas em passeios, estacionamentos, quadras esportivas e ruas de pouco tráfego. Quando esses pavimentos são constituídos para reter parte da drenagem, é necessário que sua base esteja, pelo menos, 1,2 metros acima do lençol freático do período chuvoso, e seu sistema deve prever o esgotamento do volume existente na camada do solo num período de 6 a 12 horas (TUCCI, 1997).

Ainda segundo o autor, as vantagens deste tipo de controle são: redução do escoamento superficial; redução dos condutos da drenagem pluvial; redução de custos do sistema de drenagem pluvial e da lâmina de água de estacionamentos e passeios. As desvantagens são: a manutenção do sistema para evitar que fique colmatado com o tempo; maior custo direto de construção e a contaminação dos aquíferos.

Os pavimentos impermeáveis, de uma maneira geral, são construídos em concreto ou asfalto; pavimento semipermeável, em paralelepípedos, calçamento poliédrico ou blocos de concreto; e pavimentos permeáveis, em asfalto poroso e blocos de concreto

vazado. Já o corpo do pavimento é semelhante entre os tipos de pavimentos, sendo composto por britas (BAPTISTA *et al*, 2015).

Esses tipos e pavimentos existem de diversos formatos, e que podem ser adequados para suprir as necessidades do local onde será inserido. Um exemplo de pavimento permeável é mostrado na Figura 2.6.

Figura 2.6 – Pavimento Permeável



Fonte: Resin Fantasy Floor, 2016.

- **Pontos Positivos:** redução da vazão de pico; redução do volume de escoamento; recarga de água subterrânea; melhoria da qualidade da água; capacidade de infiltração do solo; declividade do terreno; flexibilidade de projeto; possibilidade de integração com o sistema de drenagem existente; possibilidade de implantação em áreas privadas; possibilidade de composição paisagística; possibilidade de usos múltiplos; uso de áreas de circulação e estacionamentos de veículos; possibilidade de implantação em áreas de reurbanização; dispersão dos lançamentos em diferentes pontes de corpos receptores;
- **Pontos Negativos:** profundidade do lençol freático; área superficial ocupada; fragilidade do solo por ação da água; esforços e vibrações externas; tipos de circulação de veículos; interferência com instalações subterrâneas; carga poluidora de afluentes à TC; Taxa de sedimentos afluentes à TC; RS afluentes à TC; risco sanitário associado a operação e manutenção; risco sedimentológico associado a operação e manutenção; contaminação de aquífero; proliferação de vetores; disponibilidade de áreas públicas; aceitação pela população; tipologia de uso e ocupação do solo; custo de implantação; custo de operação e manutenção; possibilidade de fraudes ou usos indevidos;

2.4.2.4 Faixa Gramada

De acordo com o Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal (2018), as faixas gramadas ou filtros gramados, são faixas de solo vegetadas concebidas para desacelerar e infiltrar parcialmente escoamentos laminares provenientes das superfícies impermeáveis urbanas.

Ainda de acordo com o manual, as faixas menores são indicadas para estacionamentos e devem ser localizadas a montante do sistema público de drenagem. Possuem a propriedade de diminuir significativamente a velocidade do escoamento superficial, mas sua eficiência na redução dos picos de vazão é geralmente baixa. Sua principal função é a remoção de partículas poluentes como sedimentos finos, matéria orgânica e traços de metais. Em pequena escala, as faixas gramadas são tipicamente utilizadas em lotes e loteamentos, no entorno de superfícies impermeabilizadas ou associadas a outras TC como, por exemplo, pavimentos permeáveis.

Em maior escala, as faixas gramadas ou arborizadas encaixam-se muito bem arquitetonicamente nas margens dos rios da macrodrenagem, assim, além de se destinarem a amortecer cheias frequentes, podem assumir o papel adicional de parque linear.

- **Pontos Positivos:** redução da vazão de pico; redução do volume de escoamento; recarga de água subterrânea; melhoria da qualidade da água; capacidade de infiltração do solo; declividade do terreno; flexibilidade de projeto; possibilidade de integração com o sistema de drenagem existente; possibilidade de implantação em áreas privadas; possibilidade de composição paisagística; possibilidade de usos múltiplos; uso de áreas de circulação e estacionamentos de veículos; possibilidade de implantação em áreas de reurbanização; dispersão dos lançamentos em diferentes pontes de corpos receptores;
- **Pontos Negativos:** profundidade do lençol freático; área superficial ocupada; fragilidade do solo por ação da água; esforços e vibrações externas; tipos de circulação de veículos; interferência com instalações subterrâneas; carga poluidora de afluentes à TC; Taxa de sedimentos afluentes à TC; RS afluentes à TC; risco sanitário associado a operação e manutenção; risco sedimentológico associado a operação e manutenção; contaminação de aquífero; proliferação de vetores; disponibilidade de áreas públicas; aceitação pela população; tipologia

de uso e ocupação do solo; custo de implantação; custo de operação e manutenção; possibilidade de fraudes ou usos indevidos;

2.4.3 Técnicas de Controle Localizadas ou Pontuais

Segundo Baptista *et al* (2015), as técnicas localizadas ou pontuais necessitam de espaços superficiais e reduzidos para drenarem áreas de pequeno e médio porte. Elas são classificadas por poços de infiltração, telhados de cobertura vegetal e reservatórios individuais, que, além do controle de escoamento, possibilitam a utilização das águas pluviais.

2.4.3.1 Poços de Infiltração

Essa estrutura consiste em um poço escavado no solo, revestido por tubos de concreto perfurados ou tijolos assentados em crivo, envoltos por uma manta geotêxtil fazendo a interface solo/tubo, e fundo revestido por uma camada de agregados graúdos, também envolta por geotêxtil, de forma a permitir a infiltração, para o solo, do volume de água pluvial escoado para o seu interior (REIS *et al*, 2008).

Nestes poços, a entrada de água ocorre diretamente pelo escoamento superficial ou por meio de uma rede de drenagem. Normalmente sua capacidade de armazenamento é pequena, podendo assim, ser utilizado como unidade complementar com outras obras de armazenamento (BAPTISTA *et al*, 2015).

A saída de águas pode ocorrer por infiltração no solo ou injeção no lençol freático, sendo a última desaconselhada, pelos riscos de contaminação. Assim como as demais técnicas de infiltração, os poços de infiltração permitem a redução de vazões de pico e volumes de água para o sistema convencional de drenagem (PERONI, 2018).

Na Figura 2.7 é possível observar um poço de infiltração localizado no Campus da UFSCar em São Carlos.

Figura 2.7– Poço de Infiltração no Campus da UFSCar



Fonte: Barbassa *et al*, 2014.

- **Pontos Positivos:** redução da vazão de pico; redução do volume de escoamento; recarga de água subterrânea; melhoria da qualidade da água; capacidade de infiltração do solo; declividade do terreno; flexibilidade de projeto; possibilidade de integração com o sistema de drenagem existente; possibilidade de implantação em áreas privadas; possibilidade de composição paisagística; possibilidade de usos múltiplos; uso de áreas de circulação e estacionamentos de veículos; possibilidade de implantação em áreas de reurbanização; dispersão dos lançamentos em diferentes partes de corpos receptores;
- **Pontos Negativos:** profundidade do lençol freático; área superficial ocupada; fragilidade do solo por ação da água; esforços e vibrações externas; tipos de circulação de veículos; interferência com instalações subterrâneas; carga poluidora de afluentes à TC; Taxa de sedimentos afluentes à TC; RS afluentes à TC; risco sanitário associado a operação e manutenção; risco sedimentológico associado a operação e manutenção; contaminação de aquífero; proliferação de vetores; disponibilidade de áreas públicas; aceitação pela população; tipologia de uso e ocupação do solo; custo de implantação; custo de operação e manutenção; possibilidade de fraudes ou usos indevidos;

2.4.3.2 Telhados de Cobertura Vegetal

São implantados em tetos de edificações, que além de apresentar um aporte paisagístico, tem o adicional na proteção térmica dos mesmos. Esses telhados podem ser planos ou com inclinação máxima de 5% (BAPTISTA *et al*, 2015). Seu funcionamento consiste em armazenar temporariamente a água produzida pela chuva, que será liberada lentamente ao sistema de drenagem ou voltará para atmosfera pela evapotranspiração.

Os telhados de cobertura vegetal possuem um esquema simples de implantação, como pode ser visto na Figura 2.8.

Figura 2.8 – Telhado de Cobertura Vegetal



Fonte: ICF Construtora, 2016.

- **Pontos Positivos:** redução da vazão de pico; redução do volume de escoamento; recarga de água subterrânea; melhoria da qualidade da água; capacidade de infiltração do solo; declividade do terreno; flexibilidade de projeto; possibilidade de integração com o sistema de drenagem existente; possibilidade de implantação em áreas privadas; possibilidade de composição paisagística; possibilidade de usos múltiplos; uso de áreas de circulação e estacionamentos de veículos; possibilidade de implantação em áreas de reurbanização; dispersão dos lançamentos em diferentes pontos de corpos receptores;
- **Pontos Negativos:** área superficial ocupada; fragilidade do solo por ação da água; esforços e vibrações externas; tipos de circulação de veículos;

interferência com instalações subterrâneas; carga poluidora de afluentes à TC; Taxa de sedimentos afluentes à TC; RS afluentes à TC; risco sanitário associado a operação e manutenção; risco sedimentológico associado a operação e manutenção; contaminação de aquífero; proliferação de vetores; disponibilidade de áreas públicas; aceitação pela população; tipologia de uso e ocupação do solo; custo de implantação; custo de operação e manutenção; possibilidade de fraudes ou usos indevidos;

2.4.3.3 Reservatórios Individuais

Essa técnica tem como objetivo a detenção para minimizar o impacto hidrológico da redução da capacidade de armazenamento natural da bacia hidrográfica, com a possibilidade também, da utilização das águas pluviais para usos domésticos, como irrigação, instalações sanitárias, entre outros, não sendo recomendada sua destinação ao consumo humano, por questões sanitárias e de saúde pública (TUCCI, 1997).

Segundo Baptista *et al* (2015), seu abastecimento pode ser através da coleta de águas dos telhados, e sua evacuação, pode ocorrer por meio da infiltração ou descarga na rede pluvial. Necessita de manutenção e limpeza regular, pelo menos uma vez ao ano.

- **Pontos Positivos:** redução da vazão de pico; redução do volume de escoamento; recarga de água subterrânea; melhoria da qualidade da água; capacidade de infiltração do solo; declividade do terreno; flexibilidade de projeto; possibilidade de integração com o sistema de drenagem existente; possibilidade de implantação em áreas privadas; possibilidade de composição paisagística; possibilidade de usos múltiplos; uso de áreas de circulação e estacionamentos de veículos; possibilidade de implantação em áreas de reurbanização; dispersão dos lançamentos em diferentes pontes de corpos receptores;
- **Pontos Negativos:** profundidade do lençol freático; área superficial ocupada; fragilidade do solo por ação da água; esforços e vibrações externas; tipos de circulação de veículos; interferência com instalações subterrâneas; carga poluidora de afluentes à TC; Taxa de sedimentos afluentes à TC; RS afluentes à TC; risco sanitário associado a operação e manutenção; risco sedimentológico associado a operação e manutenção; contaminação de aquífero; proliferação de vetores; disponibilidade de áreas públicas; aceitação pela população; tipologia

de uso e ocupação do solo; custo de implantação; custo de operação e manutenção; possibilidade de fraudes ou usos indevidos;

3 Metodologia

O presente trabalho foi dividido em cinco etapas que podem ser observadas e descritas a partir da Figura 3.1 em um esquema simplificado. A primeira, por meio da leitura da bibliografia de diversos autores sobre o tema, para o encontro das TC.

A segunda etapa foi encontrar na literatura as variáveis para definição da possibilidade de implantação de TC em área já urbanizada e a sugestão de novas variáveis.

A terceira etapa foi a avaliação dessas variáveis encontradas e definidas em um meio já urbanizado.

A quarta etapa foi referente a avaliação da aplicação destas variáveis definidas para um meio já urbanizado, para analisar as possibilidades de implantação de TC em diferentes situações, mostradas como exemplo dentro de uma microbacia no município de Araraquara. E também, o pré-dimensionamento de TC para a implantação em locais já urbanizados.

E por fim, a quinta etapa foi a sistematização e análise final dos resultados obtidos com o estudo nos locais de exemplo da microbacia.

Figura 3.1 – Síntese da Pesquisa

OBJETIVOS	ATIVIDADES	RESULTADOS
<p>OBJETIVO GERAL</p> <p>Avaliar os limites e potencialidades da utilização de TC no manejo de águas pluviais em áreas já urbanizadas.</p>	<p>1ª Etapa: Identificação das TC na bibliografia revisada</p>	<p>Listagem das TC a serem aplicadas em meio já urbanizado</p>
	<p>2ª Etapa: Identificação e sistematização de variáveis para escolha de TC</p>	<p>Listagem de variáveis identificadas para a escolha de TC</p>
	<p>3ª Etapa: Proposição e sistematização de variáveis para escolha de TC</p>	<p>Listagem das variáveis propostas além das encontradas na literatura</p> <p>Listagem das variáveis sistematizadas para aplicação em</p>
	<p>4ª Etapa: Aplicação das variáveis em uma microbacia urbana em Araraquara/SP</p>	<p>Cenários caracterizados estudados nas áreas da microbacia</p> <p>Identificação de aspectos favoráveis e desfavoráveis para escolha de TC</p> <p>Pré-dimensionamento de algumas TC</p>
	<p>5ª Etapa: Sistematização e Análise final dos resultados obtidos</p>	<p>Discussão e conclusões sobre os limites e potencialidades do uso de TC em meio já urbanizado</p>

Fonte: Autora, 2021.

3.1 Identificação das TC na bibliografia revisada

Com a leitura da bibliografia revisada, foi possível encontrar as TC, e assim, conseguir analisá-las mais detalhadamente uma por uma, para poder compreender seu funcionamento, suas características e suas propriedades.

A partir desta avaliação, foi possível encontrar os pontos pertinentes sobre os principais aspectos a serem observados em uma TC, como os relacionados com suas principais finalidades, quantitativos, qualitativos, sociais, econômicos e operacionais.

3.2 Identificação e Sistematização de Variáveis para Escolha de TC

Após a leitura da bibliografia, foi possível encontrar características fundamentais que precisam de observação antes da implantação de TC, seja em um meio em urbanização, já urbanizado ou em reurbanização.

A partir da identificação dos aspectos que precisam ser avaliados, foi possível encontrar as principais necessidades a serem observadas antes da construção de TC, assim, sendo possível criar uma listagem facilitadora para ajudar na escolha de TC mais apropriada para cada tipo de situação.

3.3 Proposição e sintetização de variáveis para escolha de TC

Além das variáveis encontradas na bibliografia, também foi necessário adotar outras variáveis que devem ser observadas para a implantação de TC em um meio já urbanizado, criando então, uma listagem de variáveis propostas, além das anteriormente identificadas.

Essas variáveis foram definidas a partir da observação do meio urbano como um todo, analisando critérios fundamentais que possam interferir na implantação de TC por ser uma área já ocupada pela população, possuindo edificações, instalações subterrâneas, fundações, sistema de drenagem, dentre outras coisas.

3.4 Aplicação das variáveis em uma microbacia urbana

Após a definição das variáveis para um meio urbanizado, foram estudadas algumas áreas no município de Araraquara – SP, dentro da microbacia do Córrego da Servidão, para exemplificar a aplicação das variáveis em uma possível implantação de TC.

Para isso, foram escolhidos vários tipos de situações dentro do perímetro urbano da cidade e da microbacia, aplicando as variáveis e, assim, indicando condições que devem ser observadas para diferentes TC, facilitando sua escolha.

Para contribuir com a análise por meio das variáveis para a aplicação de TC nas situações estudadas, foram também realizados pré-dimensionamentos de algumas TC, a fim de se ter uma ordem de grandeza de suas dimensões e de seu desempenho numa possível inserção em áreas já urbanizadas.

3.5 Sistematização e análise final dos resultados obtidos

Após a realização do estudo das variáveis para um meio já urbanizado, o desenvolvimento de alguns cálculos de pré-dimensionamento de TC e a análise geral de seu desempenho, foi possível fazer uma avaliação final discutindo os resultados obtidos, ponderando as vantagens e desvantagens para a implantação de TC em um meio já urbanizado. Foram também apresentadas algumas sugestões de possíveis implantações.

4 Resultados e Discussão

4.1 Definição de Variáveis

Para que fosse possível definir as variáveis, foi necessária a leitura de diversos manuais, tanto de cidades brasileiras, como de outros países, e também, alguns livros de autores especialistas no assunto.

A partir da análise das TC encontradas na bibliografia foi possível identificar os aspectos importantes a serem destacados para a implantação de TC, assim, sendo possível separar em 4 aspectos primordiais: Aspectos Relacionados com a(s) Finalidade(s) de TC; Aspectos Quantitativos; Aspectos Qualitativos; Aspectos Sociais, Econômicos e Operacionais.

Além dos aspectos encontrados, foi necessária a proposição de algumas variáveis adicionais que poderiam ser consideradas para a implantação de TC em um meio já urbanizado e que não haviam sido indicadas na literatura.

A maioria das variáveis foram encontradas com os mesmos nomes ou nomes similares na bibliografia, sendo citadas de acordo com o autor identificado. As que são similares possuem somente nomes diferentes na bibliografia, mas relacionados com a explicação sugerida a cada uma delas.

4.1.1 Aspectos Relacionados com a(s) Finalidade(s) das TC

Os aspectos relacionados com as finalidades das TC indicam o que se procura obter com a instalação das mesmas. Na maioria das vezes o objetivo é auxiliar na diminuição ou na mitigação de problemas relacionados a enchentes e alagamentos, sobretudo a redução da vazão de pico. Mas também pode-se ter outros objetivos: reduzir o volume do escoamento superficial; realizar a recarga de água subterrânea por meio de infiltração; dispersar os lançamentos em diferentes pontos do corpo receptor; melhorar a qualidade da água escoada; aproveitamento direto da água pluvial. As principais variáveis para serem analisadas para a implantação de uma TC são apresentadas no Quadro 4.1.

- **Redução da Vazão de Pico:** Análise da colaboração de TC na redução de vazão de pico devido a infiltração da água pluvial.
- **Redução do Volume de Escoamento:** Análise da eficiência na redução do volume de escoamento quando é implantada uma TC em um local determinado.

- **Recarga de Água Subterrânea:** “A recarga de águas subterrâneas é uma vantagem que reequilibra o ciclo hidrológico urbano, mas por outro lado representa um risco de contaminação das águas subterrâneas” (Curitiba, 2002).
- **Melhoria da Qualidade da Água:** “As TC normalmente não toleram altas cargas de poluição ou sedimentos, apesar de algumas delas serem projetadas não só para controle quantitativo como também para tratamento (remoção) de poluentes e sedimentos” (Curitiba, 2002).
- **Aproveitamento Direto da Água Pluvial:** As TC que conseguem armazenar a água pluvial (detenção/retenção), também possuem a possibilidade de utilização futura desta água para fins não potáveis.

Quadro 4.1 – Variáveis de Aspectos Relacionados aos Objetivos

ASPECTOS RELACIONADOS AOS OBJETIVOS DAS TC	
VARIÁVEL	FONTE
Redução da Vazão de Pico	
Redução do Volume de Escoamento	
Recarga da Água Subterrânea	
Melhoria da Qualidade da Água	
Aproveitamento Direto da Água Pluvial	

Legenda:

- – SÃO PAULO - **MANUAL DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS**. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano: São Paulo – SP, 2012.
- - **PLANO DIRETOR DE DRENAGEM PARA BACIA DO RIO IGUAÇU NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA**. Programa de Saneamento Ambiental da Região Metropolitana de Curitiba: Região Metropolitana de Curitiba. PR, 2002.
- - BRASÍLIA - **MANUAL DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS DO DISTRITO FEDERAL**. Superintendência de Drenagem Urbana: Brasília, 2018.
- - CITY OF PORTLAND – **Stormwater Management Manual**, 2016.
- - CITY OF TORONTO - **Wet Weather Flow Management**, 2006.
- - EASTON WASHINGTON – **Low Impact Development Guidance Manual**. Department of Ecology – State of Washington, 2013.
- – MARYLAND - **Low-Impact Development: An Integrated Environmental Design Approach**. Department of Environmental Resources, Programs and Planning Division. Price’s Contry - Maryland, 1999.
- - GOBIERNO DE ESPAÑA - **Guías de Adaptación al Riesgo de Inundación: Sistemas Urbanos de Drenagem Sostenible**. Ministerio para la Transición Ecológica. Gobierno de España, 2019.
- - GOBIERNO DE MADRID - **Guía Básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales em Zonas Verdes y otros Espacios Libres**. Madrid, 2018.
- – CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- – TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas**. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. La L.; BASTOS, M. T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2015.
- – BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2 edição. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015.

Fonte: Autora, 2021.

Com a leitura da bibliografia, é possível definir os diferentes aspectos a serem observados para a implantação de TC, não somente em um meio já urbanizado propriamente dito, e com a ajuda da bibliografia foi possível identificar essas variáveis trazendo maior facilidade para conseguir separá-las em diferentes classificações, para melhor compreensão das mesmas.

Os aspectos relacionados aos objetivos da TC são relacionados a função principal delas, que seria a drenagem da água da chuva, ajudando no seu escoamento e na diminuição do volume da água acumulada.

4.1.2 Aspectos Quantitativos

Os aspectos quantitativos são aqueles que relacionados a valores de quantidades, seja da água manejada, seja de características do meio físico e do entorno, descritas e apresentadas no Quadro 4.2, com as respectivas referências. Os aspectos quantitativos identificados foram:

- **Declividade do Terreno:** *“Dispositivos de controle por infiltração, instalados na superfície do solo (como valas gramadas, pavimentos permeáveis, poços e planos de infiltração), apresentam melhor desempenho em terrenos de baixa declividade. Em terrenos de alta declividade devem-se prever reservatórios com ou sem fundos infiltrantes”* (Brasília, 2018).
- **Declividade de Cobertura:** A declividade da cobertura é restrita a estruturas como telhados verdes e de infiltração. A declividade elevada pode gerar dificuldades na construção da estrutura.
- **Capacidade de Infiltração do Solo:** *“É a característica utilizada para o dimensionamento de dispositivos de infiltração, podendo viabilizar ou inviabilizar a sua aplicação”* (São Paulo, 2012).
- **Profundidade do Lençol Freático:** *“O alto nível do lençol freático pode reduzir a capacidade de infiltração no solo, acarretando as mesmas restrições citadas para a capacidade de infiltração”* (Curitiba, 2002).
- **Período de Retorno:** Análise do tempo de retorno da TC implantada é satisfatório com o local de implantação.
- **Área da Bacia de Contribuição:** *“Utilizada como parâmetro para o cálculo hidrológico e hidráulico das obras na bacia, sendo a área que contribui para o*

local de controle e que deve ser estimada através da determinação do divisor de águas” (São Paulo, 2012).

- **Área Superficial Ocupada pela TC:** A área ocupada pela TC é o espaço disponível que é necessário para a implantação da mesma.
- **Ausência de Exutório Superficial:** *“A ausência de exutório é limitante à utilização de TC de detenção, pois estes exigem um local de destino para a descarga do volume armazenado. As TC de infiltração a princípio, não tem maiores problemas quanto a isso, mas é preciso prever as consequências de chuvas maiores que as de projeto” (Curitiba, 2002).*
- **Flexibilidade de Projeto:** *“Restringe a implantação de estruturas que exigem escoamento por gravidade, como é o caso do micro reservatório. Já os telhados reservatórios são limitados à configuração da edificação” (São Paulo, 2012).*
- **Fragilidade do Solo por Ação da Água:** *“Possibilidade de desestruturação do solo em presença de água, o que restringe a implantação de dispositivos de infiltração” (São Paulo, 2012).*
- **Esforços e Vibrações Externas:** *“Esforços e Vibrações podem danificar a estrutura de bacias subterrâneas e condutos enterrados, dispositivos de infiltração sofrem degradação sob tráfego intenso” (São Paulo, 2012).*
- **Tipo de Circulação de Veículos:** Com os esforços e vibrações externas é necessário avaliar o tipo de veículo ou meio de transporte que será mais utilizado onde a TC será implantada, pois alguns tipos de dispositivos podem sofrer degradação sob tráfego intenso.
- **Interferência com Instalações Subterrâneas:** *“A presença de instalações subterrâneas pode inviabilizar certos tipos de dispositivo. Isto ocorre pela interferência na infiltração, disposição de espaço e incorre na possibilidade de contaminação no caso de rede de água potável” (São Paulo, 2012).*
- **Possibilidade de Integração com o Sistema de Drenagem Existente:** Em situações de locais já urbanizados onde existam sistema de drenagem convencional, se é possível a integração da TC com o sistema de drenagem existente.

Quadro 4.2 – Variáveis de Aspecto Quantitativo.

ASPECTOS QUANTITATIVOS	
VARIÁVEL	FONTE
Declividade do Terreno	
Declividade da Cobertura	
Capacidade de Infiltração do Solo	
Profundidade do Lençol Freático	
Período de Retorno	
Área Bacia de Contribuição	
Área Superficial Ocupada pela TC	
Ausência de Exutório Superficial	
Flexibilidade de Projeto	
Fragilidade do Solo por Ação da Água	
Esforços e Vibrações Externas	
Tipo de Circulação de Veículos	
Interferência com Instalações Subterrâneas	
Possibilidade de Integração com o Sistema de Drenagem Existente	

*Ver legenda do Quadro 4.1

Fonte: Autora, 2021.

Os aspectos quantitativos dizem a respeito de situações de proporções, quantificações e possibilidades de interferências ou ligações com sistemas existentes, trazendo uma relação com aspectos que precisam ser analisados como área, profundidade, fragilidade do solo, construções já existentes, dentre outras.

4.1.3 Aspectos Qualitativos

Consideram-se aqui como aspectos qualitativos aqueles relacionados com a qualidade da água pluvial e que interferem na implantação ou operação da TC, conforme descrito a seguir e apresentado no Quadro 4.3, com as respectivas referências. São eles:

- **Carga Poluidora de Afluentes à TC:** “As TC, em sua maioria, não toleram afluências com altas concentrações de poluentes (esgotos ou cargas difusas), nestes casos é recomendada a utilização de pré-tratamento” (São Paulo, 2012).
- **Taxa de Sedimentos Afluentes à TC:** “Igualmente à carga de afluência poluída, as TC não toleram afluências com altas concentrações de sedimentos, deve-se considerar manutenção com rotina” (São Paulo, 2012).
- **Resíduos Sólidos afluentes à TC:** “Em muitos casos, para a retenção dos resíduos sólidos transportados pelas águas pluviais, são instaladas barreiras nas entradas dos reservatórios que evitam o acúmulo de detritos na zona de detenção” (Brasília, 2018).
- **Risco Sanitário Associado a Operação e Manutenção:** “A manutenção periódica é essencial para contornar este tipo de risco” (São Paulo, 2012).
- **Risco Sedimentológico Associado a Operação e Manutenção:** “Neste caso também é essencial que seja realizada manutenção periódica” (São Paulo, 2012).
- **Contaminação de Aquífero:** “Pode ocorrer devido à infiltração de águas superficiais poluídas” (São Paulo, 2012).
- **Proliferação de Vetores:** “Algumas TC de detenção devem passar por manutenção periódica para evitar que o entupimento de condutos de descarga provoque o acúmulo excessivo de água, o que pode favorecer a proliferação de mosquitos” (Curitiba, 2002).

Quadro 4.3 – Variáveis de Aspecto Qualitativo

ASPECTOS QUALITATIVOS	
VARIÁVEL	FONTE
Carga Poluidora de Afluentes à TC	
Taxa de sedimentos afluentes à TC	
Resíduos Sólidos afluentes à TC	
Risco Sanitário Associado a Operação e Manutenção	
Risco Sedimentológico Associado a Operação e Manutenção	
Contaminação de Aquífero	
Proliferação de Vetores	

*Ver legenda do Quadro 4.1

Fonte: Autora, 2021.

Aspectos qualitativos trazem os critérios de avaliação sobre a qualidade da água que chegará até o corpo receptor, prevendo possíveis problemas nesse percurso, como poluições diversas, causadas por resíduos sólidos, falta de manutenção ou manutenção inadequada e contaminação do aquífero existente na região.

4.1.4 Aspectos Sociais, Econômicos e Operacionais

Foram considerados neste grupo os aspectos relacionados a situações variadas que afetam de alguma forma a implantação e funcionamento das TC, tais como as descritas a seguir e apresentadas no Quadro 4.4, com as fontes de referência.

- **Intensidade e Tipo de Manutenção:** *“É recomendável que todos os dispositivos de drenagem passem por manutenção antes da estação de chuvas e logo após a ocorrência de chuvas intensas, pois se houver acúmulo de sedimentos ou resíduos sólidos, a eficiência do sistema será menor que a prevista em projeto”* (Brasília, 2018).
- **Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas:** Além da utilização de TC em áreas públicas, também existindo a possibilidade de implantação das mesmas em áreas privadas.
- **Disponibilidade de Áreas Públicas:** Espaços públicos necessários para a implantação de uma TC.
- **Interferência das Obras de Implantação com Atividades Existentes:** A necessidade de avaliar potenciais interferências que podem ocorrer em atividades existentes no local escolhido para a implantação de uma TC.
- **Aceitação pela População:** Avaliação da aceitação pela população para a implantação de uma TC, analisando seus aspectos estéticos, funcionais e econômicos.
- **Possibilidade de Incentivos:** Analisar a possibilidade de incentivos quando se pode implantar uma TC em um determinado local.
- **Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos:** Algumas TC de infiltração possuem a vantagem de conseguirem ser implantadas em locais onde existe circulação de veículos, podendo ser integrada ao sistema viário e em estacionamentos.
- **Tipologia de Uso e Ocupação do Solo:** É necessário avaliar o tipo e ocupação do solo (local) para a escolha da implantação de uma TC, como em áreas com

baixa densidade, residenciais, comerciais, industriais, em reurbanização ou com alta densidade.

- **Possibilidade de Composição Paisagística:** Medidas de controle superficiais, podem se integrar ao projeto paisagístico, desde que sejam previstas áreas com dimensões adequadas. Quando a disponibilidade de área é restrita, as instalações subterrâneas, em geral, são mais apropriadas.
- **Possibilidade de Usos Múltiplos:** Algumas medidas de controle podem, eventualmente no período de estiagem, servir para atividades complementares além da função principal da TC.
- **Custo de Implantação:** A relação de custos sobre a implantação de uma TC em um local determinado.
- **Custo de Operação e Manutenção:** Análogo a relação de custos de implantação, também é necessário avaliar o custo de operação e manutenção que irá gerar após implantar uma TC em um determinado local.

Quadro 4.4 – Variáveis de Aspectos Sociais, Econômicos e Operacionais

ASPECTOS SOCIAIS, ECONÔMICOS E OPERACIONAIS	
VARIÁVEL	FONTE
Intensidade e Tipo de Manutenção	
Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas	
Disponibilidade de Áreas Públicas	
Interferência das Obras de Implantação com Atividades Existentes	
Aceitação Pela População	
Possibilidade de Incentivos	
Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos	
Tipologia de Uso e Ocupação do Solo	
Possibilidade de Composição Paisagística	
Possibilidade de Usos Múltiplos	
Custo de Implantação	
Custo de Operação e Manutenção	

*Ver legenda do Quadro 4.1

Fonte: Autora, 2021.

Os aspectos sociais, econômicos e operacionais são aqueles que englobam problemas relacionados a população local, aos órgãos públicos, as áreas privadas, custos e manutenção das TC. No geral, são aspectos que pesam sobre o custo-benefício para um segundo olhar antes da implantação, após da sua primeira necessidade que seria a da drenagem de água pluvial

4.1.5 Proposição de Novas Variáveis para Áreas Já Urbanizadas

A partir da listagem das variáveis de diferentes aspectos encontradas na bibliografia, foi preciso também analisar quais outras características são necessárias a serem avaliadas para a implantação de uma TC, em especial, em um meio já urbanizado. Assim, como é apresentado no Quadro 4.5, foi possível considerar outras variáveis que não foram identificadas na bibliografia, principalmente na implantação de TC em área já urbanizado. As variáveis propostas foram:

- **Necessidade de Áreas Superficiais Contínuas:** Em locais com alta densidade de urbanização, será necessário avaliar a quantidade de espaço disponível para a implantação de uma TC, analisando se a mesma consegue ser fragmentada e aplicada em diversos locais da área escolhida.
- **Possibilidade de Reurbanização da Área:** Analise a partir da TC a ser implantada, se suas características podem ser aplicadas em locais em reurbanização.
- **Possibilidade de Fraudes ou Usos indevidos:** Avaliação da possibilidade de utilização indevida das TC, como por exemplo, sua inutilização, redução ou conexão com o sistema de esgotamento sanitário.
- **Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos Receptores:** É necessário avaliar a possibilidade do lançamento da água pluvial em diversos pontos, reduzindo sua concentração, reduzindo problemas de erosão e arraste.
- **Tipo de Cobertura das Edificações:** Telhados verdes precisam ser implantados em edificações planas ou com baixas inclinações para o seu melhor funcionamento e manutenção.

Quadro 4.5 – Variáveis Propostas para a Aplicação de TC em Área Urbanizada.

VARIÁVEIS PROPOSTAS PARA A APLICAÇÃO DE TC EM ÁREA URBANIZADA
Necessidade de Áreas Superficiais Contínuas
Possibilidade de Reurbanização da Área
Possibilidade de Fraudes ou Usos Indevidos
Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos Receptores
Tipo de Cobertura das Edificações

Fonte: Autora, 2021.

As variáveis foram propostas observando-se situações que podem ocorrer numa área já urbanizada, decorrente da presença de pessoas, edificações, vias de circulação, sistemas de infraestrutura (inclusive a drenagem pluvial), atividades econômicas existentes, entre outras, prevendo-se possíveis problemas ou facilidades a serem considerados antes da implantação de uma TC. Acredita-se que, para situações específicas, algumas destas variáveis não se aplicam, enquanto em outros casos poderão surgir novas variáveis.

4.2 Considerações para Aplicação de TC em meio já Urbanizado

Após o estudo das variáveis encontradas na bibliografia e as novas variáveis sugeridas, foi possível escolher quais delas deveriam ser levadas em consideração para a implantação de uma TC em um meio urbano já consolidado.

Considerando os aspectos gerais encontrados em qualquer cidade, como a falta de disponibilidade de espaços, impermeabilização do solo, presença de outras estruturas já existentes, circulação de veículos, aceitação pela população local, integração com o meio urbano, dentre outras, foi possível sistematizar algumas variáveis que possuem maior relevância na escolha de TC a serem implantadas em áreas já urbanizadas. Deste modo, foram consideradas as variáveis a seguir, apresentadas também no Quadro 4.6:

- **Área Superficial Ocupada pela TC:** A necessidade de grandes áreas para a implantação de TC é, muitas vezes, inviável para algumas cidades por não possuírem disponibilidade de espaço suficiente.
- **Necessidade de Áreas Superficiais Contínuas:** Algumas TC como as bacias, necessitam de grandes espaços para sua implantação. Sendo assim, locais com alta densidade de urbanização, conseqüentemente não possuem disponibilidade de grandes áreas, necessitando muitas vezes a avaliação de uma possível

implantação da TC utilizando espaços menores, mas localizada em mais do que apenas em um local da área escolhida.

- **Esforços e Vibrações Externas:** Algumas TC, principalmente as de infiltração como trincheiras e valas, não são feitas com materiais de extrema durabilidade para serem implantadas em locais com tráfegos intensos ou que precisem suportar grandes cargas.
- **Interferência com Instalações Subterrâneas:** Para a implantação, não somente de uma TC, mas de qualquer elemento onde será necessário disponibilizar um pedaço de área já urbanizada, é necessário observar se existe a possibilidade de interferência com instalações subterrâneas já existentes no local determinado.
- **Possibilidade de Integração com o Sistema de Drenagem Existente:** Em locais já urbanizados normalmente já existe um sistema de drenagem, que com a implantação de uma TC, surge a possibilidade da integração para melhor funcionamento e não acarretar sobrecarga da mesma.
- **Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas:** Em áreas onde já existem edificações, mas também possuem problemas de drenagem, é necessário avaliar a possibilidade de implantação de TC em áreas privadas para melhoras o escoamento superficial.
- **Disponibilidade de Áreas Públicas:** Para não precisar desapropriar áreas para a implantação de TC, é possível averiguar a existência de disponibilidade de áreas públicas onde irá facilitar sua implantação sem a necessidade de interferência do poder público.
- **Interferência das Obras de Implantação com as Atividades Existentes:** Em centros urbanos quando há a necessidade de paralização do trânsito ou o bloqueio de certos locais para a construção ou manutenção de obras, normalmente pode acarretar conflitos que precisam de estratégias para que não provoquem prejuízos ou estorvos para a população local.
- **Aceitação Pela População:** Antes da implantação de uma TC, é necessário avaliar todos seus aspectos para saber se a população próxima do local determinado irá aceitar sua construção, precisando assim, que a TC traga vantagens que facilitem essa aceitação.
- **Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos:** Técnicas de infiltração podem ser utilizadas juntamente ao sistema viário ou estacionamentos

existentes, facilitando sua integração com o meio urbano do local onde será implantada.

- **Possibilidade de Usos Múltiplos:** Complementando a aceitação pela população, torna-se interessante a possibilidade de implantação de TC com usos múltiplos, que possam ser integradas ao meio urbano e paisagístico já existentes como praças e jardins.
- **Possibilidade de Reurbanização da Área:** Áreas em reurbanização são áreas urbanizadas que passam por uma organização ou melhoria em sua infraestrutura, sendo então, necessário avaliar a possibilidade de implantação de TC em uma área deste tipo.
- **Possibilidade de Fraudes ou Usos Indevidos:** Com a implantação de TC em locais já urbanizados e existindo a possibilidade de sua integração com o sistema de drenagem existente, pode ocorrer usos indevidos como citados anteriormente na descrição desta variável, gerando assim, o mau funcionamento da TC e muitas vezes, até mesmo o desmanche da mesma.
- **Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos Receptores:** Geralmente em áreas já urbanizadas existe a dificuldade da possibilidade de dispersão do lançamento das águas pluviais captadas em diferentes pontos do corpo receptor, devido a presença de edificações e outras infraestruturas já existentes no local.

Quadro 4.6 – Variáveis Propostas para Aplicação de TC em Áreas Já Urbanizadas

VARIÁVEIS PROPOSTAS PARA A APLICAÇÃO DE TC EM ÁREAS JÁ URBANIZADAS
Área Superficial Ocupada pela TC
Necessidade de Áreas Superficiais Contínuas
Esforços e Vibrações Externas
Interferência com Instalações Subterrâneas
Possibilidade de Integração com o Sistema de Drenagem Existente
Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas
Disponibilidade de Áreas Públicas
Interferência das Obras de Implantação com as Atividades Existentes
Aceitação pela População
Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos
Possibilidade de Usos Múltiplos
Possibilidade de Reurbanização da Área
Possibilidade de Fraudes ou Usos Indevidos
Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos Receptores

Fonte: Autora, 2021.

Algumas variáveis definidas para a aplicação em um meio já urbanizado também podem ser utilizadas em quaisquer situações, mas no primeiro caso elas se referem a locais com infraestruturas existentes e com falta de disponibilidade de espaço, que são características da urbanização. Em geral, os maiores problemas encontrados para a implantação de TC em áreas urbanizadas são a falta de espaços ou a dificuldade de integração com estruturas existentes, como parques ou estacionamentos.

5 Aplicação das Variáveis em Área Urbanizada: Córrego da Servidão – Araraquara/SP

5.1 Caracterização do Município de Araraquara

O município de Araraquara está localizado no interior do estado de São Paulo, no Brasil, formado pela sede e pelos distritos de Bueno de Andrada e Vila Xavier, e também, encontra-se conurbado com Américo Brasiliense (Câmara Municipal de Araraquara, 2020). Com uma população estimada em 238.339 habitantes, densidade populacional de 207,90 habitantes/km² e uma área territorial de 1.003,635 km² (IBGE, 2020). A cidade está localizada a 21°47'40" de latitude sul e 48°10'32" de longitude oeste, a uma altitude de 664 metros, situada à 43 quilômetros do centro geográfico do Estado de São Paulo e a 270 quilômetros da capital estadual, como é mostrada na Figura 5.1.

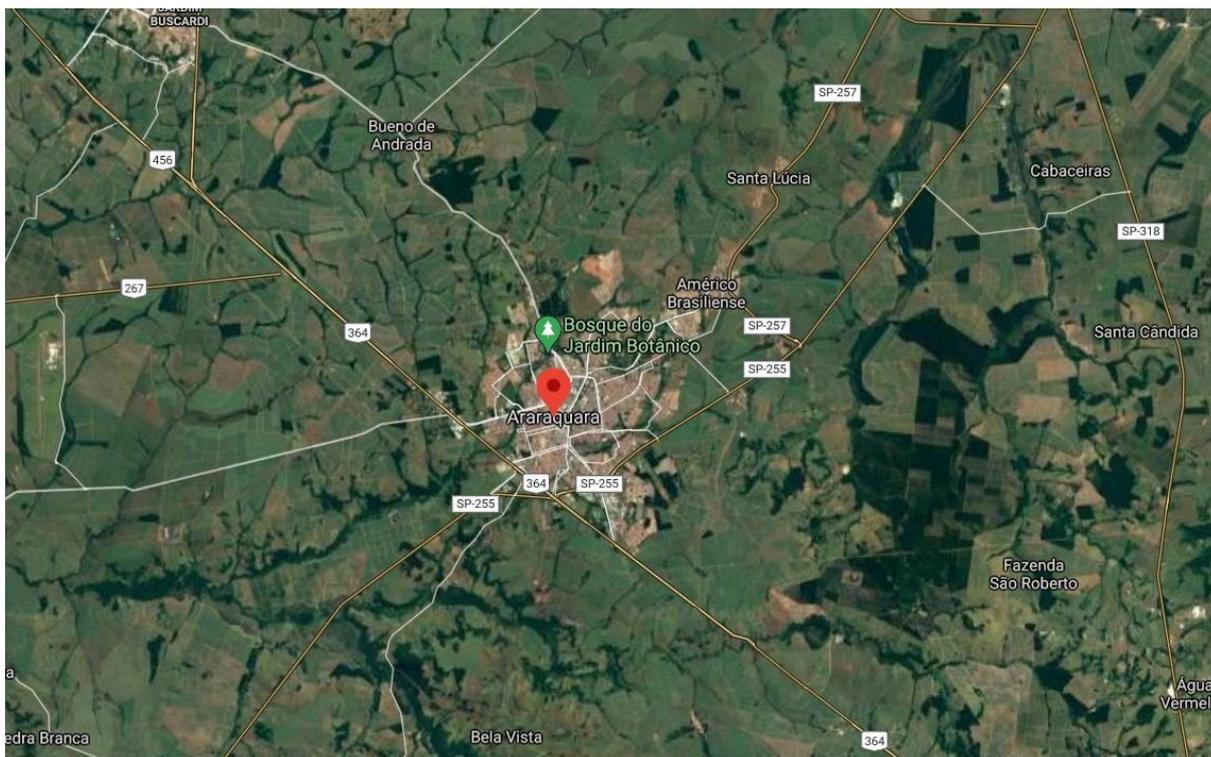
Figura 5.1 – Mapa de Localização do Município de Araraquara.



Fonte: IBGE, 2020.

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) de Araraquara, foi considerado elevado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), que é de 0,815 (2010). Em 2007, foi a cidade brasileira melhor qualificada quanto ao índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal, que usa critérios de renda, educação e saúde.

Figura 5.2 – Localização do Município de Araraquara.



Fonte: Google Maps (2021).

A Região de Governo de Araraquara (RGA), pertence à Região Administrativa Central do Estado de São Paulo (Figura 5.2). A RGA é composta por 19 municípios, que são: Américo Brasiliense, Araraquara, Boa Esperança do Sul, Borborema, Cândido Rodrigues, Dobrada, Fernando Prestes, Gavião Peixoto, Ibitinga, Itápolis, Matão, Motuca, Nova Europa, Rincão, Santa Ernestina, Santa Lúcia, Tabatinga, Taquaritinga e Trabiçu (PERONI, 2018).

5.2 Hidrografia

Em meados dos anos de 1969, para enfrentar os desafios impostos pela expansão urbana, o prefeito da época, Rubens Cruz, criou o Daae - Departamento Autônomo de Água e Esgotos.

No início de funcionamento a cidade contava com o ponto de captação superficial de Ribeirão das Cruzes, onde a água aí captada era bombeada para a Estação de Tratamento na Fonte Luminosa, que possuía 3 reservatórios enterrados com capacidade de 2.000 m³ cada um, e 1 reservatório elevado com capacidade de 400 m³ (Daae, 2020).

O município possui chuvas médias anuais de 1.300 mm (ARARAQUARA, 2014). O período chuvoso ocorre de outubro a março, sendo de dezembro a fevereiro o

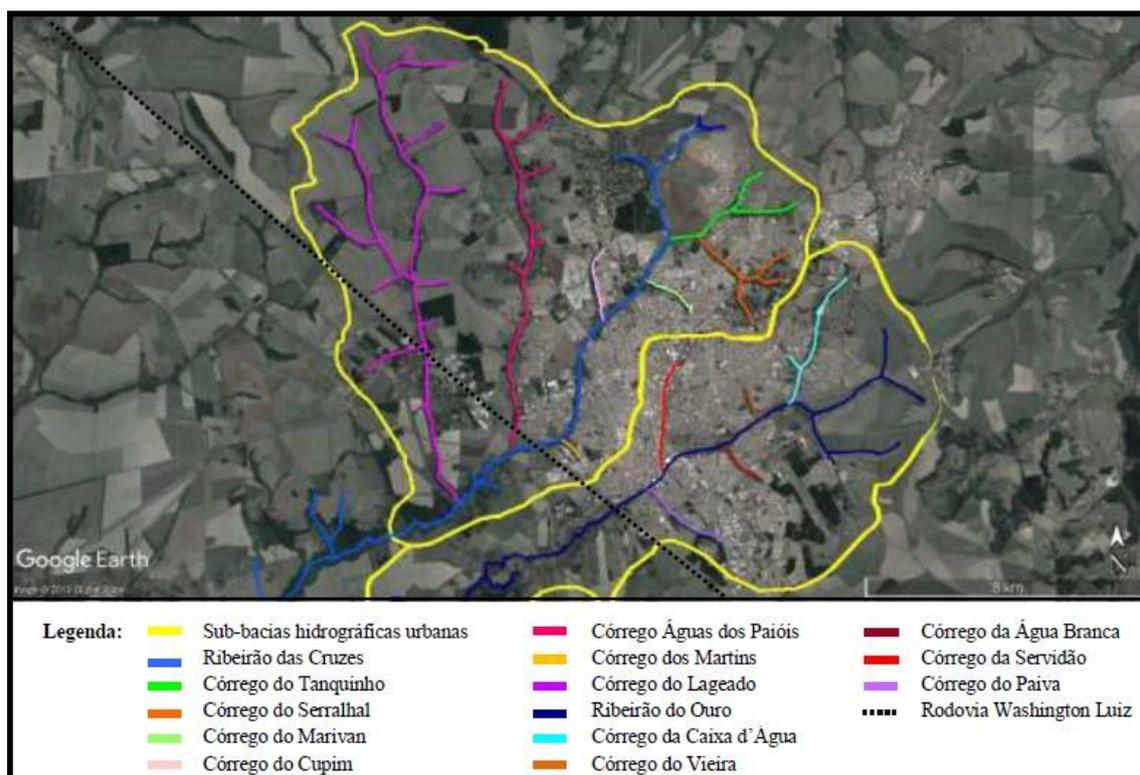
intervalo mais chuvoso. Além disso, as temperaturas anuais médias são entre 21°C a 23°C, sendo que em janeiro ficam compreendidas entre 29°C a 32°C, enquanto que em julho variam de 11°C a 13°C.

Araraquara está localizada na Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI Tietê-Jacaré (UGRHI 13) que possui 11.779 km² de área de drenagem e têm como cursos d'água principais os Rio Tietê, Rio Jacaré-Guaçu e Rio Jacaré-Pepira (SÃO PAULO, 2016).

O município possui 148 sub-bacias hidrográficas, divididas em dois principais cursos d'água: Ribeirão das Cruzes e Ribeirão do Ouro (ARARAQUARA, 2014a). A sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Ouro, na área urbana, tem como afluentes os Córregos do Pinheirinho, Vieira, Água Branca, Servidão e Paiva.

Na Figura 5.3, é possível observar a hidrografia dentro da malha urbana de Araraquara, destacando os microbacias existentes na região.

Figura 5.3 – Sub-bacias Hidrográficas na Área Urbana de Araraquara - SP



Fonte: Peroni (2018).

É possível dizer que a cidade de Araraquara/SP possui diversas microbacias, algumas em especial dentro da área urbana da cidade, que é objeto de estudo desse

trabalho. Uma das microbacias que é situada em grande parte da região urbana a ser estudada é a microbacia do Córrego da Servidão, representada em vermelho no mapa, que passa embaixo de vias principais da cidade.

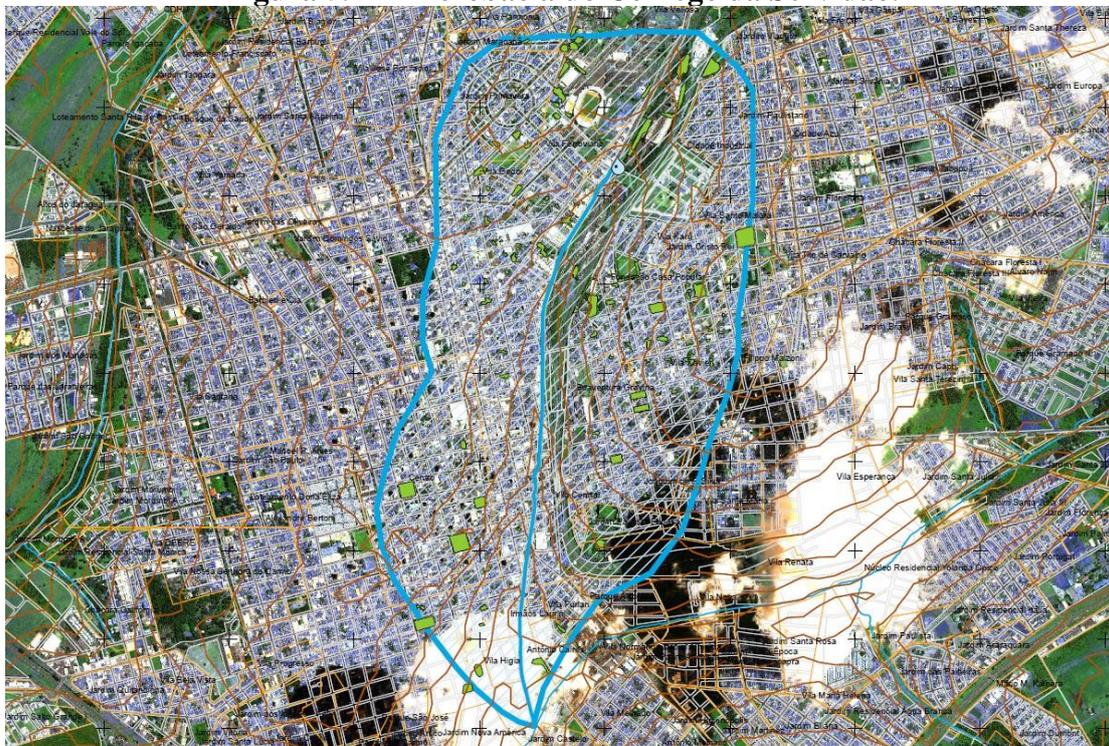
5.3 Microbacia Córrego da Servidão

Após a definição das variáveis que precisam ser analisadas como critério para a implantação de um TC em um meio urbano já existente, foi possível selecionar pontos com características específicas dentro de uma bacia no município de Araraquara, que foi o objeto de estudo de caso para esta dissertação.

A bacia escolhida foi a sub-bacia (microbacia) do Córrego da Servidão, e por ser localizada na região urbana do município, o córrego é totalmente canalizado. A extensão do corpo hídrico principal é de 3,314 km, possuindo um maciço de 5.773.094,99 m² de área, sua altitude da nascente é de 680 metros e da foz é de 600 metros (ARARAQUARA, 2014a).

É possível analisar que a microbacia está localizada praticamente na parte central da região urbana da cidade, como é apresentada com maiores detalhes na Figura 5.4.

Figura 5.4 – Microbacia do Córrego da Servidão.



Fonte: Araraquara, 2013.

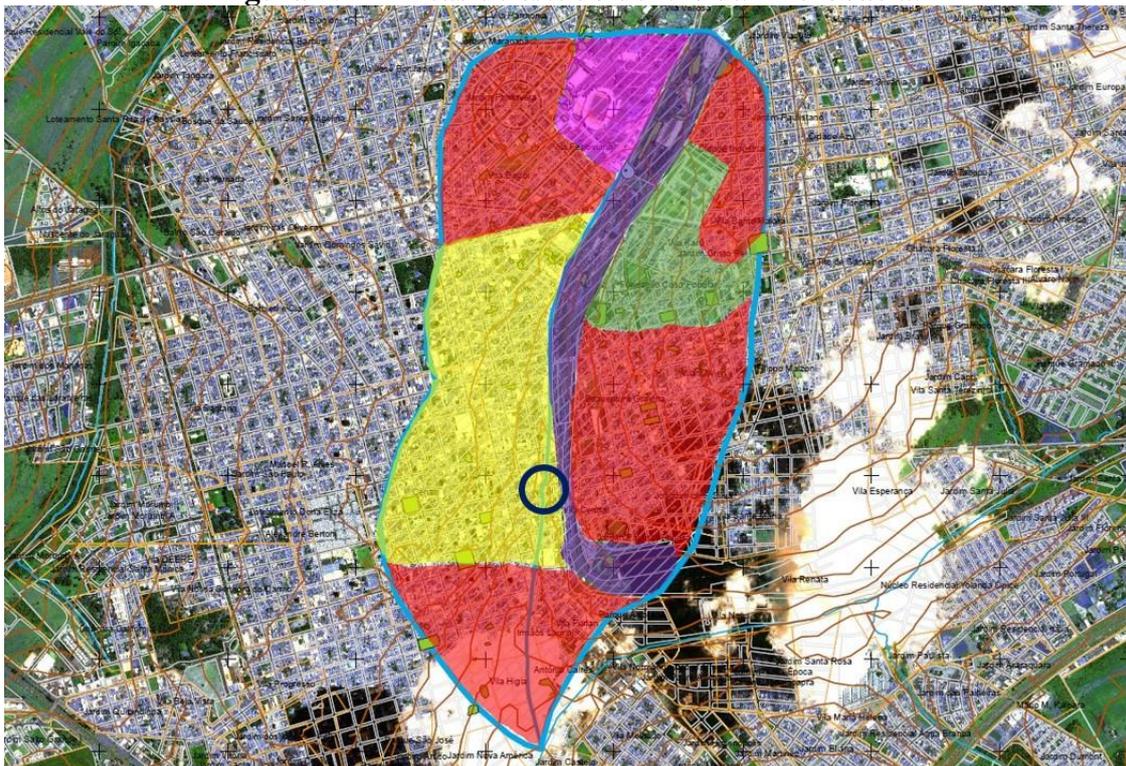
De acordo com Peroni et al (2017), é importante destacar que durante a implantação da Via Expressa na década de 80, a canalização e o tamponamento do Córrego da Servidão foram realizados por trechos, em períodos distintos, sendo assim, caracterizado por seções de formas e dimensões distintas por todo seu trajeto, ocasionando problemas de alagamento em determinados pontos.

5.4 Aplicação das Variáveis em Áreas do Córrego da Servidão

Para a aplicação das variáveis em situações de áreas já urbanizadas, foi preciso escolher diferentes pontos no município de Araraquara – SP, para fazer um estudo teórico de implantação de TC em uma microbacia. Os exemplos de situações que foram estudadas foram: Área Residencial sem Espaço Disponível; Área Residencial com Espaço Disponível; Área Comercial; Área de Ocorrência de Alagamentos; Área do Estádio da Arena da Fonte; Área Ferroviária. Todas as áreas escolhidas estão dentro da Microbacia do Córrego da Servidão que foi descrito anteriormente.

Na Figura 5.5 é mostrado um esquema das regiões onde existe a predominância de áreas residenciais sem espaços disponíveis (em vermelho), áreas residenciais com algum espaço disponível (em verde), área comercial (em amarelo), área do estádio da Arena da Fonte (em rosa), área ferroviária (em roxo) e um ponto escolhido onde existem alagamentos. Essas áreas foram escolhidas para estudo das diferentes situações encontradas no município de Araraquara para analisar a possibilidade de implantação de TC.

Figura 5.5 – Áreas de estudo dentro da Microbacia.



Legenda:	
●	Área Predominantemente Residencial
●	Área Predominantemente Comercial
●	Área Residencial com Espaço Disponível
●	Área Arena da Fonte
●	Área Ferroviária
○	Área de Ocorrência de Alagamentos

Fonte: Araraquara (2013), adaptado.

Ao definir a predominância das regiões, foi possível analisar a região e apontar alguns locais de exemplo para serem estudados, assim, possibilitando a análise as variáveis definidas para a implantação de TC em área já urbanizada. A partir disso, foram criados quadros explicativos para avaliar as possíveis vantagens e desvantagens da implantação de TC em determinada área escolhida.

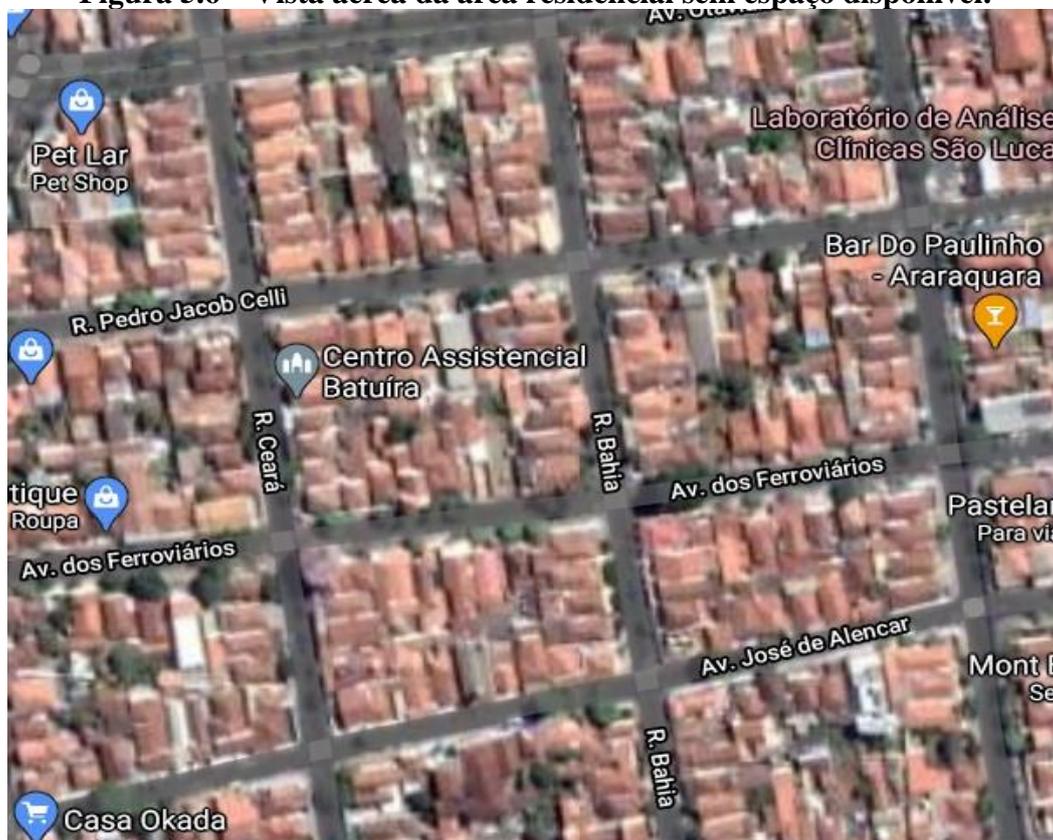
5.4.1 Área Residencial sem Espaço Disponível

O município possui uma extensa área residencial, mas que muitas vezes, não possui espaços disponíveis por serem construções ou locais antigos, onde existe a dificuldade de ocorrer mudanças significativas.

Essas áreas residenciais, seguindo o padrão da maioria das cidades brasileiras, são basicamente com ruas curtas e asfaltadas, com calçadas estreitas também com impermeabilização, e, dependendo do local, com pequenos canteiros com alguns tipos de árvores localizadas em frente de edificações.

Um local escolhido como exemplo deste tipo de área residencial sem espaço disponível é mostrado na Figura 5.6, localizado no bairro da Vila Xavier, onde possui uma densidade de edificações residenciais e alguns poucos comércios na região. O bairro da Vila Xavier é um bairro tradicional onde possuem muitos moradores e residências antigas.

Figura 5.6 – Vista aérea da área residencial sem espaço disponível.



Fonte: Google Maps, 2021.

O local de exemplo foram apenas algumas quadras do bairro, localizadas nas Ruas Ceará, Bahia, Candido Portinari e Pedro Jacob Celli e nas Avenidas dos Ferroviários e José de Alencar. Nas Figuras 5.7, e 5.8, é possível observar que o local é densamente impermeabilizado, com falta de espaços disponíveis.

Figura 5.7 – Vista pela Rua Bahia



Fonte: Autora, 2021.

Figura 5.8 – Vista pela Av. dos Ferroviários



Fonte: Autora, 2021.

Nesta área foi possível analisar a falta de disponibilidade de espaços para a implantação de TC, sendo assim, inviável para TC que necessitam de grandes espaços, como as bacias de detenção e retenção.

Por se tratar de um espaço de áreas privadas, a aceitação pela população local, possibilidade de implantação em áreas privadas e a possibilidade de fraudes e usos indevidos são variáveis importantes para serem avaliadas. Além disso, devido a quantidade de edificações existentes, também é possível observar a presença de infraestruturas subterrâneas e também, é válido observar a grande presença de construções predominantemente utilizando telhas cerâmicas, assim, inviabilizando a possibilidade de utilização de telhados verdes nestes locais.

Para a melhor compreensão da possibilidade de implantação de TC neste local estudado, foi possível utilizar a avaliação das variáveis anteriormente definidas para montar o Quadro 5.1, para a compreensão das possíveis TC a serem implantadas na área residencial sem espaços livres.

Quadro 5.1 – Aplicação de Variáveis em Área Residencial sem Espaços Livres

VARIÁVEL	OBSERVAÇÃO
Área Superficial Ocupada pela TC	Não há disponibilidade de espaço para implantação de TC de grande porte
Necessidade de Áreas Superficiais Contínuas	Sem espaços disponíveis, existe a possibilidade de implantações menores em mais espaços
Esforços e Vibrações Externas	Área com média circulação de veículos
Interferência com Instalações Subterrâneas	Local com edificações já existentes, possuindo instalações subterrâneas
Possibilidade de Integração com o Sistema de Drenagem Existente	Sistema de Drenagem já existente, facilitando a integração com o mesmo
Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas	Não há áreas privadas significativas
Disponibilidade de Áreas Públicas	Não há disponibilidade de áreas públicas significativas
Interferência das Obras de Implantação com as Atividades Existentes	Área residencial podendo ocorrer problemas durante a implantação de TC
Aceitação pela População	Área residencial é importante a aprovação pela população
Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos	Há possibilidade de integração com o sistema viário ou estacionamentos
Possibilidade de Usos Múltiplos	Há possibilidade de alguns usos múltiplos
Possibilidade de Reurbanização	Área de difícil reurbanização
Possibilidade de Fraudes e Usos Indevidos	População pode fazer mau uso da TC
Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos Receptores	Local já urbanizado, dificultando o lançamento em diferentes pontos

Fonte: Autora, 2021.

No Quadro 5.1 foi possível explicar brevemente as dificuldades que podem ser encontradas para a implantação de TC na situação estudada a partir da utilização das variáveis analisadas, gerando maior compreensão e percepção para as principais características das dificuldades para a integração de TC na área estudada.

Após essa primeira análise foi possível esquematizar outro quadro (Quadro 5.2) onde se comparam quais condições são mais Favoráveis para Implantação (●), quais são Desfavoráveis para Implantação (●) ou quais não se aplicam (●) para esta situação estudada.

Quadro 5.2 – Matriz Variáveis x TC para Área Residencial sem Espaços Disponíveis

VARIÁVEL	TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS								
	BD/BR	JC	TI	VL	PP	PI	RI	TV	FG
Área Superficial Ocupada pela TC	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Necessidade de Áreas Superficiais Contínuas	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Esforços e Vibrações Externas	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Interferência com Instalações Subterrâneas	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Possibilidade de Integração com o Sistema de Drenagem Existente	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Disponibilidade de Áreas Públicas	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Interferência das Obras de Implantação com as Atividades Existentes	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Aceitação pela População	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Possibilidade de Usos Múltiplos	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Possibilidade de Reurbanização	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Possibilidade de Fraudes e Usos Indevidos	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos Receptores	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Legenda:

BD – Bacia de Detenção	PP – Pavimento Permeável
BR – Bacia de Retenção	PI – Poço de Infiltração
JC – Jardim de Chuva	RI – Reservatório Individual
TI – Trincheira de Infiltração	FG – Faixa Gramada
VL – Vala de Infiltração	TV – Telhado Verde

(●) Não favorável para implantação; (●) Favorável para implantação; (●) Não se

aplica;

Fonte: Autora, 2021.

Nessa análise foi possível observar que existe a dificuldade da implantação de TC de grande porte, assim, existindo a possibilidade da utilização de TC como trincheiras, pavimentos permeáveis ou faixas gramadas em locais que não possuam grande fluxo de veículos ou em estacionamentos.

Por ser um local residencial, a possibilidade de utilização de reservatórios individuais ou pequenos poços de infiltração são uma solução para a falta de disponibilidade de espaços, não necessidade de áreas contínuas e possível implantação em áreas privadas. Já a utilização de telhados verdes talvez seja inviável devido à grande maioria das casas possuírem telhas cerâmicas, assim, sendo necessário modificar a estrutura da cobertura da edificação para que seja possível a implantação deste tipo de telhado.

A variável “Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas” poderia ser favorecida pela grande presença de edificações privadas, mas não significa necessariamente que possuam espaços disponíveis dentro das mesmas para a implantação de TC. Pelo fato da maioria das áreas residenciais serem bairros antigos, mesmo com a disponibilidade de espaços podem haver dificuldades de aceitação pela população residencial local para implantação de TC.

O fluxo de automóveis é considerado moderado nesse tipo de região, pois não é uma área central, mas são vias de acesso a bairros e as residenciais locais, precisando levar em consideração a variável “Esforços e Vibrações Externas” para conseguir pontuar locais específicos que não ocorram problemas devido à passagem de veículos.

Ainda discutindo sobre o fluxo de automóveis, a variável “Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos” também apresenta o problema da falta de espaço disponível para a implantação, embora algumas vagas de estacionamento nas ruas possam ser utilizadas. Pode-se também avaliar a possibilidade da utilização de pisos permeáveis ou faixas gramadas em vagas de estacionamento residenciais.

A “Possibilidade de Fraudes e Usos Indevidos” é uma variável que possivelmente apresentará dificuldades. Infelizmente, com a falta de educação ambiental e o pouco incentivo para implantação, fraudes e usos indevidos de TC são uma possibilidade alta em qualquer cenário com ocupação já existente.

Com relação à variável “Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos Receptores”, por se tratarem de áreas com desenho já definido, com existências de edificações e outras infraestruturas anteriores, existirá a dificuldade para a realização

do lançamento em pontos distintos, o que ajudaria a aliviar a evacuação da água da chuva em só local.

5.4.2 Área Residencial com Espaços Disponíveis

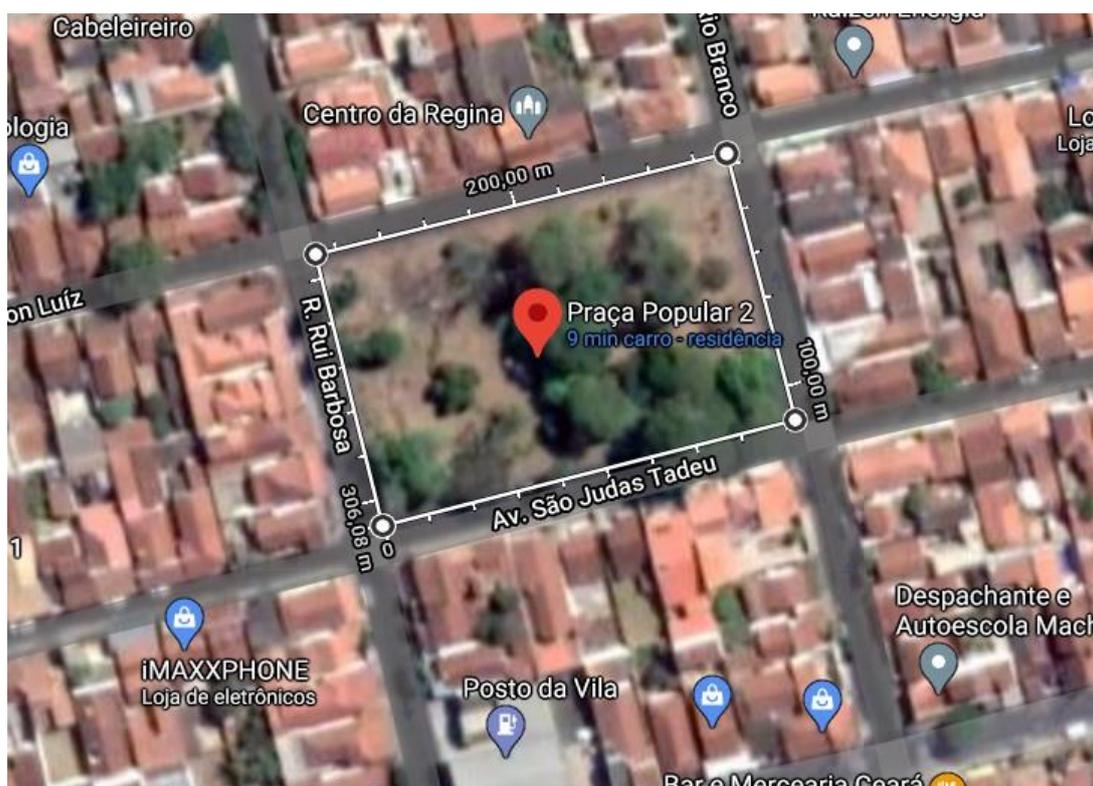
Por mais que a urbanização local já esteja consolidada, existem algumas áreas com espaços disponíveis que são possíveis de serem utilizadas para a implantação de TC, como praças, parques, estacionamentos e terrenos desocupados.

Algumas áreas residenciais da cidade possuem maior número de praças ou canteiros centrais, conseguindo ajudar a drenagem local, além da disponibilidade de espaço para conseguir implantar TC sem grandes interferências.

Esses espaços podem estar localizados dentro dos bairros residenciais, sendo utilizados muitas vezes para convívio social, atividades de esporte ou lazer, possuindo vegetação diversificada.

A área residencial com espaço disponível de exemplo escolhida dentro da microbacia estudada é o entorno da Praça Popular 2, localizada no bairro da Vila Xavier, nas Ruas Barão do Rio Branco e Rui Barbosa e nas Avenidas São Judas Tadeu e Washington Luiz (5.9), possuindo uma área de aproximadamente 5.500m² (Google Maps, 2021) com espaço e área verde para a facilitação de implantação de TC, onde é mostrada nas Figuras 5.10, 5.11 e 5.12.

Esta área possui boas condições de drenagem, contando com grande disponibilidade de área verde, incluindo gramíneas, arbustos e árvores maiores, possuindo também caminhos de acesso com pisos com espaçamento para drenagem de água de chuva e espaços disponíveis como bancos e mesas de concreto para facilitar a interação social para população local.

Figura 5.9 – Mapa de Localização da Praça Popular 2

Fonte: Google Maps, 2021.

Figura 5.10 – Praça Popular 2.

Fonte: Autora, 2021.

Figura 5.11 – Praça Popular 2.



Fonte: Autora, 2021.

Figura 5.12 – Praça Popular 2.



Fonte: Autora, 2021.

Este tipo de local, por mais que seja dentro da área urbana da cidade, possui disponibilidade de espaço para possível implantação de TC, podendo ser analisado a partir do Quadro 5.3, apresentando diversas diferenças comparativas com a análise da área residencial sem espaços livres feita anteriormente.

Quadro 5.3 – Aplicação de Variáveis em Área Pública com Espaço Disponível

VARIÁVEL	OBSERVAÇÃO
Área Superficial Ocupada pela TC	Há disponibilidade de espaço para implantação de TC de grande porte
Necessidade de Áreas Superficiais Contínuas	Com espaços disponíveis e existindo a possibilidade de implantações menores em mais espaços
Esforços e Vibrações Externas	Sem grande circulação de veículos
Interferência com Instalações Subterrâneas	Local com edificações já existentes, possuindo instalações subterrâneas
Possibilidade de Integração com o Sistema de Drenagem Existente	Área residencial, possuindo sistema de drenagem existente, facilitando sua integração
Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas	Não há áreas privadas significativas
Disponibilidade de Áreas Públicas	Há áreas públicas significativas
Interferência das Obras de Implantação com as Atividades Existentes	Não há grande tráfego de veículo ou circulação de pessoas no local
Aceitação pela População	Área residencial é importante a aprovação pela população
Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos	Há possibilidade de integração com o sistema viário ou estacionamentos
Possibilidade de Usos Múltiplos	Há possibilidade de alguns usos múltiplos
Possibilidade de Reurbanização	Área de difícil reurbanização
Possibilidade de Fraudes e Usos Indevidos	População pode fazer mau uso da TC
Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos Receptores	Local já urbanizado, dificultando o lançamento em diferentes pontos

Fonte: Autora, 2021.

Feita a análise das variáveis de acordo com a área residencial com espaço livre estudada, foi possível montar uma Matriz (Quadro 5.4) comparativa como foi feito da área anteriormente estudada, para facilitar a percepção de quais TC são mais propícias a serem implantadas nessa determinada situação.

Quadro 5.4 – Matriz Variáveis x TC para Área Residencial com Espaço Disponível

VARIÁVEL	TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS								
	BD/BR	JC	TI	VL	PP	PI	RI	TV	FG
Área Superficial Ocupada pela TC	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Necessidade de Áreas Superficiais Contínuas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Esforços e Vibrações Externas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Interferência com Instalações Subterrâneas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Integração com o Sistema de Drenagem Existente	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Disponibilidade de Áreas Públicas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Interferência das Obras de Implantação com as Atividades Existentes	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Aceitação pela População	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Usos Múltiplos	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Reurbanização	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Fraudes e Usos Indevidos	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos Receptores	■	■	■	■	■	■	■	■	■

*Ver legenda do Quadro 5.2

Fonte: Autora, 2021.

Com a criação do Quadro 5.4, foi possível observar que a área residencial com espaços disponível estudada possui maior possibilidade para a implantação de quaisquer tipos de TC devido a sua disponibilidade de espaço. Neste tipo de local, diferentemente

da área residencial sem espaços livres, é possível a implantação de TC como bacias de retenção e jardins de chuva dependendo do tamanho de área disponível. Para a implantação dessas TC, é necessária a remoção de canteiros existentes para facilitar a infiltração da água de chuva escoada no local.

Por mais que possuam disponibilidade de espaço, também é possível a utilização de TC que não precisam necessariamente de espaços contínuos, podendo ser construídas em diversos pontos da área, facilitando sua infiltração e ajudando na integração com o sistema de drenagem já existente.

Ainda dentro de uma região residencial e possuindo fluxo de veículos, é preciso avaliar as variáveis “Esforços e Vibrações Externas” e “Uso de Área de Circulação e Estacionamento de Veículos” com cautela, pois existe também a possibilidade de utilização de TC com pavimentos permeáveis, trincheiras ou faixas gramadas não somente dentro de praças, mas também nas sarjetas.

Como dito na situação anteriormente estudada, por se tratar de uma área localizada em um meio urbano já existente, existe a dificuldade de dispersão do lançamento em diferentes pontos dos corpos receptores, além também, da possibilidade de fraudes e usos indevidos e a interferência com instalações subterrâneas existentes.

A possibilidade de usos múltiplos aumenta quando é possível implantar qualquer tipo de TC no espaço disponível, existindo também a possibilidade além da integração entre TC, mas também a criação dentro de espaços disponíveis como parques, áreas de lazer, estacionamento, dentre outros.

5.4.3 Área Comercial

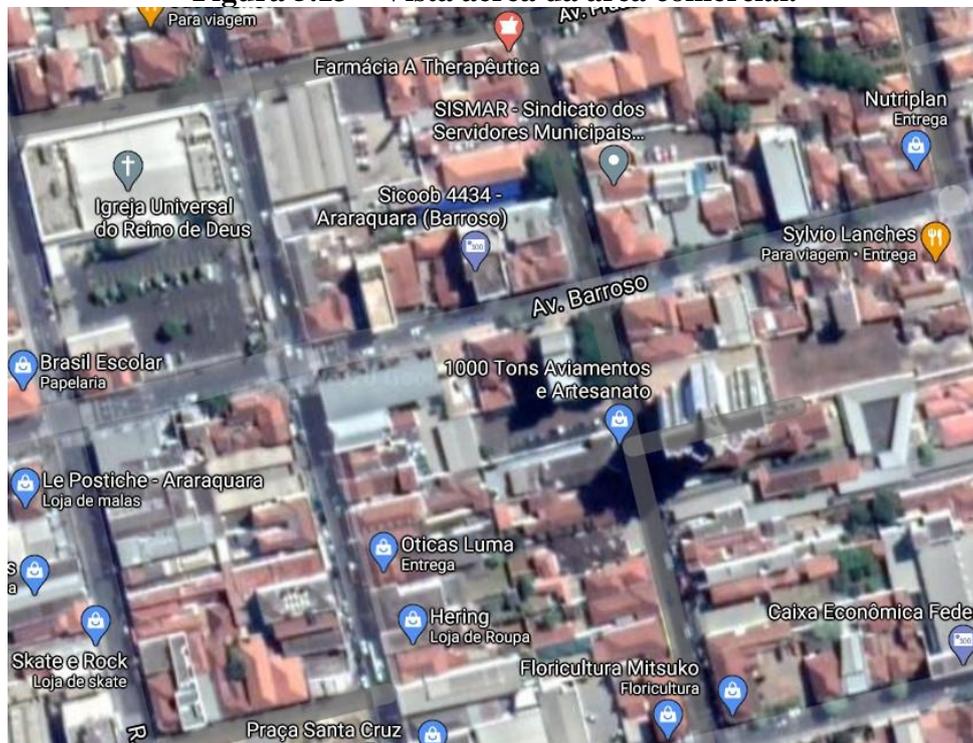
A cidade conta com um centro comercial bastante movimentado, que segue a mesma linha que o restante do município, com ruas curtas e asfaltadas, calçadas estreitas e impermeáveis, e dependendo do local, sem a disponibilidade de árvores ou arbustos na região.

A principal área comercial da cidade é situada na região central de Araraquara, encontrando diversos tipos de comércios, desde lojas, salões lanchonetes, restaurantes, escolas, bares, igrejas, dentre outros. O local possui maior densidade de fluxo de pessoas durante o horário comercial do município (9:00-18:00), existindo muitas vezes trânsito e congestionamento pelas vias de acesso.

Por ser um local densamente ocupado, sua impermeabilidade é inevitável, tanto devido às ruas, como para a comodidade para a passagem e acessibilidade de pessoas.

A área comercial dada como exemplo de estudo dentro da bacia, mostrada na 5.13, situa-se as Avenidas Prudente de Moraes e Barroso e as Ruas Gonçalves Dias e Nove de Julho.

Figura 5.13 – Vista aérea da área comercial.



Fonte: Google Maps, 2021.

Esta área, além de possuir características parecidas com a área residencial sem espaços livres, também possui o desafio adicional de se avaliar a gravidade na interferência de obras de implantação com as atividades já existentes, devido ao fluxo de veículos e pedestres que ocorre diariamente nesta região. Outra diferença agravante é o fato de que vagas de estacionamento são bem mais valorizadas nesta região da cidade.

Como é mostrado nas Figuras 5.14 e 5.15, o maior problema está relacionado à grande circulação na região, tanto de pessoas como de automóveis, sendo preciso averiguar os esforços e vibrações que ocorrem no local e, a possibilidade do uso de áreas de circulação e estacionamento de veículos para a implantação de TC, otimizando os espaços existentes.

Por ser uma área relativamente afastada da “calha” (hoje tamponada) do Córrego da Servidão, onde ocorre a maior parte dos alagamentos, a chuva consegue escoar, mas muitas vezes gerando grandes enxurradas pelo meio fio e assim, facilitando o transporte de resíduos sólidos e a contaminação da água.

Figura 5.14 – Vista Rua Nove de Julho

Fonte: Autora, 2021.

Figura 5.15 – Vista Rua Nove de Julho

Fonte: Autora, 2021.

Para a melhor compreensão da possibilidade de implantação de TC em meio urbano utilizando as variáveis anteriormente definidas, foi possível montar o Quadro 5.5, para a aplicação em área predominantemente comercial.

Quadro 5.5 – Aplicação de Variáveis em Área Comercial

VARIÁVEL	OBSERVAÇÃO
Área Superficial Ocupada pela TC	Não há disponibilidade de espaço para implantação de TC de grande porte
Necessidade de Áreas Superficiais Contínuas	Sem espaços disponíveis, existe a possibilidade de implantações menores em mais espaços
Esforços e Vibrações Externas	Área com grande circulação de veículos
Interferência com Instalações Subterrâneas	Local com edificações já existentes, possuindo instalações subterrâneas
Possibilidade de Integração com o Sistema de Drenagem Existente	Sistema de Drenagem já existente, facilitando a integração com o mesmo
Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas	Não há áreas privadas significativas
Disponibilidade de Áreas Públicas	Não há disponibilidade de áreas públicas significativas
Interferência das Obras de Implantação com as Atividades Existentes	Área comercial podendo ocorrer problemas durante a implantação de TC
Aceitação pela População	Área comercial é importante a aprovação pela população
Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos	Há possibilidade de integração com o sistema viário ou estacionamentos
Possibilidade de Usos Múltiplos	Há possibilidade de alguns usos múltiplos
Possibilidade de Reurbanização	Área de difícil reurbanização
Possibilidade de Fraudes e Usos Indevidos	População pode fazer mau uso da TC
Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos Receptores	Local já urbanizado, dificultando o lançamento em diferentes pontos

Fonte: Autora, 2020.

Com a análise das variáveis na área comercial para a implantação de TC neste local, foi possível a criação do Quadro 5.6 para a avaliação de TC para esta situação estudada.

Quadro 5.6 – Matriz Variáveis x TC para Área Comercial

VARIÁVEL	TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS								
	BD/BR	JC	TI	VL	PP	PI	RI	TV	FG
Área Superficial Ocupada pela TC	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Necessidade de Áreas Superficiais Contínuas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Esforços e Vibrações Externas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Interferência com Instalações Subterrâneas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Integração com o Sistema de Drenagem Existente	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Disponibilidade de Áreas Públicas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Interferência das Obras de Implantação com as Atividades Existentes	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Aceitação pela População	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Usos Múltiplos	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Implantação em Áreas de Reurbanização	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Fraudes e Usos Indevidos	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos Receptores	■	■	■	■	■	■	■	■	■

*Ver legenda do Quadro 5.2

Fonte: Autora, 2021.

Com características parcialmente similares com a área residencial sem espaços livres, a possibilidade para a implantação de TC de grande porte se torna inviável. Mas, igualmente a outra área estudada, a utilização de TC que não necessitam de espaços contínuos para a sua implantação, é algo a ser avaliado.

A utilização de poços de infiltração neste tipo de área e nas áreas residenciais também é uma opção, pois necessita de pequenos espaços e pode ser distribuída por diferentes locais.

Reservatórios individuais também são uma opção a serem utilizadas dentro das áreas privadas, pois também ocupam pequenos espaços e não precisam ser necessariamente enterrados, e também, com a possibilidade da água armazenada para usos residenciais não potáveis. Mas, juntamente com essas possibilidades, também existe a aceitação da população para que se possa adotar tais TC, precisando assim possivelmente de incentivos fiscais e educação ambiental.

A utilização de telhados verdes também acaba sendo inviável devido ao número de edificações antigas existentes que possuem telhas cerâmicas e assim, necessitando de uma reestruturação nas edificações para a sua implantação e possivelmente dificultando a utilização desta TC nessa situação.

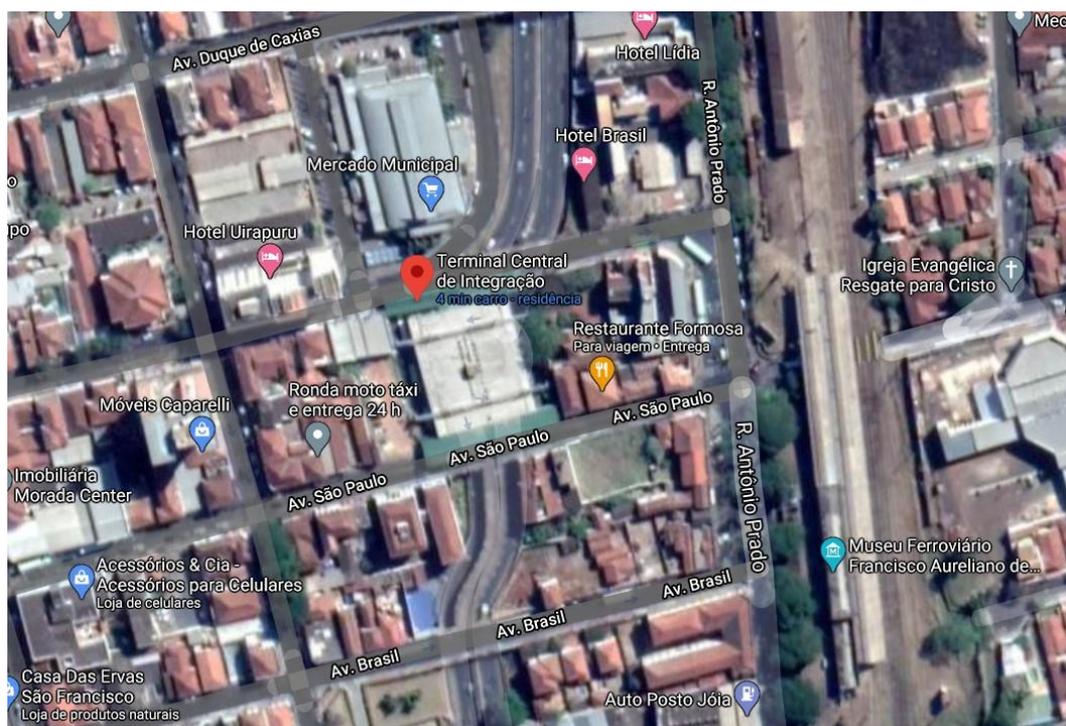
Embora a área comercial apresente, em geral, condições mais desfavoráveis, um aspecto que poderia ser positivo e que já ocorre em muitas cidades é a restrição à circulação de veículos, com favorecimento aos pedestres (“calçadões” ou similares). Esta solução poderia incorporar algumas TC, uma vez que as áreas disponíveis aumentariam e a utilização de vegetação pode fazer parte do projeto.

5.4.4 Área de Ocorrência de Alagamentos

Além das regiões predominantes em termos de extensão dentro da bacia estudada, foi considerado um exemplo pontual de uma área onde ocorrem alagamentos frequentes em épocas de chuva na cidade. Esta área está localizada também na região central da cidade, abaixo do Terminal Central de Integração de Ônibus (Figura 5.16), na Avenida Maria Antônia de Camargo Oliveira, popularmente conhecida como Via Expressa, como é mostrada nas Figuras 5.17, 5.18 e 5.19.

Apesar de existirem algumas áreas verdes pelo entorno da via, como mostrado nas figuras, elas estão em um plano mais elevado, não conseguindo atuar como pontos de infiltração que poderiam auxiliar na drenagem da água pluvial.

Figura 5.16 – Mapa de Localização do Terminal Central de Integração



Fonte: Google Maps, 2021.

Figura 5.17 – Vista Superior do Terminal Central de Integração em Araraquara – SP.



Fonte: Autora, 2021.

Figura 5.18 – Terminal Central de Integração em Araraquara – SP.



Fonte: Autora, 2021.

Figura 5.19 – Região abaixo do Terminal onde ocorrem alagamentos



Fonte: Autora, 2021.

Esta região apresenta problemas recorrentes em épocas de chuva, causando alagamentos na região devido à impermeabilização do solo na bacia a montante e ao mau funcionamento do sistema de drenagem existente. A Figura 5.20 mostra uma ocorrência de alagamento nesta região em um evento de chuva intensa na cidade.

O principal fator que deve ser levado em consideração no estudo deste local é o tráfego de automóveis, que poderá trazer problemas no momento da implantação de TC no local.

Mesmo com a disponibilidade de bocas-de-lobo e um piso parcialmente drenante (como é mostrado na Figura 5.19) na área de estacionamento de ônibus e alguns veículos, os dispositivos não são suficientes para conduzir o escoamento superficial gerado, que se concentra nos pontos mais baixos e acarretando os alagamentos recorrentes.

É relevante observar que o Córrego da Servidão, que é totalmente canalizado e tamponado, passando exatamente embaixo desta via, dificultando ainda mais o escoamento da chuva e sofrendo também problemas de contaminação da água drenada.

Figura 5.20 – Alagamento na Via Expressa



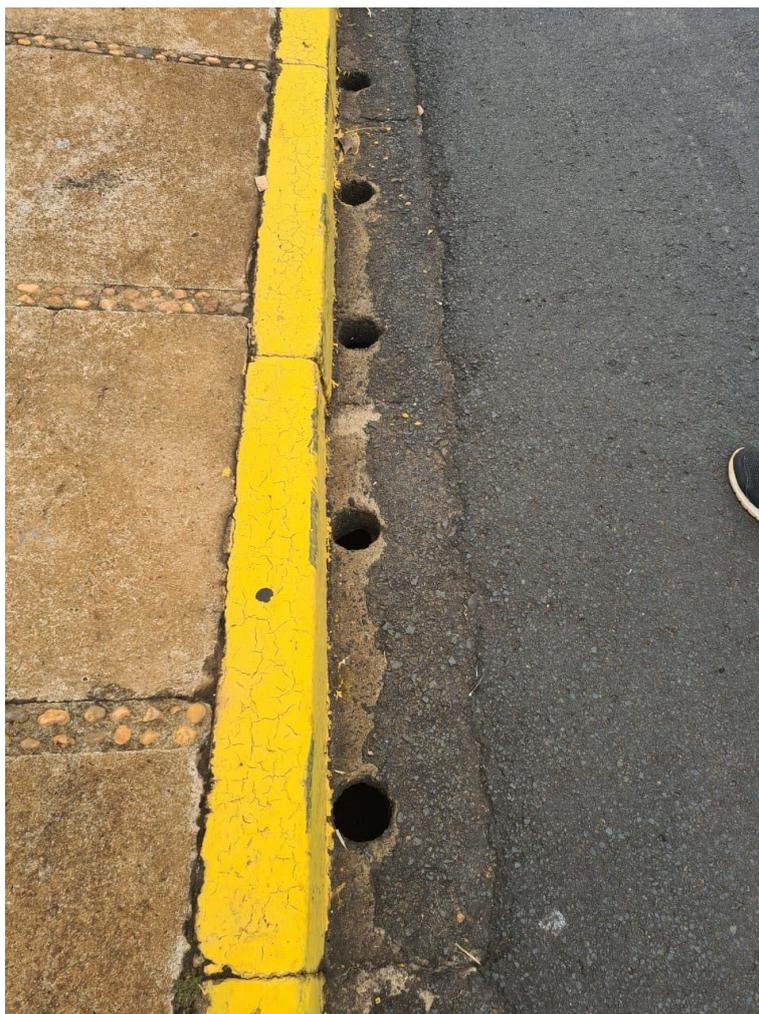
Fonte: G1 São Carlos e Araraquara, 2014.

Quando ocorrem esses alagamentos, todo esse trecho da Via Expressa precisa ser interditado até a diminuição do volume da água escoada, gerando assim, problemas com o trânsito local, necessitando de profissionais para orientar um trajeto alternativo e de profissionais para sanar momentaneamente o problema de drenagem.

Pela existência do Córrego da Servidão logo abaixo da Via, e por ela ser totalmente impermeabilizada, além do fato de possuírem diferentes dimensões de tubulações ao longo da canalização do córrego, ocorre uma junção de fatores que precisam ser avaliados pelos órgãos públicos para uma solução definitiva.

É válido ressaltar que nesse local já existem técnicas de drenagem comuns, como uma espécie de sarjeta com pequenos buracos como bocas-de-lobo por todo seu percurso (Figura 5.21), para tentar minimizar o escoamento da água de chuva do local, mas não obtendo muito sucesso.

Figura 5.21 – Drenagem na Via Expressa



Fonte: Autora, 2021.

Neste tipo de situação é relevante observar que as técnicas convencionais já não possuem ação significativa na drenagem da água da chuva, necessitando recorrer à utilização de TC combinado com um possível replanejamento local. Infelizmente, por ser um local de grande acesso, a execução de obras, principalmente de maior vulto, causaria impactos significativos.

A análise das variáveis nesta área é apresentada no Quadro 5.7.

Quadro 5.7 – Aplicação de Variáveis em Área de Ocorrência de Alagamentos

VARIÁVEL	OBSERVAÇÃO
Área Superficial Ocupada pela TC	Não há disponibilidade de espaço para implantação de TC de grande porte
Necessidade de Áreas Superficiais Contínuas	Sem espaços disponíveis, existe a possibilidade de implantações menores em mais espaços
Esforços e Vibrações Externas	Área com grande circulação de veículos
Interferência com Instalações Subterrâneas	Local com edificações já existentes, possuindo instalações subterrâneas
Possibilidade de Integração com o Sistema de Drenagem Existente	Sistema de Drenagem já existente, facilitando a integração com o mesmo
Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas	Não há áreas privadas significativas
Disponibilidade de Áreas Públicas	Não há disponibilidade de áreas públicas significativas
Interferência das Obras de Implantação com as Atividades Existentes	Área de tráfego podendo ocorrer problemas durante a implantação de TC
Aceitação pela População	Área de tráfego, é importante a aprovação pela população
Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos	Há possibilidade de integração com o sistema viário ou estacionamentos
Possibilidade de Usos Múltiplos	Há possibilidade de alguns usos múltiplos
Possibilidade de Reurbanização	Área de difícil reurbanização
Possibilidade de Fraudes e Usos Indevidos	População pode fazer mau uso da TC
Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos Receptores	Local já urbanizado, dificultando o lançamento em diferentes pontos

Fonte: Autora, 2020.

A partir da análise das variáveis para a área de ocorrência de alagamentos, foi possível montar o Quadro 5.8 para a avaliação da utilização de cada TC nesta situação estudada, melhorando a compreensão das possibilidades disponíveis para esta área.

Quadro 5.8 – Matriz Variáveis x TC para Área de Ocorrência de Alagamentos

VARIÁVEL	TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS								
	BD/BR	JC	TI	VL	PP	PI	RI	TV	FG
Área Superficial Ocupada pela TC	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Necessidade de Áreas Superficiais Contínuas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Esforços e Vibrações Externas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Interferência com Instalações Subterrâneas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Integração com o Sistema de Drenagem Existente	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Disponibilidade de Áreas Públicas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Interferência das Obras de Implantação com as Atividades Existentes	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Aceitação pela População	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Usos Múltiplos	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Reurbanização	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Fraudes e Usos Indevidos	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos Receptores	■	■	■	■	■	■	■	■	■

*Ver legenda do Quadro 5.2

Fonte: Autora, 2021.

Por ser um local completamente concretado e asfaltado, a disponibilidade de espaço para implantação de TC é escasso, dificultando a possibilidade da utilização de TC como bacias ou jardins de chuva.

A implantação de outras TC, quaisquer que fossem, também não pode ser feita diretamente na avenida devido ao fluxo intenso de veículos, necessitando a avaliação da implantação nas sarjetas, nas calçadas ou nos canteiros no local. Observa-se que a via não apresenta canteiro central, apenas uma faixa estreita separando as pistas de sentido oposto.

Deve-se observar, por fim, que esta área está no ponto mais baixo da bacia, onde as TC têm atuação mais limitada, uma vez que a água escoada pela bacia já terá se acumulado e o tempo de concentração já terá sido reduzido.

5.4.5 Área do Estádio da Arena Fonte Luminosa

Além da área residencial com espaços disponíveis, existem locais amplamente espaçosos com configurações para possíveis utilizações de diversas maneiras por sua disponibilidade de espaço. Esses locais possuem espaços livres ou estacionamentos que podem favorecer muito a implantação de TC.

Por serem locais abertos e espaçosos é importante pensar além do problema da drenagem de águas pluviais, mas também na possibilidade de soluções para convívio social, adaptando o projeto de escoamento de águas juntamente com o projeto local.

Uma área de exemplo com espaços disponíveis diferente da área residencial é a área do Estádio da Arena da Fonte Luminosa que está localizada no bairro do Jardim Primavera, que fica acima da nascente da microbacia estudada, como é mostrado na Figura 5.22, e possuindo acesso principal pela Rua Mauro Pinheiro.

Este local possui bastante espaço disponível, além de infraestruturas que têm potencial para serem associadas a TC e estas podem ser melhor aproveitadas.

O complexo do Estádio da Arena da Fonte Luminosa (Figura 5.23 e 5.24) é composto por diversos elementos construtivos e espaços abertos, o que facilita a implantação de qualquer tipo de TC, além de propiciar a infiltração da água escoada que já é drenada atualmente. Suas vantagens são inúmeras devido a todos os locais e espaços abertos disponíveis, gerando grandes possibilidades de integração com o paisagismo e as estruturas existentes no local.

Com a possibilidade de implantação de TC também em seu amplo estacionamento e espaços vazios, o complexo do Estádio da Arena da Fonte Luminosa

se torna um grande atrativo para uma possível iniciativa de criação de TC que possam conviver diretamente com a população.

Figura 5.22 – Mapa de Localização do Estádio da Arena Fonte Luminosa



Fonte: Adaptado, Google Maps, 2021.

Figura 5.23 – Estádio da Arena Fonte Luminosa.



Fonte: Autora, 2021.

Figura 5.24 – Estádio da Arena Fonte Luminosa



Fonte: Autora, 2021.

Uma característica desfavorável desta área é o fato de estar localizada no ponto mais alto da microbacia. Portanto, o efeito das TC que poderiam ser implantadas, em termos de retenção, detenção, infiltração e evaporação, seria limitado à chuva que ocorre na própria área, não recebendo contribuições de montante. Assim, trata-se de uma área menos significativa para a redução do pico e do volume de escoamento da microbacia como um todo.

A área da Arena Fonte Luminosa possui diversos espaços disponíveis, contado com o espaço disponível do CEAR – Centro de Eventos de Araraquara e Região (Figura 5.25), um amplo espaço de estacionamento onde também são praticadas aulas para novos motoristas de veículos tirarem habilitação (Figura 5.26), espaço para área de alimentação com diversos quiosques (Figura 5.27), quadras poliesportivas cobertas (Figura 5.28), mini campo de futebol (Figura 5.29) e pista de skate (Figura 5.30), além de playground e equipamentos esportivos, que facilitam para implantação de TC que precisam de área superficial.

Figura 5.25 – CEAR – Centro de Eventos de Araraquara e Região



Fonte: Autora, 2021.

Figura 5.26 – Estacionamento utilizado para aulas práticas de direção



Fonte: Autora, 2021

Figura 5.27 – Quiosques para alimentação



Fonte: Autora, 2021.

Figura 5.28 – Quadra Poliesportiva Coberta



Fonte: Autora, 2021.

Figura 5.29 – Mini Campo de Futebol



Fonte: Autora, 2021.

Quadro 5.9 – Aplicação de Variáveis em Área do Estádio da Fonte Luminosa

VARIÁVEL	OBSERVAÇÃO
Área Superficial Ocupada pela TC	Há disponibilidade de espaço para implantação de TC de grande porte
Necessidade de Áreas Superficiais Contínuas	Com espaços disponíveis e existindo a possibilidade de implantações menores em mais espaços
Esforços e Vibrações Externas	Sem grande circulação de veículos*
Interferência com Instalações Subterrâneas	Local com edificações já existentes, possuindo instalações subterrâneas
Possibilidade de Integração com o Sistema de Drenagem Existente	Área social, possuindo sistema de drenagem existente, facilitando sua integração
Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas	Não há áreas privadas significativas
Disponibilidade de Áreas Públicas	Há áreas públicas significativas
Interferência das Obras de Implantação com as Atividades Existentes	Não há grande tráfego de veículo ou circulação de pessoas no local*
Aceitação pela População	Área social é importante a aprovação pela população
Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos	Há possibilidade de integração com o sistema viário ou estacionamentos
Possibilidade de Usos Múltiplos	Há possibilidade de alguns usos múltiplos
Possibilidade de Reurbanização	Área de difícil reurbanização
Possibilidade de Fraudes e Usos Indevidos	População pode fazer mau uso da TC
Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos Receptores	Local já urbanizado, dificultando o lançamento em diferentes pontos

*Grande circulação de veículos e pessoas somente em dias de evento.

Fonte: Autora, 2021.

Com a análise das variáveis para a área do estádio municipal como uma área de espaços disponíveis diferente da área residencial, foi possível criar o Quadro 5.10 para a avaliação da utilização de cada TC nesta situação estudada.

Quadro 5.10 – Matriz Variáveis x TC para Área do Estádio da Fonte**Luminosa**

VARIÁVEL	TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS								
	BD/BR	JC	TI	VL	PP	PI	RI	TV	FG
Área Superficial Ocupada pela TC	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Necessidade de Áreas Superficiais Contínuas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Esforços e Vibrações Externas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Interferência com Instalações Subterrâneas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Integração com o Sistema de Drenagem Existente	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Disponibilidade de Áreas Públicas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Interferência das Obras de Implantação com as Atividades Existentes	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Aceitação pela População	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Usos Múltiplos	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Reurbanização	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Fraudes e Usos Indevidos	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos Receptores	■	■	■	■	■	■	■	■	■

*Ver legenda do Quadro 5.2

Fonte: Autora, 2021.

Esta área, por possuir espaço disponível, facilita a implantação de qualquer tipo de TC. Com a disponibilidade de área de estacionamento, facilita principalmente na utilização de TC de infiltração, além da possível associação entre elas.

Com a existência de uma quadra de esportes e pista de skate, a adaptação para bacia de detenção ou retenção em épocas de chuvas é uma possibilidade a ser implantada no local, também podendo ser associada a outras TC em seu entorno.

Uma solução é a utilização de TC como pavimentos permeáveis ou trincheiras de infiltração na parte do estacionamento existentes, e até mesmo, a possibilidade de criação de valas de infiltração ou jardins de chuva em locais com maiores espaços.

A única TC que talvez seja inviável para este local seria o telhado verde, pois seria necessária uma reestruturação da estrutura das edificações para sua implantação, tornando assim, um custo-benefício talvez não vantajoso.

Áreas não residenciais com espaços disponíveis são importantes para oportunidades como a implantação de TC para a educação ambiental local, conseguindo exemplificar para a população suas vantagens e qualidades, para talvez, uma possível utilização de TC em seus bairros ou residências.

5.4.6 Área Ferroviária (Rumo – Araraquara) – Área em Reurbanização

Áreas de reurbanização normalmente são locais onde já existiram algum tipo de edificação ou ainda existem, mas não possuem mais a mesma utilidade, necessitando de estudos para dar uma nova funcionalidade ao local.

Algumas áreas como fábricas e indústrias desativas, prédios abandonados, terrenos baldios, se tornam áreas sem utilização, criando atrativos para novos projetos, flexibilizando os existentes ou possibilitando a criação desde o início da obra.

Em Araraquara existem áreas em estudo que serão desativadas futuramente, possibilitando a criação de novos projetos antes mesmo da desocupação do local.

Um exemplo de área em reurbanização é a área ferroviária (Figura 5.31), mostrada em roxo no mapa aéreo da cidade, onde hoje é propriedade da empresa Rumo, localizada entre à Avenida Maria Antônia de Camargo Oliveira (Via Expressa) e o bairro da Vila Xavier, tem a integração entre o centro e a Vila feita através de três pontilhões: Pontilhão da Barroso (Av. Padre Cezarino); Pontilhão Vinte e dois de Agosto (Av. Duque de Caxias); e o Pontilhão da Estrada de Ferro (Av. Santo Antônio).

Figura 5.31 – Mapa de Localização da Área Ferroviária

Fonte: Google Maps, adaptado, 2021.

Esta área está há tempos em debate sobre sua desativação, com projetos para a sua revitalização, se tornando assim, uma área de reurbanização. Por possuir disponibilidade de espaço e flexibilidade para implantação de TC, suas oportunidades são diversas

Apesar de ser uma área de espaços amplos, por seu nível estar acima da avenida e também próxima a área onde possui ocorrência de alagamentos estudada anteriormente, é possível avaliar a possibilidade da utilização das duas áreas complementarmente para a solução ou mitigação dos problemas recorrentes encontrados.

A área está praticamente desocupada, passando alguns trens de carga, mas também possuindo um “cemitério” de vagões desocupados como é mostrado parcialmente nas Figuras 5.32 e 5.33, mostrando o quanto de espaço disponível esta área possui e sua alta potencialidade para futuros projetos sustentáveis no local. Além disso, devido ao transporte de alimentos, líquidos, combustíveis e outros, a limpeza do solo é algo de fundamental importância para ser tratado antes de qualquer implantação de futuras estruturas.

Figura 5.32 – Área Ferroviária.



Fonte: Autora, 2021.

Figura 5.33 – Área Ferroviária.



Fonte: Autora, 2021.

A região, composta por muito verde, árvores e diversas possibilidades para implantação de novos projetos, poderá se tornar um diferencial e um ponto de referência de sustentabilidade para cidades modernas.

Esta área possui a vantagem de ter disponibilidade de espaço, diferentemente de locais onde existam grandes construções que necessitam ser demolidas antes da implantação de um novo projeto de reurbanização.

Figura 5.34 – Área Ferroviária



Fonte: Autora, 2021.

Porém, por mais que esta seja uma área com espaço disponível e sujeita a reurbanização, seu entorno é densamente impermeabilizado devido as avenidas de acesso para os bairros da cidade, como é mostrado na Figura 5.34. As variáveis de urbanização, foram avaliadas no Quadro 5.11 para a implantação de TC nesta situação.

Quadro 5.11 – Aplicação de Variáveis em Área Próxima à Ferrovia

VARIÁVEL	OBSERVAÇÃO
Área Superficial Ocupada pela TC	Há disponibilidade de espaço para implantação de TC de grande porte
Necessidade de Áreas Superficiais Contínuas	Com espaços disponíveis e existindo a possibilidade de implantações menores em mais espaços
Esforços e Vibrações Externas	Sem grande circulação de veículos
Interferência com Instalações Subterrâneas	Há instalações existentes que poderão ser retiradas
Possibilidade de Integração com o Sistema de Drenagem Existente	Área com edificações, possuindo sistema de drenagem existente, facilitando sua integração
Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas	Não há áreas privadas significativas
Disponibilidade de Áreas Públicas	Há áreas públicas significativas
Interferência das Obras de Implantação com as Atividades Existentes	Não há grande tráfego de veículo ou circulação de pessoas no local
Aceitação pela População	Área de convívio social é importante a aprovação pela população
Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos	Há possibilidade de integração com o sistema viário ou estacionamentos
Possibilidade de Usos Múltiplos	Há possibilidade de alguns usos múltiplos
Possibilidade de Reurbanização	Área de reurbanização
Possibilidade de Fraudes e Usos Indevidos	População pode fazer mau uso da TC
Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos Receptores	Local em reurbanização, facilitando o lançamento em diferentes corpos receptores

Fonte: Autora, 2021.

Feita a análise das variáveis para a área ferroviária de reurbanização local, foi possível a avaliação das principais variáveis que precisam ser observadas para a implantação de TC nesta situação estudada, gerando assim o Quadro 5.12 para uma melhor compreensão.

Quadro 5.12 – Matriz Variáveis x TC para Área Próxima a Ferrovia

VARIÁVEL	TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS								
	BD/BR	JC	TI	VL	PP	PI	RI	TV	FG
Área Superficial Ocupada pela TC	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Necessidade de Áreas Superficiais Contínuas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Esforços e Vibrações Externas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Interferência com Instalações Subterrâneas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Integração com o Sistema de Drenagem Existente	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Disponibilidade de Áreas Públicas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Interferência das Obras de Implantação com as Atividades Existentes	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Aceitação pela População	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Usos Múltiplos	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Reurbanização	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Possibilidade de Fraudes e Usos Indevidos	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos Receptores	■	■	■	■	■	■	■	■	■

*Ver legenda do Quadro 5.2

Fonte: Autora, 2021.

Por ser uma área com disponibilidade de espaços e principalmente a ser reurbanizada, a possibilidade de utilização de qualquer TC é algo a ser levado em

consideração, pois como será uma região a ser reestruturada por completo, é possível projetar pensando na não ocorrência de problemas futuros ao invés de tentar solucionar problemas já existentes na região.

A possibilidade de implantação de Jardins de Chuva é uma alternativa interessante para a composição paisagística do local, valorizando o aspecto estético e ajudando na provável aceitação da população que irá passar por lá.

As bacias de detenção ou retenção são TC que podem ser utilizadas como usos múltiplos, na criação de quadras esportivas, parques, pistas de skate ou patinação, gerando lazer para a população.

Por ser uma área em reurbanização, e possivelmente haverá alguma edificação com cobertura, é possível antecipar um projeto com telhado verde, podendo até virar um jardim suspenso para visitação.

Mesmo sendo uma área que será praticamente reformulada do início, talvez exista o desafio de conseguir a dispersão de lançamentos em diferentes pontos de corpos receptores, devido as outras construções já existentes no local.

Devido a sua localização central na cidade, passando ao lado de uma via de tráfego intenso do município, qualquer obra que será feita irá sofrer impacto da sua implantação com as obras já existentes, talvez gerando problemas de logística durante sua implantação.

5.5 Variáveis Principais

Após a avaliação dos diferentes cenários na microbacia estudada no município de Araraquara – SP, foi possível avaliar quais variáveis foram predominantemente decisivas para serem analisadas antes da implantação de TC em áreas já urbanizadas.

A variável “Área Superficial Ocupada pela TC” é fundamental, pois mesmo em áreas com espaços disponíveis ou sem espaços disponíveis, o tamanho necessário que uma possível TC a ser implantada irá tomar, também reflete em outras variáveis como a possibilidade de usos múltiplos e aceitação pela população.

A “Possibilidade de Integração com Sistema de Drenagem Existente” reflete diretamente sobre os custos da implantação de TC, pois se não houver um sistema de drenagem ou existir a necessidade de a construção ou manutenção de um novo sistema, os seus custos de implantação serão maiores.

Por todas as áreas estudadas serem dentro da região urbana da cidade de Araraquara, a variável “Interferência com Instalações Subterrâneas” acontece em todas

as situações, sendo um ponto principal a ser analisado antes da implantação de TC em qualquer local já urbanizado.

Para melhor analisar as situações estudadas, foi preciso a avaliação dos quadros obtidos para cada tipo de local de estudo, permitindo uma comparação para a verificação de quais variáveis possuem maior importância na implantação de TC em meio já urbanizado. Para isso, foi preciso a junção de todos os quadros em miniaturas para a comparação das cores que mais aparecem no geral, mostrados na Figura 5.35, para que através disso, conseguir fazer uma análise final da microbacia como um todo.

Figura 5.35 – Comparação de Quadros de Variáveis

		VARIÁVEIS													
		TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS													
		Área Superficial Ocupada pela TC	Necessidade de Áreas Superficiais	Esforços e Vibrações Externas	Interferência com Instalações Subterrâneas	Possibilidade de Integração com o Sistema de Drenagem Existente	Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas	Disponibilidade de Áreas Públicas	Interferências das Obras de Implantação com as Atividades	Aceitação pela População	Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos	Possibilidade de Usos Múltiplos	Possibilidade de Reurbanização	Possibilidade de Fraudes e Usos Indevidos	Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos
ÁREA FERROVIÁRIA	BD														
	JC														
	TI														
	VL														
	PP														
	PI														
	RI														
ÁREA ESTÁDIO	BD														
	JC														
	TI														
	VL														
	PP														
	PI														
	RI														
ÁREA ALAGAMENTO	BD														
	JC														
	TI														
	VL														
	PP														
	PI														
	RI														
ÁREA COMERCIAL	BD														
	JC														
	TI														
	VL														
	PP														
	PI														
	RI														
ÁREA RES. SEM ESPAÇO	BD														
	JC														
	TI														
	VL														
	PP														
	PI														
	RI														
ÁREA RES. COM ESPAÇO	BD														
	JC														
	TI														
	VL														
	PP														
	PI														
	RI														
TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS	BD														
	JC														
	TI														
	VL														
	PP														
	PI														
	RI														

Fonte: Autora, 2021

Com a avaliação mais detalhada das variáveis a serem aplicadas em cada local estudado, foi possível analisar quais TC melhor se encaixam para suprir as necessidades apresentadas em cada situação, assim, conseguindo montar um quadro (Quadro 5.13), que foi capaz de avaliar a implantação de TC dentro da microbacia como um todo.

Quadro 5.13 – Matriz Variáveis x TC para microbacia em geral

VARIÁVEL	TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS								
	BD/BR	JC	TI	VL	PP	PI	RI	TV	FG
Área Superficial Ocupada pela TC	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Necessidade de Áreas Superficiais Contínuas	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Esforços e Vibrações Externas	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Interferência com Instalações Subterrâneas	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Possibilidade de Integração com o Sistema de Drenagem Existente	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Possibilidade de Implantação em Áreas Privadas	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Disponibilidade de Áreas Públicas	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Interferência das Obras de Implantação com as Atividades Existentes	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Aceitação pela População	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Uso de Áreas de Circulação e Estacionamento de Veículos	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Possibilidade de Usos Múltiplos	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Possibilidade de Reurbanização	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Possibilidade de Fraudes e Usos Indevidos	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos Receptores	●	●	●	●	●	●	●	●	●

(●) Não favorável para implantação; (●) Favorável para implantação; (●) Depende da

área

Fonte: Autora, 2021.

Analisando o Quadro 5.14 para esta microbacia do Córrego da Servidão em geral, foi possível observar que as TC mais favoráveis a partir das variáveis definidas foram as de infiltração e de pequeno porte, como: trincheiras de infiltração; pavimentos permeáveis; poços de infiltração; reservatórios individuais; e faixas gramadas.

As bacias de detenção e retenção e os jardins de chuva também são uma boa alternativa no auxílio da drenagem de águas pluviais, mas seu grande desafio dentro da área urbanizada é a falta de disponibilidade de espaço, dificultando a implantação das mesmas dependendo do local.

Uma variável que foi desfavorável na maioria das situações estudadas foi a “Dispersão dos Lançamentos em Diferentes Pontos dos Corpos Receptores”, pois todas as áreas estão dentro do perímetro urbano da cidade, assim, possuindo uma estrutura de desenho urbano e de drenagem que dificultam a desconcentração dos lançamentos. Apenas a Área Ferroviária que será reurbanizada permitiria eventualmente atender esta variável.

Todas as TC analisadas possuem vantagens para a sua implantação, além de trazer maior sustentabilidade no local a ser aplicada, auxiliar na drenagem de águas pluviais ajudando no seu escoamento e trazendo melhorias para a cidade.

5.6 Análise Geral das Variáveis

Todas as variáveis escolhidas para serem aplicadas em diferentes exemplos de situações foram pensadas para situações dentro de uma área já urbanizada, conseguindo avaliar suas principais características e desafios a serem encontrados que precisam ser solucionados.

Além do problema da drenagem, o fator da impermeabilização sugere que a não existência de espaços disponíveis, gerando assim, dificuldades para implantação de novas tecnologias para solucionar problemas já existentes. Com a falta de espaços disponíveis, a implantação de TC de grande porte se torna mais difícil, necessitando de processos de desapropriação de áreas e eventuais demolições para poderem ser adotadas.

Continuando com o problema da ocupação do solo, vem também a possibilidade de implantação de TC em áreas não contínuas, ou seja, podendo ser divididas e colocadas em diversas áreas da bacia para solucionar o problema, ao invés de apenas em um local com uma grande área. TC que permitem estas subdivisões são mais favoráveis.

A existência de vias de circulação diz respeito aos efeitos decorrentes de esforços e vibrações causadas pelo trânsito de veículos, sobretudo de grande porte e com velocidades mais altas, influenciando na escolha dos tipos de TC podem ser aplicadas, pois algumas possuem fragilidade e podem se deteriorar com o passar do tempo.

Como essa microbacia é situada dentro de uma área já urbanizada, isto é, já contendo edificações e diversos tipos de construções, a possibilidade de interferência com instalações subterrâneas já existentes é algo inevitável, sempre precisando avaliar as possibilidades de utilização de locais com menos instalações ou até, necessitando fazer algumas relocações das já existentes.

A possibilidade de integração com o sistema de drenagem existente é algo fundamental a ser observado, pois se tratando de uma área urbanizada, é possível fazer a associação de uma TC com o sistema local existente, reduzindo custos e aproveitando obras já realizadas.

A relação de estudar um local com áreas privadas não quer dizer necessariamente que é possível a implantação de TC nestes locais, pois é necessário avaliar a disponibilidade de espaço dentro do local, o tipo de construção (se for para implantação de telhado verde) e aceitação dos moradores locais.

Assim como as áreas privadas, a disponibilidade de áreas públicas não quer dizer necessariamente que é possível a implantação de uma TC num determinado local, necessitando a avaliação da estrutura desta área, espaço disponível, necessidade de desapropriação de construções existentes, dentre outros fatores a serem analisados.

O grande desafio de se tratar de uma área já urbanizada é pensar na facilidade de circulação da população local, principalmente no acesso para suas residências e para seus trabalhos, avaliando-se os impactos das obras para a implantação das TC. Esta questão é ainda mais significativa em áreas comerciais e em TC de maior porte ou com maiores prazos de implantação. Questões logísticas são essenciais nessas situações.

Em um contexto geral, tanto para a implantação de TC em locais privados ou públicos, a aceitação da população é fundamental, levando como indicador se as pessoas irão usufruir das TC do jeito correto, trazendo conforto e bem-estar para as mesmas. Deve-se considerar que as pessoas já estão presentes e utilizam os espaços previamente, e que as alterações, se não forem definidas de forma esclarecida e participativa, poderão ser rechaçadas ou mal utilizadas.

Algumas TC possuem a vantagem de poderem ser implantadas em locais de estacionamento ou em áreas de circulação de poucos veículos, podendo ser colocadas também em meio-fio e canteiros de ruas e avenidas.

Um diferencial das TC é a possibilidade de usos múltiplos, tanto para TC a serem implantadas, como para locais já existentes, como parques e praças que possam se adaptar com a construção de TC neste local, gerando assim, uma associação de utilidades além da drenagem propriamente dita.

O fator da implantação de uma TC em uma área em reurbanização é visto praticamente como um projeto novo, com maior flexibilidade de projeto, podendo pensar em sua implantação desde o começo, não no seu “encaixe” em um meio pré-existente. A reurbanização é possível ser vista como uma área nova disponível, podendo gerar maiores possibilidades de implantação de diversas TC em diversos contextos e utilizações.

Infelizmente com a falta de políticas públicas e educação ambiental, a possibilidade de fraudes e usos indevidos das TC é algo que está sujeito a acontecer, seja em locais privados ou públicos, como usos incorretos (desvios, entupimento, elevações etc.), despejo de resíduos sólidos, desmanche depois de aprovação, dentre outras possibilidades. Sem incentivo do próprio governo existe uma grande dificuldade para que a população consiga enxergar as TC como uma vantagem e um bem sustentável, e não como algo sem valor social.

É importante que as variáveis classificadas para serem observadas na implantação de TC em área já urbanizada, como foram descritas, sejam analisadas antes de sua construção, evitando futuros transtornos, conseguindo um estudo para melhor logística e estratégia para implantação, além da escolha da mais apropriada dependendo de cada tipo de local escolhido.

Todas as TC possuem vantagens e desvantagens que contam na hora da escolha, mas a maior necessidade é observar o meio urbano já existente antes, para conseguir a melhor associação entre o meio e a TC.

6 Cálculos de Pré-Dimensionamento das TC

Como forma de se conhecer melhor as possibilidades de implantação de TC em áreas já urbanizadas, foram elaborados alguns pré-dimensionamentos que possibilitaram se ter uma ordem de grandeza das dimensões e dos possíveis efeitos de TC, utilizando exemplos na mesma microbacia estudada.

Para fazer os cálculos de pré-dimensionamento de algumas TC, foi preciso a adoção de uma área de contribuição constituída por um quarteirão padrão, no caso da Figura 6.1, localizado entre as Ruas Ceará e Bahia, e as Avenidas Otaviano de Arruda Campos e Pedro Jacob Celli, que está localizado na área residencial sem espaços disponíveis estudada.

Figura 6.1 – Quarteirão Padrão para Pré-Dimensionamento



Fonte: Google Maps, 2021.

O quarteirão foi escolhido por ter medidas relativamente comuns, com valores praticamente arredondados, facilitando os cálculos para uma melhor compreensão do pré-dimensionamento.

Primeiramente foi preciso obter as medidas do quarteirão (Figura 6.2) para que assim, fosse possível realizar o cálculo para saber o valor total da área de contribuição da bacia nesse local.

Figura 6.2 – Área de Contribuição da Bacia



Figura: Google Maps, adaptado, 2021.

A área de contribuição foi adotada como uma área trapezoidal a partir do meio do quarteirão mais uma área retangular correspondente a meia pista de rolamento rua, como são mostradas nas contas para a área total.

Área Trapézio:

$$A = \frac{(B+b) \times H}{2}$$

Onde:

A = Área do trapézio

B = Base maior

b = Base menor

H = Altura

Logo:

$$A = \frac{(100+50) \times 40}{2} = 3.000 \text{ m}^2$$

Área do Retângulo:

A = BxH

Onde:

A = Área do Retângulo

B = base

H = Altura

Logo:

$$A = 100 \times 10 = 1.000 \text{ m}^2$$

Área total = Área Trapézio + Área Retângulo

Portanto:

$$\text{Área total} = 3.000 + 1.000 = \mathbf{4.000 \text{ m}^2}$$

A área total de contribuição encontrada nesse quarteirão foi de 4.000 m². Com esse valor, é possível agora calcular a vazão de escoamento.

Para isso, foram adotados os valores de restrição de capacidade de infiltração no solo encontrada na tabela 5.3 do Manual de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba – PR (2002), mostrado na Figura 6.3.

Na tabela são mostrados os valores mínimos para a viabilidade da capacidade de infiltração do solo em mm/h de diversos tipos de TC, das quais foram feitos alguns cálculos para relacionar o quão benéfico sua implantação seria para como para um local padrão estudado.

Figura 6.3 – Tabela de Restrições de Capacidade de Infiltração no Solo (CI)

Tabela 5.3- RESTRIÇÕES DE CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO NO SOLO

Medida de Controle MC	Capacidade de Infiltração (mmh ⁻¹)									
	0,5	1,0	1,5	2,0	4,0	7,0	13	25	60	200
Pavimento Poroso	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○
Trincheira de infiltração	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○
Vala de infiltração	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○
Poço de Infiltração	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○
Microrreservatório (*)	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○
Bacia de retenção (**)	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Bacia de retenção	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Faixa gramada	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○ viabilidade de implantação
 ● viabilidade depende de condição específica
 ● inviável, a princípio

(*) variante infiltrante (sem fundo)
 (**) caso da variante chamada de bacia de infiltração

Fonte: Curitiba, 2002.

Foram feitos cálculos de apenas algumas TC como exemplo de pré-dimensionamento para essa área padrão escolhida, como trincheira de infiltração, poço de infiltração e bacia de infiltração (correspondente como bacia de retenção na tabela).

Como os cálculos são feitos apenas para melhor compreensão, todas as TC foram pré-dimensionadas a partir do quarteirão padrão estudado, com cálculos aproximados e arredondados.

Tanto para as trincheiras de infiltração, poços de infiltração e bacias de retenção, um valor de capacidade de infiltração com viabilidade de implantação indicado na tabela é de 13 mm/h, que seria a situação mais crítica, servindo para as três TC.

Assim, transformando mm/h para m/seg, fica:

$$CI = 0,013 \text{ m}/3600 \text{ seg} = 3,6 \times 10^{-6} \text{ m/seg}$$

Logo, o a capacidade de infiltração para trincheiras de infiltração, poços de infiltração e bacias de retenção, nesse exemplo, é de $3,6 \times 10^{-6}$ m/seg.

6.1 Vazão de projeto

Para encontrar a vazão de projeto, foi necessária a utilização da Tabela 6.1, da equação de precipitações intensas em Araraquara, encontradas no arquivo do DAAE de Precipitações Intensas no Estado de São Paulo (2016).

Tabela 6.1 - Previsão de Máximas Intensidades de Chuvas em Araraquara, em mm/h.

Duração t (minutos)	Período de retorno T (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	115,8	138,2	153,1	161,5	167,4	171,9	185,9	199,8	213,6
20	86,2	104,9	117,2	124,2	129,1	132,9	144,5	156,0	167,5
30	69,1	85,4	96,2	102,2	106,5	109,8	119,9	129,9	139,9
60	44,1	56,4	64,5	69,1	72,3	74,8	82,5	90,1	97,6
120	26,3	34,7	40,3	43,5	45,7	47,4	52,6	57,9	63,0
180	19,1	25,0	28,9	31,1	32,6	33,8	37,4	41,0	44,6
360	10,9	13,9	16,0	17,1	17,9	18,5	20,4	22,3	24,1
720	6,1	7,6	8,7	9,3	9,7	10,0	10,9	11,9	12,9
1080	4,3	5,4	6,1	6,4	6,7	6,9	7,6	8,2	8,9
1440	3,4	4,2	4,7	5,0	5,2	5,3	5,8	6,3	6,8

Fonte: DAEE, 2016.

Para os cálculos do seguinte trabalho, foram utilizados o período de retorno de 2 anos e a duração de 20 minutos ($I = 86,2$ mm/h), por ser uma chuva mais comum e possuir valores mais adequados para o tamanho da área de contribuição estudada, e o coeficiente de escoamento para área, como é impermeabilizada, foi adotado o valor de 0,95. Portanto:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3600}$$

Onde:

Q = Vazão de projeto (m^3/seg)

C = Coeficiente de Permeabilidade do solo (adimensional, utilizando 0,95)

I = Intensidade da chuva (tabela = m/h)

A = Área de contribuição da bacia (m^2)

Logo, pela tabela:

Passando 86,2 mm/h para 0,0862 m/h.

$$Q = \frac{0,95 \times 0,0862 \times 4.000}{3600} = 0,091 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Portanto, o volume da vazão de projeto para uma chuva de duração de 20 minutos com período de retorno de 2 anos seria de **0,091 m^3/seg** , que será o valor usado como

base para os cálculos de pré-dimensionamento das TC. Como efeito de arredondamento, foi adotado o valor de **0,1 m³/seg** ou **100 litros/seg**.

6.2 Pré-Dimensionamento de Trincheira de Infiltração

O primeiro exemplo de TC a ser pré-dimensionada foi uma trincheira de seção retangular, que seria implantada ao longo da sarjeta na rua em questão e recebendo a contribuição da área trapezoidal já descrita.

O cálculo do volume da trincheira retangular é:

$$\text{Volume} = B \times H \times L$$

Onde:

B = Base (largura) (m)

H = Altura (profundidade) (m)

L = Comprimento (m)

Os valores adotados foram:

L = 100 m (seguinto todo o comprimento da sarjeta do quarteirão)

H = 0,80 m

B = 0,60 m

Assim:

$$\text{Volume} = 100,00 \times 0,80 \times 0,60$$

$$\text{Volume} = 48,00 \text{ m}^3$$

Admitindo que a ocupação por britas na trincheira tome 50% do seu espaço total disponível, seu volume para retenção de água pluvial real seria de **24,00 m³**, que são **24.000 litros**.

Dividindo 24.000 litros por 100 litros/seg que é a vazão de projeto, é possível determinar o tempo para a água conseguir ocupar os espaços vazios na trincheira. Sendo assim:

$$\text{Tempo para Infiltração (TI)} = \frac{24.000}{100} = \mathbf{240 \text{ segundos}}$$

Os 240 segundos correspondem a **4 minutos** para encher a trincheira de infiltração. Isto significa que, para a chuva de projeto de 20 minutos, haveria uma retenção de 20 % do escoamento gerado, o que pode aliviar um pouco o escoamento a jusante.

Considerando a superfície de infiltração da trincheira (paredes e fundo), é possível encontrar uma superfície de:

$$0,80 \text{ m (lateral)} + 0,80 \text{ m (lateral)} + 0,60 \text{ m (base)} = \mathbf{2,2 \text{ metros}}$$

Multiplicando 2,2 metros por 100 metros de comprimento, é obtido **220 m² de área de superfície de infiltração (SI)**.

Adotando o $CI = 3,6 \times 10^{-6} \text{ m/seg}$ encontrado anteriormente e multiplicando pela $SI = 220 \text{ m}^2$, temos $3,6 \times 10^{-6} \text{ m/seg} \times 220 \text{ m}^2 = \mathbf{7,92 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}}$, para arredondamento será utilizado **0,0008 m³/seg** ou **0,8 litros/seg**.

O valor de 0,8 litros/seg é o que consegue ser infiltrado nesse tipo de solo, o que corresponde a um valor insignificante para a vazão de projeto de 100 l/s. Ou seja, a trincheira teria um papel desprezível em termos de infiltração durante o período da chuva

Por outro lado, deve-se verificar o tempo de esvaziamento (por infiltração do solo) da água retida na trincheira. Considerando-se o volume de retenção de 24.000 litros e a infiltração de 0,8 litros/seg, tem-se o tempo necessário que essa TC levaria para esvaziar:

$$\frac{24.000}{0,8} = \mathbf{30.000 \text{ segundos} = 8 \text{ horas e } 20 \text{ minutos}}$$

As trincheiras de infiltração mostraram que possuem baixa capacidade de infiltração para uma chuva de duração de 20 minutos com o período de retorno de 2 anos, mas possuindo algum valor de retenção da água e podendo ser esvaziadas em 8 horas e 20 minutos, o que é considerado suficiente para uma TC.

Um problema que poderia ser encontrado nesse formato de trincheira (100 metros de comprimento) é o possível cruzamento por tubulações subterrâneas, o que traria problemas para a sua implantação.

As trincheiras podem ser ligadas por tubulações menores de saída em seus fundos ligadas ao sistema de drenagem já existente, facilitando o escoamento da água captada nesse local.

É válido lembrar que os cálculos foram feitos com a capacidade de infiltração mais desfavorável possível de acordo com o Manual de Drenagem Urbana de Curitiba (2002) e foram dimensionados para um coeficiente de impermeabilização alto, próximo de 1.

6.3 Pré-Dimensionamento de Poço de Infiltração

O segundo exemplo de TC pré-dimensionado foi a implantação de poços de infiltração ao longo do comprimento de um quarteirão. De modo semelhante ao cálculo de trincheira de infiltração, foram adotados valores para as dimensões dos poços, constituídos por 10 unidades idênticas.

O cálculo do volume dos poços:

$$V = \pi \times R^2 \times H \text{ (m}^2\text{)}$$

$$V = \text{volume (m}^3\text{)}$$

$$R = \text{raio} = 1 \text{ m}$$

$$H = \text{profundidade} = 2 \text{ metros}$$

$$\text{Área} = 2\pi 1^2 = \mathbf{12,57 \text{ m}^2}$$

$$\text{Volume} = \pi Dh \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V = \pi \times 1^2 \times 2 = \mathbf{6,28 \text{ m}^3 \rightarrow 6300 \text{ litros}}$$

Considerando os **10 poços de infiltração**, o volume total seria de **63.000 litros** para retenção da água pluvial. Para a vazão de projeto de 100 litros/seg, então:

$$\frac{63.000}{100} = \mathbf{630 \text{ segundos}}$$

Os 630 segundos correspondem à **10 minutos e 30 segundos** para encher os poços de infiltração. Portanto, para a chuva de 20 minutos, 50% da água escoada seriam retidos.

Considerando a infiltração dos poços somente por suas laterais, foi encontrado a área de 12,57 m², vezes 10 poços, são **125,70 m² de área de superfície de infiltração (SI)**.

Adotando o mesmo CI = 3,6x10⁻⁶ m/seg encontrado e multiplicando pela SI = 125,70 m², é obtido 3,6x10⁻⁶m/seg x 125,70 m² = **4,53⁻⁴ m³/seg**. Por arredondamento, foi considerado o valor de **0,0005 m³/seg** ou **0,5 litros/seg**.

O valor de 0,5 litros/seg seria o que consegue ser infiltrado nesse tipo de solo, o que seria um valor ainda inferior ao encontrado para as trincheiras e praticamente insignificante em relação à vazão de projeto de 100 l/s. Também neste caso, o efeito de infiltração seria desprezível, embora a retenção da água pluvial seja maior.

Verificando-se a seguir o tempo de esvaziamento pela infiltração nas paredes laterais dos poços cheios com 63.000 litros, divide-se por 0,5 litros/s, obtendo –se:

$$\frac{63.000}{0,5} = 126.000 \text{ segundos} = 35 \text{ horas} = 1 \text{ dia e } 11 \text{ horas}$$

Os poços de infiltração propostos apresentaram, assim, uma melhor eficiência de retenção da água, mas um tempo maior de esvaziamento, extrapolando o limite máximo recomendado de 24 h. Embora haja outras recomendações de esvaziamento de 48h ou até 72h, sabe-se que a cidade de Araraquara apresenta problemas de proliferação de mosquitos vetores, recomendando tempos curtos de esvaziamento das unidades que retêm água pluvial.

Os pré-dimensionamentos dessas unidades (trincheiras e poços de infiltração), com dimensões adotadas e considerando condições desfavoráveis de infiltração permitiu que se tivesse uma ordem de grandeza do seu papel nos exemplos estudados. Outras dimensões e arranjos, bem como condições reais de infiltração, além das possibilidades do emprego de diferentes tipos de TC concomitantemente, poderiam levar a melhores resultados para os valores encontrados.

6.4 Pré-Dimensionamento de Bacia de Retenção

O principal requisito para a implantação de uma bacia de retenção é a disponibilidade de área superficial, então para isso, foi utilizado como exemplo a Praça Popular 2, na área residencial com espaço disponível estudada, que é um local que possui área disponível, mas com dimensões que necessitam de delimitações, mostrada na Figura 6.4.

Figura 6.4 – Exemplo de Bacia de Infiltração na Praça Popular 2



Fonte: Google Maps, adaptado, 2021.

O local de exemplo para a infiltração da bacia foi escolhido por haver pequena quantidade de plantas, tentando evitar a interferência com vegetação local que já ajuda na infiltração e retenção da água escoada na área.

Para o pré-dimensionamento de uma bacia de infiltração de seção retangular, foi utilizado aproximadamente $\frac{1}{4}$ do tamanho total da praça, e para obter valores arredondados foram adotadas as seguintes dimensões: 40 metros x 50 metros x 1,5 metros (profundidade).

$$\text{Volume: } 40 \times 50 \times 1,50 = \mathbf{3.000 \text{ m}^3 \text{ ou } 3.000.000 \text{ litros}}$$

Diferentemente da trincheira de infiltração e do poço de infiltração, neste pré-dimensionamento foi determinada a área de contribuição (número de quarteirões) que permitiriam o enchimento da bacia para a chuva de projeto de 20 minutos.

Para isso, foi utilizada a equação de vazão de pico: $Q = C \times I \times A$

Onde:

Q = Vazão de projeto (m^3/seg)

C = Coeficiente de Permeabilidade do solo (adimensional, utilizando 0,95)

I = Intensidade da chuva (tabela = 0,0862m/h)

A = Área de contribuição da bacia (m^2)

Assim, considerando-se que o volume da bacia (3.000 m^3) deveria encher em 20 minutos e que os cálculos feitos no item 6.1 indicaram que uma área de 4.000 m^2 estaria gerando um escoamento de aproximadamente 100 l/s, pode-se calcular a área que geraria o volume da bacia no tempo previsto. Assim:

$$\text{Volume gerado por } 4.000 \text{ m}^2 \text{ em } 20 \text{ min} = 100 \text{ l/s} \times 60 \text{ s/min} \times 20 \text{ min} = 120.000 \text{ l} = 120 \text{ m}^3$$

Dividindo-se 3.000 m^3 por 120 m^3 , tem-se 25 vezes. Este valor multiplicado pelos 4.000 m^2 dá origem à área de contribuição procurada $A = 25 \times 4000 = \mathbf{100.000 \text{ m}^2}$

Considerando-se no exemplo em questão que as quadras são de 100 m x 80 m, mais as áreas das vias, a área de contribuição para a bacia em questão corresponderia a cerca de 12 quadras

Verificando-se também o tempo de esvaziamento da bacia apenas por infiltração pelo fundo ($40 \times 50 = 2.000 \text{ m}^2$) e multiplicando-se pelo $CI = 3,6 \times 10^{-6} \text{ m/seg}$, é encontrado um total de $\mathbf{0,0072 \text{ m}^3/\text{seg}}$ ou $\mathbf{7,2 \text{ litros/seg}}$ de infiltração. Portanto, dividindo-se o volume de 3.000.000 litros da bacia por 7,2 litros/seg, obtém-se 416.666 s ou quase **5 dias**, o que torna inviável seu emprego nas condições dadas. Poderia ser,

por exemplo, uma bacia de detenção, com saída pelo fundo conectada ao sistema de drenagem para o seu completo esvaziamento.

As bacias de infiltração também podem ser associadas juntamente com as TC de trincheiras e poços de infiltração, dependendo da área disponível para sua implantação.

No caso da implantação na Área do Estádio da Fonte Luminosa ou da Área da Ferrovia, é possível contar com maior disponibilidade de espaço, possibilitando a construção de bacias de formatos maiores, o que as tornaria mais viáveis e com capacidades maiores.

6.5 Combinações de TC como Possível Solução

Além da utilização das TC separadamente, existe a possibilidade de utilizá-las em conjunto, tornando assim mais eficientes. Mas, por mais que essa abordagem seja interessante e possuir relevância, sua utilização é mais facilitada quando se é feita desde o projeto do local, com planejamento, sendo um pouco mais complicado a implantação em um meio já urbanizado, mas não impossível.

Novos loteamentos possuem a facilidade para a implantação de TC associadas para melhor funcionamento da drenagem local juntando a sustentabilidade e a estética, trazendo diversos benefícios para a população.

Por mais que seja um pouco mais complicado a implantação de associação de TC em meio já urbanizado, existindo a disponibilidade de espaço (ou a possibilidade de desapropriação de áreas), é possível utilizar da união de uma ou mais TC para o melhor funcionamento das mesmas.

Uma TC que é válida de ressaltar que é pouco utilizada no Brasil, são as esquinas com pequenos jardins de chuva, chamadas nos manuais internacionais de “curb”. Essa TC é basicamente um aumento da esquina para colocar um pequeno jardim para melhorar a drenagem de água desse quarteirão. Na Figura 6.5 é mostrada um exemplo na cidade de Portland, nos Estados Unidos.

Figura 6.5 – Esquina com pequeno jardim de chuva



Fonte: Easton Washington, 2013.

Essa TC não necessita de muito espaço e pode ser colocada em locais com ruas alargadas e com menor fluxo de veículos. Outra possibilidade de implantação também é utilizando alguns locais de estacionamento e também, podendo ser associada com a utilização de pavimentos permeáveis.

O encaminhamento da água pode ocorrer para o sistema de drenagem local e por infiltração no solo. Haverá certamente alguma detenção da água por um período de tempo, ajudando a reduzir a vazão de pico.

Existem diversas configurações de combinações de TC em um meio urbano, que trazem harmonia com a mobilidade e também com a sustentabilidade local. O manual do LID de Eastern Washington (2013), possui exemplos de algumas alternativas de diversas configurações para essas utilizações associadas.

Na Figura 6.6, o manual descreveu a utilização da utilização de estacionamento sustentável, juntando desde diferentes pavimentos permeáveis e vegetações para o auxílio da infiltração da água da chuva e canteiros de drenagem, como o descrito anteriormente.

Figura 6.6 – Exemplo de Estacionamento com aplicações de drenagem sustentável

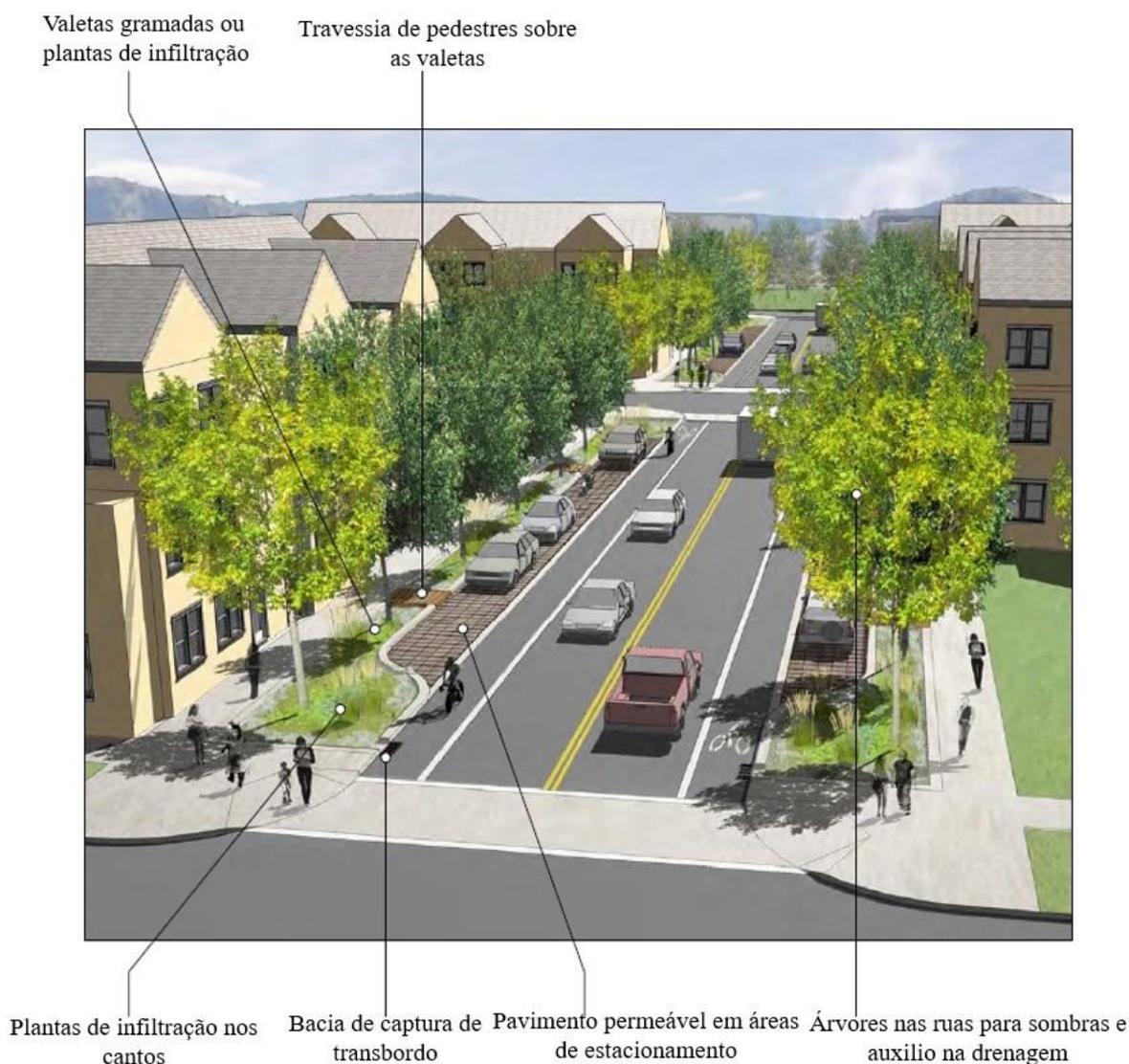


Fonte: Easton Washington traduzida, 2013.

Áreas com disponibilidade de estacionamento normalmente são mais apropriadas para conseguir implantar TC, pois possuem espaços disponíveis e seus esforços e vibrações não são extremos como em ruas movimentadas.

A associação de pavimentos permeáveis com diferentes graus de drenagem e de porosidade, juntamente com a utilização de pequenos jardins de drenagem, definem um contraste que vai além da sustentabilidade, mas também da estética da mobilidade urbana e ecológica do local.

Na figura 6.7 é mostrado outro exemplo de associação de TC, mas dessa vez um pouco mais adentrada em ruas da cidade, propondo que a utilização das mesmas pode ser realizada em diferentes situações, bastando realizar o planejamento correto antes de sua implantação.

Figura 6.7 – Aplicação em Locais de Tráfego

Fonte: Easton Washington traduzida, 2013.

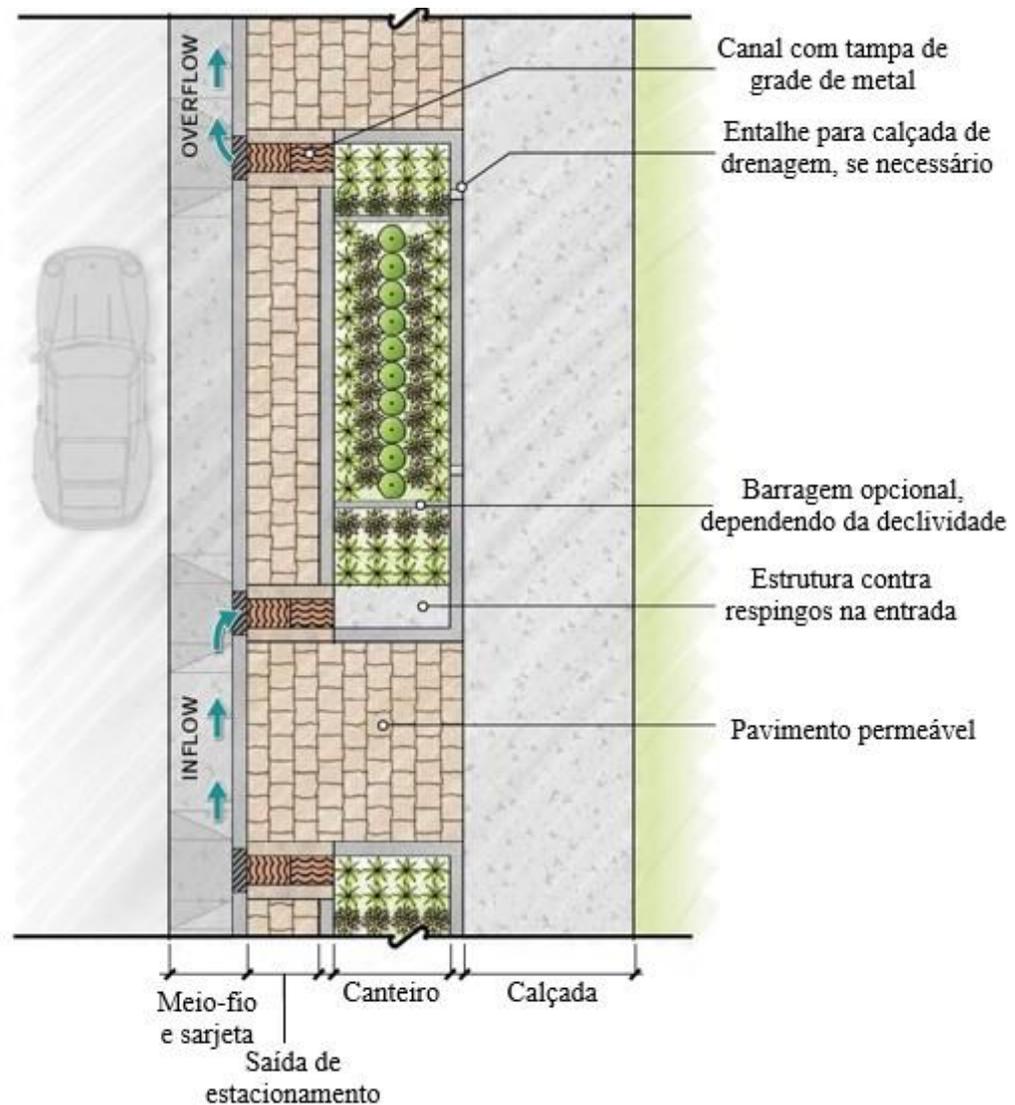
Na figura é possível observar a utilização de pavimentos permeáveis somente em áreas de estacionamento, dificultando assim a sua degradação com o tempo e facilitando na manutenção periódica.

A utilização de esquinas com canteiro com pequenos jardins pode ser observada uma funcionalidade diante da entorno, além da sua associação com outras TC como valetas gramadas nas laterais das áreas de estacionamento e a plantação de árvores nessas valetas, que auxiliam na drenagem da água escoada.

Esse tipo de associação de TC pode ser utilizada em áreas residenciais, onde não existem grande fluxo de veículos, facilitando desde sua implantação sem gerar impacto com as obras, até a preservação da TC em si.

Na figura 6.8 é mostrado mais aproximadamente o esquema da área de estacionamento juntamente com canteiros e pequenos jardins para melhoria da infiltração da água de chuva.

Figura 6.8 – Esquema de biorretenção em área de estacionamento



Fonte: Easton Washington traduzida, 2013.

A figura demonstra um exemplo retirado da cidade de Portland, nos Estados Unidos da América, abordando como a sustentabilidade e o meio urbano podem ser integrados com facilidade em um mesmo local.

O esquema mostra a utilização de pavimentos permeáveis juntamente com estruturas de canteiros gramados, que facilitam a infiltração da água escoada no local,

além da declividade das sarjetas que são direcionadas para encaminhar essas águas até os locais de drenagem.

Com esses exemplos, é possível se pensar em diversos tipos de associações que podem ser feitas com diferentes TC, mas se tratando de um meio já urbanizado, às vezes a situação pode ser um pouco mais complicada a ser trabalhada, mas assim mesmo, podem existir soluções para sua implantação.

7 Conclusões e Recomendações

A utilização de Técnicas Compensatórias (TC) tem sido uma solução para novas urbanizações, sendo que muitos municípios já aplicam como lei em regulamentações municipais, inclusive no Plano Diretor Municipal, mas, que ainda existem grandes desafios a serem enfrentados quando a implantação é relacionada a um meio já urbanizado.

Com o desenvolvimento desse trabalho, foi possível analisar as limitações e as potencialidades de adoção de TC para o manejo das águas pluviais em meio já urbanizado, com a definição de variáveis a serem consideradas especificadamente para tais condições.

A partir da definição das variáveis, foi possível a realização de estudos para diferentes situações de urbanização em uma microbacia na região urbana da cidade de Araraquara/SP, buscando-se identificar condições favoráveis e desfavoráveis para o emprego de TC previamente definidas. Deste modo, foi possível observar aquelas que se adaptariam melhor de acordo com as variáveis aplicadas, bem como do tipo de urbanização existente. Assim, a utilização das variáveis para o estudo de uma área antes da aplicação de TC ajudou a identificar suas vantagens e desvantagens, facilitando a escolha das melhores alternativas.

Foi possível observar que as TC que apresentaram condições mais favoráveis a partir das variáveis definidas foram as de infiltração e de pequeno porte, como: trincheiras e infiltração; pavimentos permeáveis; poços de infiltração e faixas gramadas. Essas TC por possuírem menor ocupação de área superficial, capacidade de implantação em diferentes pontos, integração com áreas de parques, estacionamento e até mesmo sarjetas, trazem uma percepção da facilidade da utilização, ao contrário de TC de grande porte como bacias de detenção, retenção ou jardins de chuva.

Também foi possível observar que telhados de cobertura vegetal em locais já urbanizado são de difícil implantação, pela fato da maioria das edificações serem antigas e possuírem telhas cerâmicas, o que aumentaria o custo para uma reestruturação local para conseguir aplicar essa TC.

As bacias de detenção, retenção e os jardins de chuva, quando possíveis de serem utilizados, possuem a vantagem da integração paisagística e a possibilidade de usos múltiplos, como na utilização em quadras, campos ou locais de convívio social.

Além disso, a partir do pré-dimensionamento de algumas TC, foi possível observar que em situações densamente urbanizadas, como as regiões de áreas residenciais sem espaços disponíveis, áreas comerciais e área com ocorrência de alagamento, uma determinada vazão de pico não consegue ser retida apenas com a utilização de TC, necessitando de sua associação ou a utilização de outras formas de controle.

Locais com disponibilidade de área para implantações de TC possuem a vantagem de integração com o meio urbano e a associação de uma ou mais TC para melhor funcionamento das mesmas, trazendo maiores benefícios e sustentabilidade local.

A associação de TC é uma solução válida para diversos casos, trazendo alguns desafios a serem enfrentados por falta de planejamento local, algumas vezes não possuindo disponibilidade de espaço e precisando de interferências como desapropriação de áreas, mas não deixa de ser uma alternativa que pode ser utilizada.

Combinações de TC como trincheiras de infiltração com pavimentos permeáveis e a possibilidade de utilização de faixas gramadas ou até mesmo canteiros ou jardins de chuva é uma alternativa possível para a associação de TC.

Algumas recomendações podem ser feitas a partir da pesquisa realizada e dos resultados obtidos. Uma delas é o aprofundamento do estudo de alternativas para a aplicação das TC em diferentes situações de urbanização já existentes, incluindo comparações de eficiência, de custo, de integração com o meio urbano e de aceitação pela população, entre outras. Da mesma forma, a combinação de diferentes tipos de TC entre si, assim como com a drenagem previamente existente, merece ser estudada. Neste sentido, a continuidade das pesquisas deve incluir a consulta a especialistas e a órgãos públicos envolvidos com o manejo das água pluviais.

Um componente importante da aplicação das TC nessas áreas é o seu maior conhecimento, tanto por parte dos técnicos, quanto da população em geral, recomendando-se assim que sejam mais difundidas e discutidas. Ações de educação ambiental são importantes, inclusive pelo fato de que as TC podem exigir maior envolvimento da população no seu funcionamento e na sua manutenção. Por outro lado, o ganho estético decorrente do emprego das TC precisa ser melhor explorado.

Da mesma forma, mecanismos econômicos de incentivo ao uso das TC devem ser devidamente considerados e estudados, contribuindo para a ampliação das possibilidades de adoção destas soluções.

8 Referências Bibliográficas

- ARARAQUARA. **Mapa da Microbacia do Córrego da Servidão**. PMA, 2013.
- ARARAQUARA. **Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB)**. PMA, 2014.
- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2 edição. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015.
- BARBASSA, A. P.; ANGELINI SOBRINHA, L.; MORUZZI, R. B. **Poço de infiltração para o controle de enchente na fonte: avaliação das condições de operação e manutenção**. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2014.
- BRASÍLIA - **MANUAL DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS DO DISTRITO FEDERAL**. Superintendência de Drenagem Urbana: Brasília, 2018.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- CASA ABRIL, 2020. Disponível em <<https://casa.abril.com.br/jardins-e-hortas/sao-paulo-constroi-mais-de-20-mil-metro-de-jardins-de-chuva-na-cidade/>> Acesso em: 10 de maio de 2021.
- CITY AND COUNTRY OF DENVER – **Storm Drainage Design & Technical Criteria**, 2013.
- CITY OF PORTLAND – **Stormwater Management Manual**, 2016.
- CITY OF TORONTO - **Wet Weather Flow Management**, 2006.
- CORRÊA, R. L. **O espaço urbano**. 4ª edição. São Paulo: Editora Ática, 2000.
- CUNHA, R. Disponível em < <http://www.ebanataw.com.br/drenagem/bocadelobo.htm>> Acesso em: 10 de maio de 2020.
- GUTIERREZ, L. A. R. **Avaliação da qualidade da água de chuva e de um sistema**

filtro–vala–trincheira de infiltração no tratamento do escoamento superficial direto em escala real em São Carlos-SP. Dissertação de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana - UFSCar, 2011.

EASTON WASHINGTON – **Low Impact Development Guidance Manual.** Department of Ecology – State of Washington, 2013.

GOBIERNO DE MADRID - **Guía Básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales em Zonas Verdes y otros Espacios Libres.** Madrid, 2018.

GOBIERNO DE ESPAÑA - **Guías de Adaptación al Riesgo de Inundación: Sistemas Urbanos de Drenagem Sostenible. Ministerio para la Transición Ecológica.** Gobierno de España, 2019.

IBGE. Cidades: Araraquara/SP. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?codmun=350320>>. Acesso em 04 de fevereiro de 2021.

ICFConstrutora, 2016. Disponível em <<http://www.icfconstrutora.com.br//template/uploads/institucional/29.jpg>> Acesso em: 10 de maio de 2020.

LUCAS, H. A. **Monitoramento e Modelagem de um Sistema Filtro-Vala-Trincheira de Infiltração em escala real.** Dissertação de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – UFSCar, 2011.

MARTINS, J. R. Obras de Macrodrenagem. In: TUCCI, C. E.; PORTO, R. la L. e BARROS, T. de Barros. **Drenagem Urbana.** 4ª Edição: Porto Alegre. Editora UFRGS/ABRH.

MARYLAND - **Low-Impact Development: Na Integrated Environmental Design Approach. Department of Environmental Resources, Programs and Planning Divison.** Price’s Contry - Maryland, 1999.

PERONI, C. Z. **Avaliação de Bacias de Detenção na Gestão de Águas Pluviais em Araraquara, SP.** Dissertação de mestrado no Programa de Pós-Graduação em

Engenharia Urbana – UFSCar, 2018.

PERONI, C.; ORTIZ, I. G.; FERREIRA, V. C. B.; DOMINGUES, J. O. **Proposição da implantação de técnicas compensatórias para minimizar principais pontos de inundações na Via Expressa na área urbana de Araraquara/SP.** 2017

PLANO DIRETOR DE DRENAGEM PARA BACIA DO RIO IGUAÇU NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA. Programa de Saneamento Ambiental da Região Metropolitana de Curitiba: Região Metropolitana de Curitiba. PR, 2002.

POMPÊO, C. A. **Drenagem Urbana Sustentável.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 200.

PORTO, Rubem; ZAHED FILHO, Kamel; TUCCI, Carlos; BIDONE, Francisco. **Drenagem Urbana.** In: TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L.;... [et al]. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 4 ed. – Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2015.

REIS, R. P. A.; OLIVEIRA, L. H.; SALES, M. M. **Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais** – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2008.

RIGHETTO, A. M. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas.** Rio de Janeiro: ABES, 2009.

SANTOS, M. A **Urbanização Brasileira.** São Paulo: Editora Hucitec, 1993.

SÃO PAULO - MANUAL DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano: São Paulo – SP, 2012.

SÃO PAULO (Estado). Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – SIGRH. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhtj/apresentacao>>. Acesso em 04 de fevereiro de 2021.

SILVA, A. A.; SILVA, N. S.; BARBOSA, V. A.; HENRIQUE, M. R.; BAPTISTA, J. A. **A Utilização da Matriz SWOT como Ferramenta Estratégica – um Estudo de Caso em uma Escola de Idioma em São Paulo.** VIII Simósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2011.

SOARES, P. R. **Cidades médias: produção do espaço urbano e regional**. 1ª edição. São Paulo: Expressão Popular, 2006.

TimeOut Right Line, 2019. Disponível em <
<https://www.timeout.com/newyork/parks/highline>> Acesso: 16 de fevereiro de 2021

TUCCI, C. E. M. **Água Doce – Capítulo 14, Água no Meio Urbano**. 1ª edição – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas**. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. La L.; BASTOS, M. T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2015.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**, 1ª edição - Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2003.

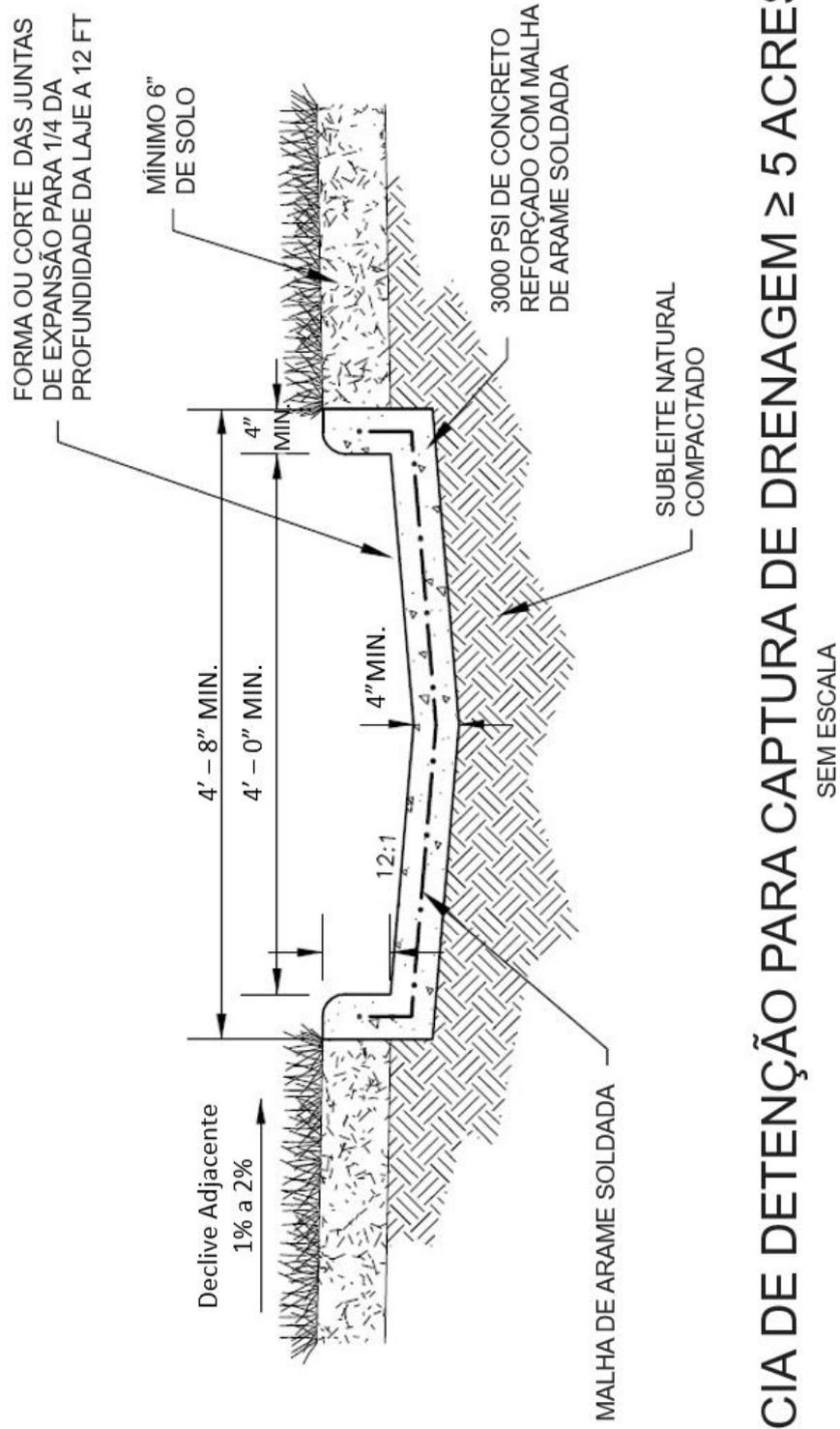
Wet Weather Flow Management. Water Infrastructure Management: City of Toronto, 2006.

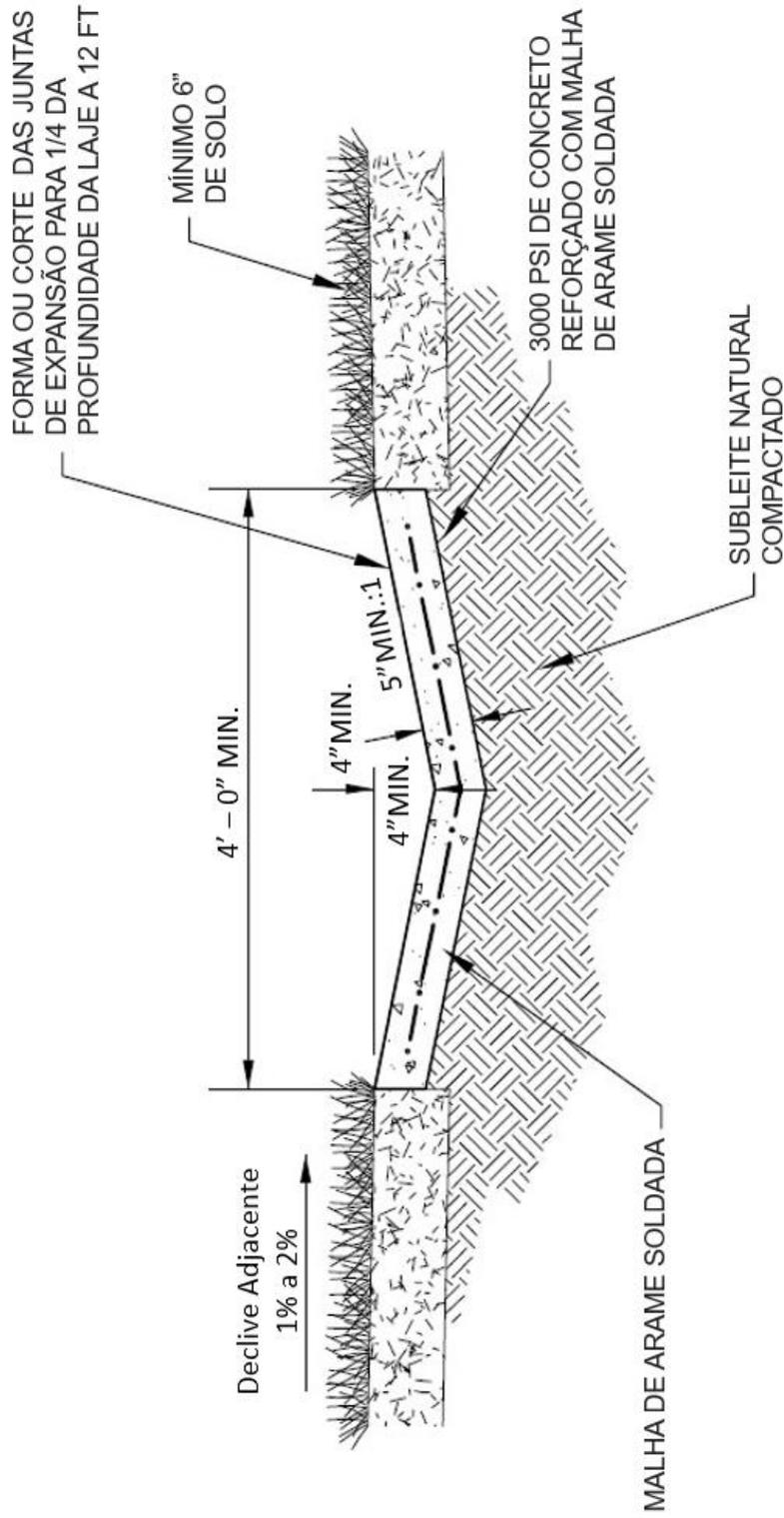
ZAHED, K.; MARTINS, J. R. S.; PORTO, M. F. A. **Águas em Ambientes Urbanos. Relatório de Facilitadores de infiltração e qualidade das águas** – Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – PHA, 2012.

ANEXO 1

Desenhos esquemáticos de Técnicas Compensatórias

(Fontes: traduzido de DENVER, 2013 e de EASTON
WASHINGTON, 2013)

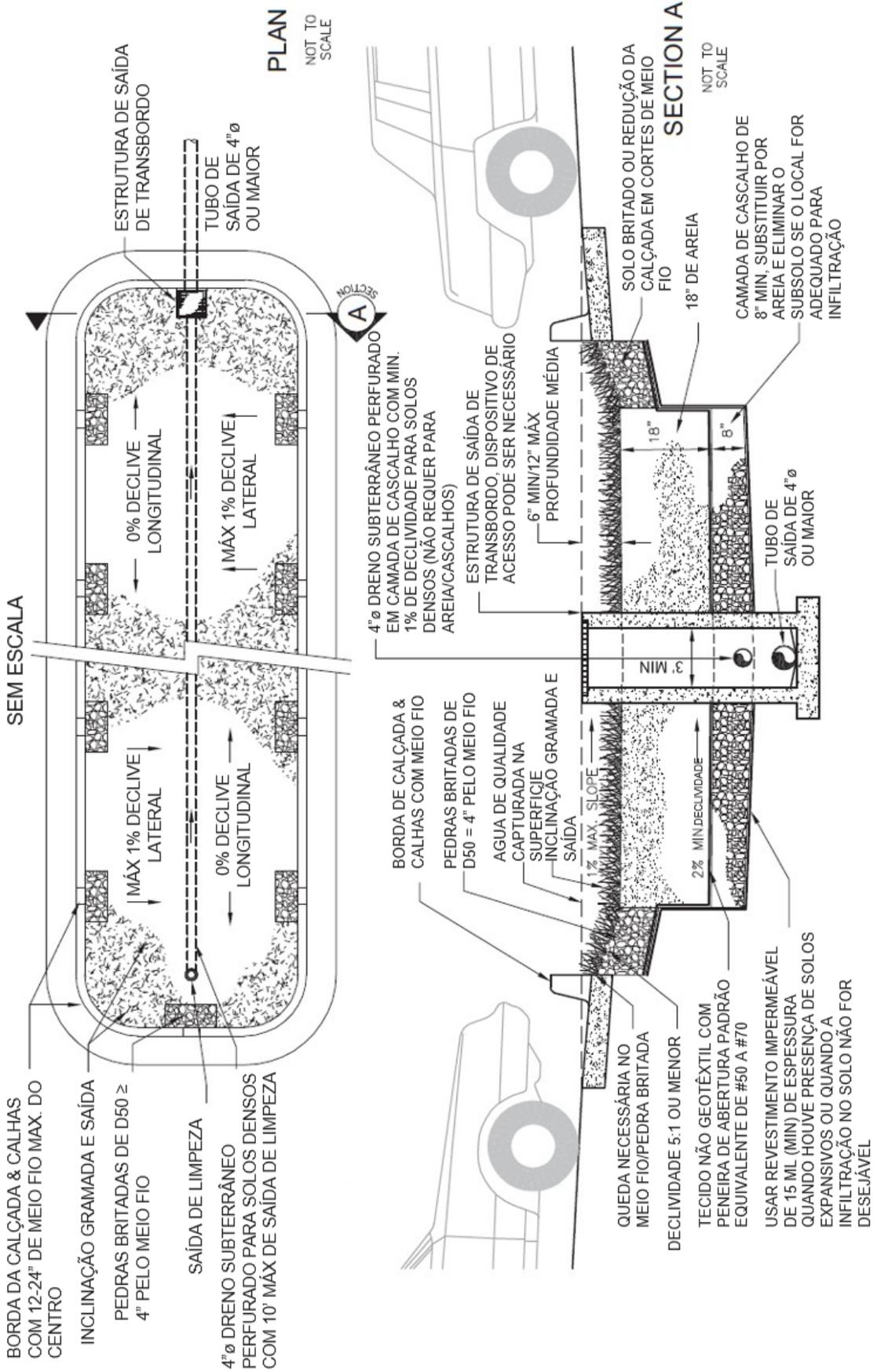




BACIA DE DETENÇÃO PARA CAPTURA DE DRENAGEM < 5 ACRES

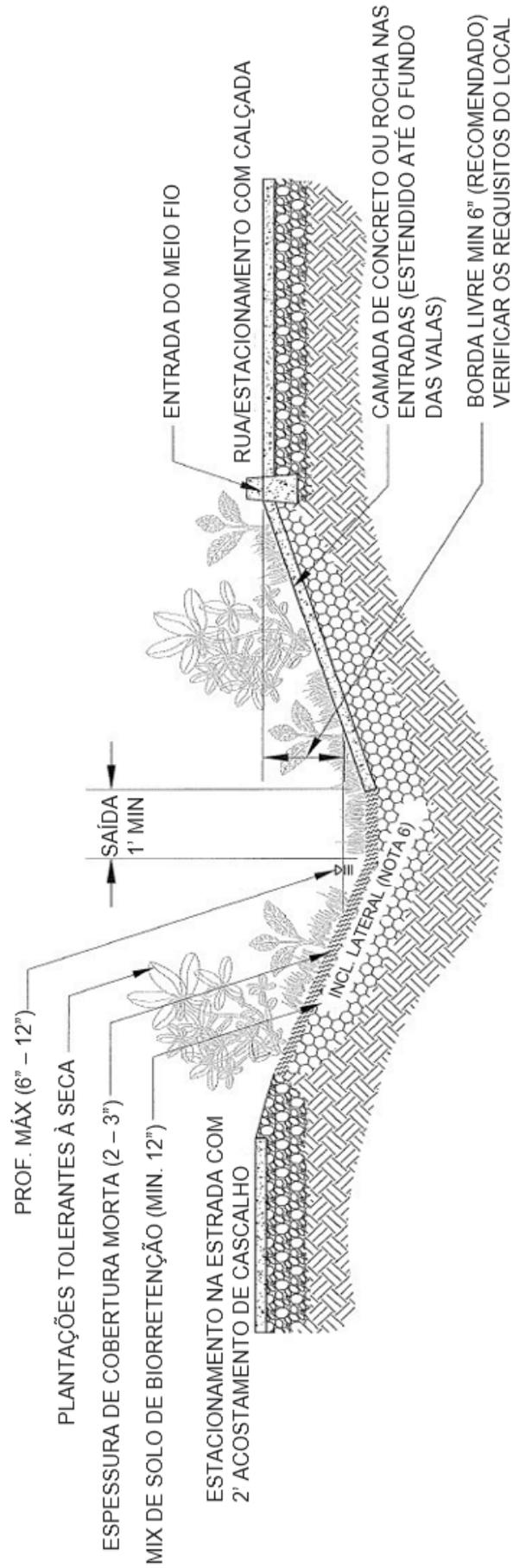
SEM ESCALA

JARDIM DE CHUVA



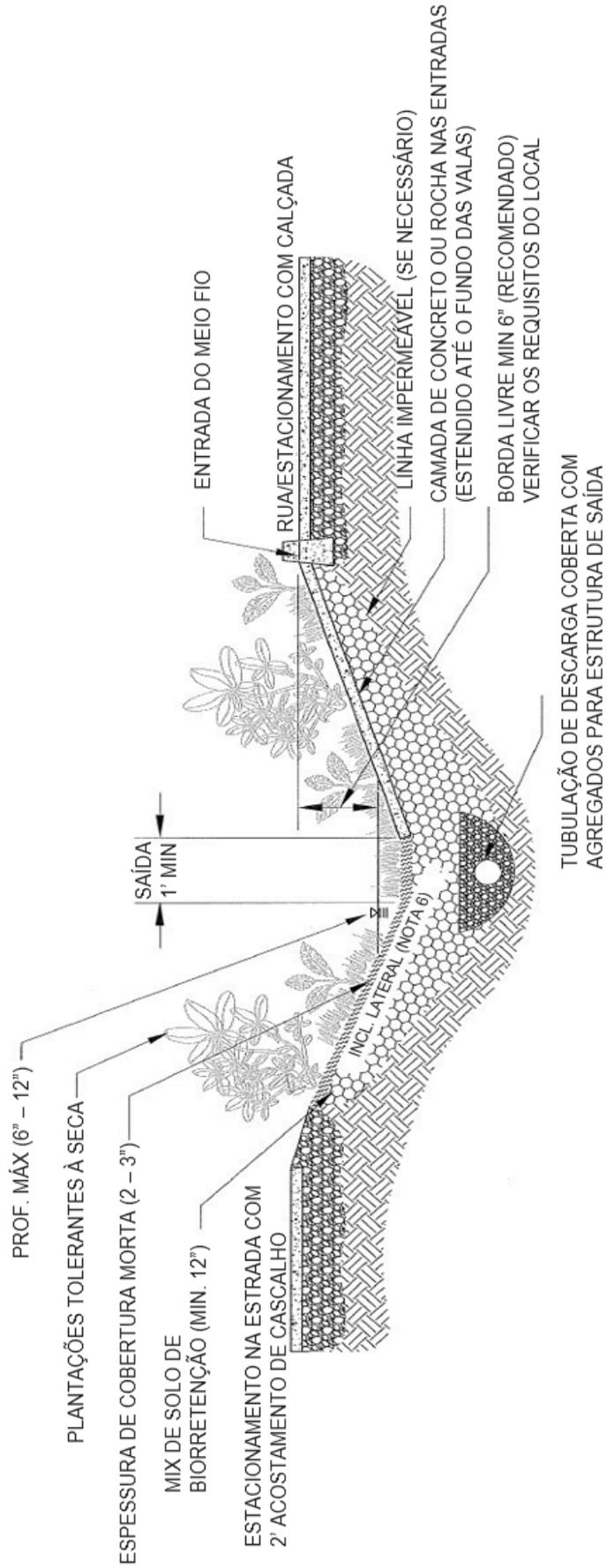
NOTAS:

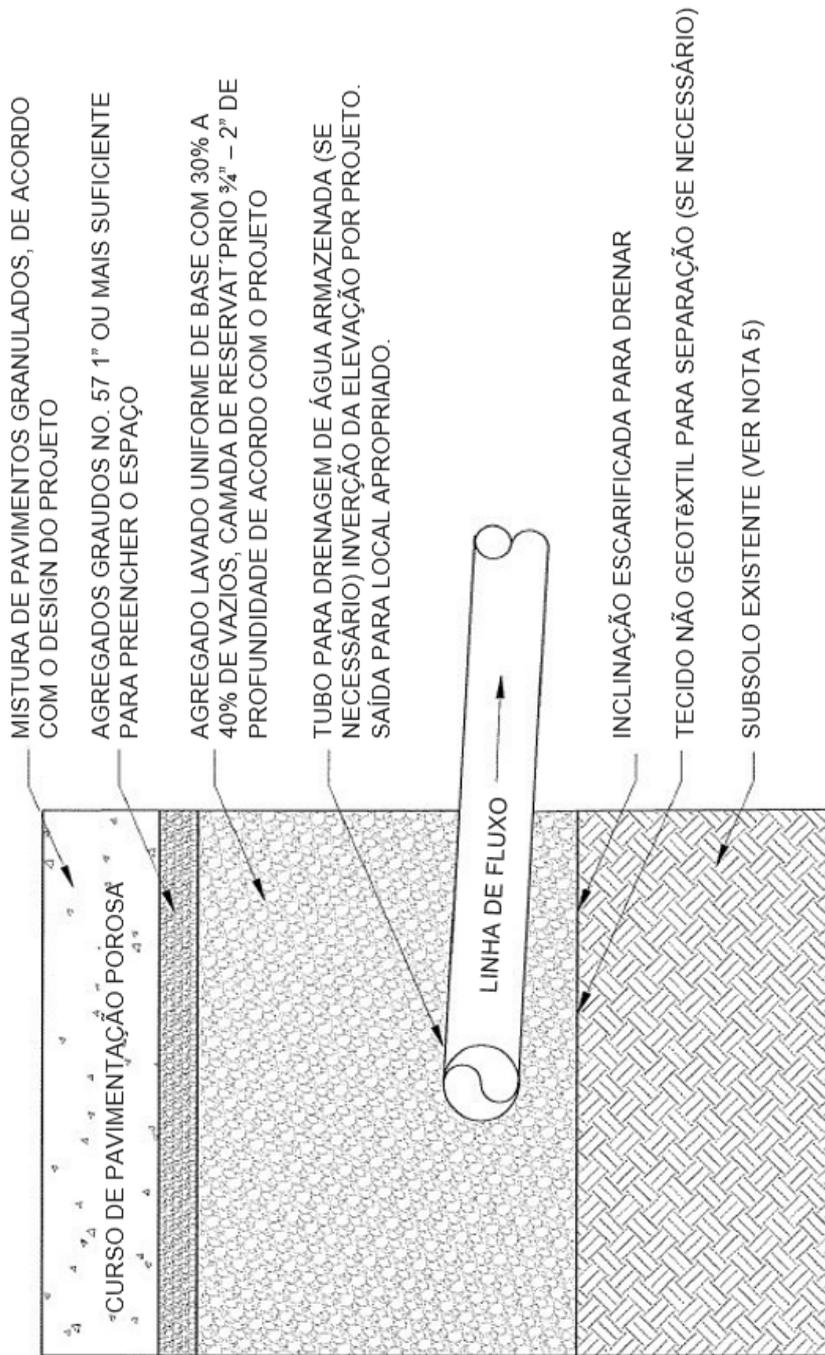
1. TAMANHO E PROFUNDIDADE EQUIVALENTES AO LOCAL.
2. FORNECER ESTRUTURA DE TRANSBORDO DE ACORDO COM A JURISDIÇÃO LOCAL.
3. O VOLUME CONTIDO NA VALA DEVE SER SUFICIENTE PARA MELHORAR A QUALIDADE DA ÁGUA E O VOLUME ANTES DE TRANSBORDAR.
4. PROJETADO PARA DRENAR COMPLETAMENTE DENTRO DE 72 HORAS.
5. ARVORES OU VEGETAÇÃO COM RAÍZES PROFUNDAS NÃO SÃO RECOMENDADAS NESTA TÉCNICA.
6. A INCLINAÇÃO LATERAL MÁX. É DE 2.5H:1V (RECOMENDADO). CONFERIR OS REQUERIMENTOS DA JURISDIÇÃO LOCAL.



NOTAS:

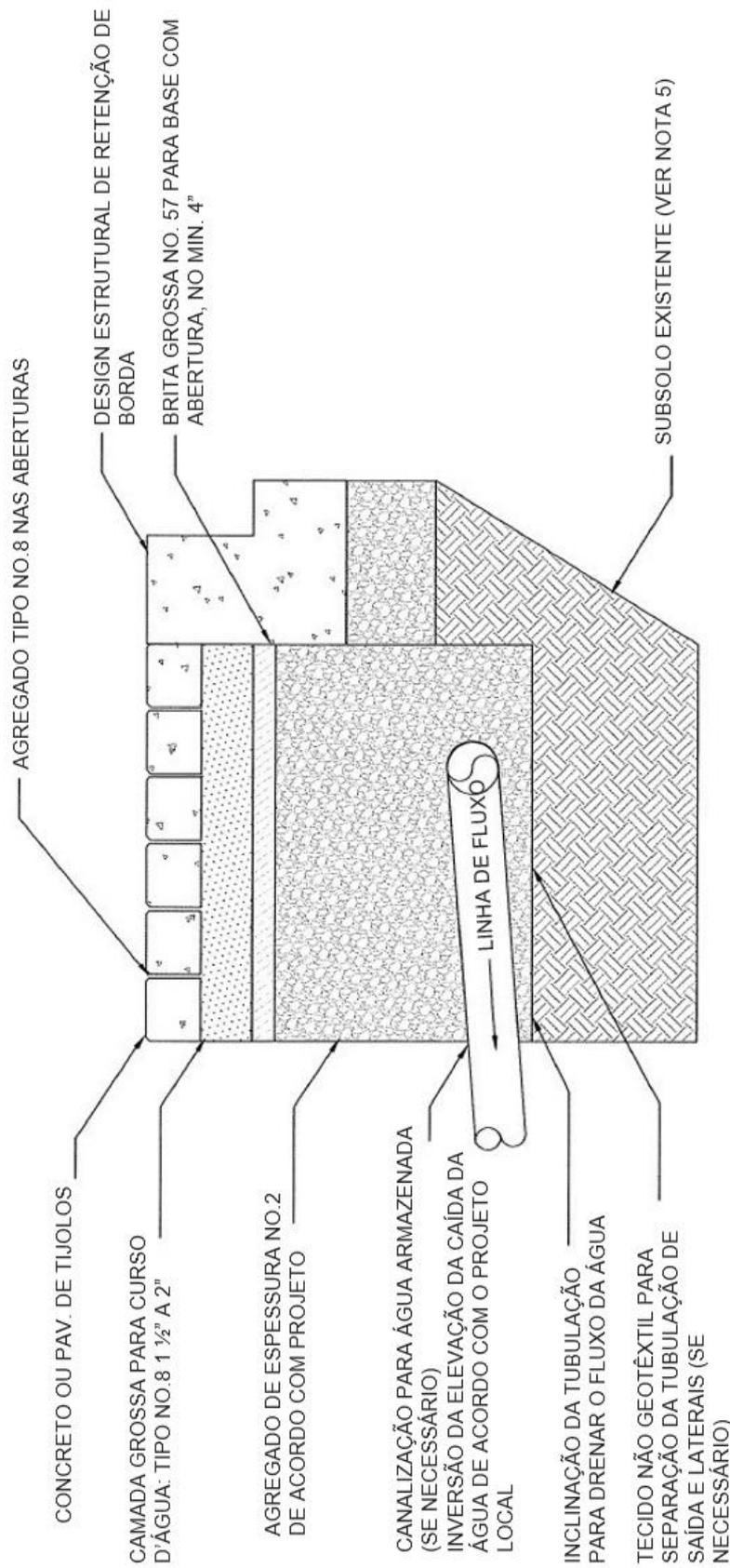
1. TAMANHO E PROFUNDIDADE EQUIVALENTES AO LOCAL.
2. FORNECER ESTRUTURA DE TRANSBORDO DE ACORDO COM A JURISDIÇÃO LOCAL.
3. O VOLUME CONTIDO NA VALA DEVE SER SUFICIENTE PARA MELHORAR A QUALIDADE DA ÁGUA E O VOLUME ANTES DE TRANSBORDAR.
4. O TUBO DE DRENAGEM DEVE SER SUFICIENTE PARA DRENAR COMPLETAMENTE E COM FACILIDADE EM ATÉ 72 HORAS. ESTE TUBO DEVE TER O MÍNIMO DE 6" DE DIÂMETRO COM 0,5% DE INCLINAÇÃO.
5. ARVORES OU VEGETAÇÃO COM RAÍZES PROFUNDAS NÃO SÃO RECOMENDADAS NESTA TÉCNICA.
6. A INCLINAÇÃO LATERAL MÁX. É DE 2.5H:1V (RECOMENDADO). CONFERIR OS REQUERIMENTOS DA JURISDIÇÃO LOCAL.





NOTAS:

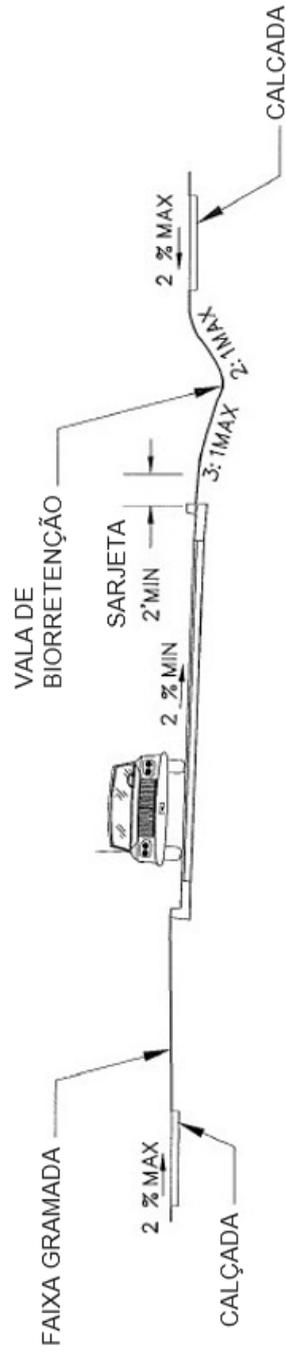
1. NÃO SE DESTINA O PROJETO DE ENGENHARIA PARA ESTRUTURAS PARA ÁGUAS DE CHUVA SEM APROVAÇÃO PRÉVIA NO SETOR PÚBLICO.
2. SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO COM PERMEABILIDADE SIGNIFICATIVA (> 8" POR HORA).
3. FORNECER TUBULAÇÃO NA CAMADA DO RESERVATÓRIO PARA TRANSPORTE, SE NECESSÁRIO, COM TAXAS DE INFILTRAÇÃO MENORES DE 2"/HORA.
4. NÃO RECOMENDADO PARA SUPERFÍCIES DE TRÁFEGO COM INCLINAÇÃO > 5%.
5. NÃO COMPACTAR O SOLO EXISTENTE.
6. INCLINAÇÃO DO SOLO PARA TUBULAÇÃO PARA DRENAGEM (SE NECESSÁRIO).
7. CONSULTAR UM ENGENHEIRO GEOTÉCNICO QUALIFICADO SE HOUVER SUSPEITA DE LENÇOL FREÁTICO ALTO.
8. SINALIZAÇÃO PARA IDENTIFICAÇÃO DE PAVIMENTOS POROSOS SE NECESSÁRIO.



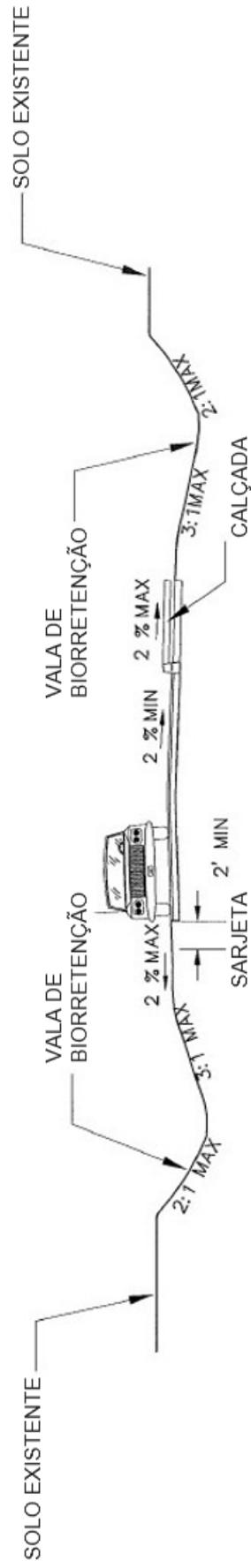
NOTAS:

1. NÃO SE DESTINA O PROJETO DE ENGENHARIA PARA ESTRUTURAS PARA ÁGUAS DE CHUVA SEM APROVAÇÃO PRÉVIA NO SETOR PÚBLICO.
2. FORNECER COLETOR DE DRENAGEM SE A INFILTRAÇÃO MÍNIMA DO SUBSOLO EM 2"/HORA NÃO FOR POSSÍVEL
3. CONSULTAR UM ENGENHEIRO GEOTÉCNICO QUALIFICADO SE HOUVER SUSPEITA DE LENÇOL FREÁTICO ALTO.
4. PAVIMENTOS A SEREM MANTIDOS COMO FRONTEIRA DE RETENÇÃO ESTRUTURAL NAS BORDAS EXTERIORES DA ÁREA A SER PAVIMENTADA PRECISAM DE RECORTES SE A PARTE SUPERIOR ESTIVER ACIMA DO NÍVEL DESEJADO.
5. NÃO COMPACTAR SOLO EXISTENTE. INCLINAÇÃO DO SOLO PARA TUBULAÇÃO (SE NECESSÁRIO).

CONSULTAR JURISDIÇÃO LOCAL SOBRE MÍNIMO/MÁXIMO DE DECLIVIDADES E MÍNIMO DE TAMANHO PARA VIAS DE CIRCULAÇÃO DE VEÍCULOS, SARJETAS, CALÇADAS, CALÇADAS, CANTEIROS, ETC.



VALAS DE BIORRETENÇÃO DE APENAS UM LADO DA VIA



VALAS DE BIORRETENÇÃO DE AMBOS OS LADOS DA VIA

