

PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE CONCEPÇÃO E AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS BASEADO EM ADAPTAÇÃO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Paula Megumi Kawahara

Florianópolis, 2018



Paula Megumi Kawahara

**PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE CONCEPÇÃO E AVALIAÇÃO
DA VIABILIDADE DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS
BASEADO EM ADAPTAÇÃO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO**

Trabalho apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para
Conclusão de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental.
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Alexandra
Rodrigues Finotti
Coorientadora: MSc. Fabiane
Andressa Tasca

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Kawahara, Paula Megumi
PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE CONCEPÇÃO E AVALIAÇÃO DA
VIABILIDADE DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS BASEADO EM
ADAPTAÇÃO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO / Paula Megumi
Kawahara ; orientadora, Alexandra Rodrigues
Finotti, coorientadora, Fabiane Andressa Tasca,
2018.
83 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Drenagem
Urbana. 3. Técnicas Compensatórias. 4. Indicadores
de Viabilidade. I. Finotti, Alexandra Rodrigues.
II. Tasca, Fabiane Andressa. III. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental. IV. Título.

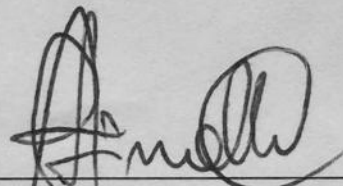
Paula Megumi Kawahara

**PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE CONCEPÇÃO E AVALIAÇÃO
DA VIABILIDADE DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS
BASEADO EM ADAPTAÇÃO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO**

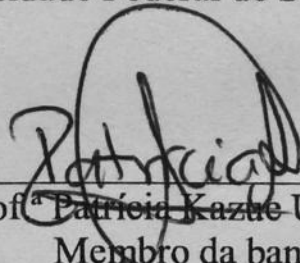
Trabalho submetido à banca examinadora como parte dos requisitos
para conclusão do curso de graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental – TCC II.

Florianópolis, 30 de novembro de 2018.

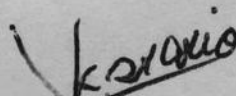
Banca Examinadora:



Prof.^a Alexandra Rodrigues Finotti, Dr.^a
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.^a Patrícia Kazuo Uda, Dr.^a
Membro da banca
Universidade Federal de Santa Catarina



Jakcemara Caprario, MSc
Membro da banca
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à Deus, por tudo que tenho na minha vida e todos os aprendizados e oportunidades que nos fazem crescer e nos tornar pessoas melhores.

À minha família, que sem a base que nos fortifica nada disso seria possível e a quem eu devo todas as minhas conquistas e vitórias.

Ao Francisco, por ter me ensinado tanto em tão pouco tempo, por todo carinho, apoio e confiança em mim e no meu potencial.

Aos meus queridos amigos da graduação, pelo caminho que trilhamos juntos durante esses anos, por tudo que compartilhamos e todas as experiências que ficarão em nossos corações para sempre.

À Nova Acrópole, por me mostrar como me tornar uma pessoa melhor e fazer um mundo melhor.

À minha querida supervisora de estágio, por sua força que me inspira, por todos os conselhos e pela confiança em mim.

À minha coorientadora Fabiane e orientadora, professora Alexandra, que em todos momentos foram solícitas e me orientaram de forma clara e concisa.

À Universidade Federal de Santa Catarina, que me propiciou uma formação e ensino de qualidade.

Por fim, a todos aqueles que me ajudaram direta ou indiretamente na minha formação e conclusão do curso de graduação com este presente trabalho.

Muito obrigada!

RESUMO

O acelerado crescimento das cidades brasileiras tem resultado em grande impacto no ciclo hidrológico, levando ao aumento da frequência e magnitude das inundações e à deterioração dos corpos hídricos. Os sistemas clássicos de drenagem urbana, têm se mostrado insuficientes e ineficientes para a solução desses problemas. Uma alternativa promissora é o emprego de técnicas compensatórias, que visam “compensar” as mudanças no ciclo hidrológico natural. Contudo, a concepção dessas técnicas é complexa, envolvendo aspectos técnicos, econômicos, sociais, ambientais, sanitários, *etc.* Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo propor um método de concepção e avaliação da viabilidade do emprego de técnicas compensatórias de drenagem urbana, com base em adaptação de análise multicritério. A metodologia proposta consiste em duas fases: (i) na primeira é a eliminação das técnicas inviáveis para o local e elencar as viáveis e (ii) na segunda é feita a comparação das alternativas elencadas, baseada em análise de diversos indicadores. O resultado é uma hierarquização das alternativas escolhidas, ordenando-as de acordo com sua viabilidade de implantação. Para aplicação da metodologia, foi realizado um estudo de caso em uma parcela da Universidade Federal de Santa Catarina, localizada em Florianópolis (SC), na qual foi feito o levantamento das características físicas da área. Os resultados avaliaram a aplicação de três técnicas compensatórias, cuja a maior viabilidade de implantação correspondeu ao pavimento permeável, seguido do telhado verde e por último o *wetland*. Com este trabalho, espera-se contribuir para o estudo de implementação das técnicas compensatórias, subsidiando o processo decisório e fortalecendo a aplicação de práticas sustentáveis na drenagem urbana.

Palavras-chave: Drenagem Urbana. Técnicas Compensatórias. Indicadores de Viabilidade.

ABSTRACT

The accelerated growth of Brazilian cities has resulted in a major impact on the hydrological cycle, increasing the frequency and magnitude of floods and the deterioration of water bodies. The classical systems of urban drainage, however, have proved insufficient and inefficient to solve these problems. An alternative to this application are the compensatory techniques, which aim to "compensate" the changes in the natural hydrological cycle. However, the conceptual design of these techniques is complex, involving technical, economic, social, environmental and sanitary aspects. In this context, the present study aims to propose a method for designing and evaluating the feasibility of compensatory urban drainage techniques based on adaptation of multicriteria analysis. The proposed methodology consists of two phases, in which the first one eliminates the non-feasible techniques for the site and lists the feasible ones, and the second one makes the comparison of the listed alternatives, based on the analysis of several indicators. The result is a hierarchy of the chosen alternatives, ordering them according to their feasibility of implantation. To exemplify the methodology, a case study was carried out in a area of the Federal University of Santa Catarina, located in the city of Florianópolis (state of Santa Catarina - Brazil), in which the physical characteristics of the area were surveyed. The results evaluated the application of three compensatory techniques: the technique with the greatest viability for implantation was the permeable pavement, followed by the green roof and finally the wetland. With this work, it is hoped to contribute to the study of the implementation of compensatory techniques, subsidizing the decision-making process and strengthening the application of sustainable practices in urban drainage.

Keywords: Urban Drainage. Compensatory Techniques. Viability Indicators.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Aumento do escoamento superficial em áreas urbanas..... | 22 |
| Figura 2. Inundação das áreas ribeirinhas. | 23 |
| Figura 3.Exemplos de telhados verdes com vegetação extensiva. | 28 |
| Figura 4. Exemplos de telhados verdes com vegetação intensiva. | 28 |
| Figura 5. Corte esquemático de cobertura verde. | 29 |
| Figura 6. Corte esquemático dos tipos de pavimentos porosos. | 30 |
| Figura 7. Estrutura de pavimento com asfalto ou concreto poroso | 30 |
| Figura 8. Demonstração da permeabilidade do concreto poroso..... | 31 |
| Figura 9. Blocos vazados preenchidos com grama..... | 31 |
| Figura 10. Componentes de um sistema de biorretenção. | 33 |
| Figura 11. Exemplo de jardim de chuva planejado e construído..... | 34 |
| Figura 12. Valas ou trincheiras de biorretenção..... | 34 |
| Figura 13. Elementos básicos de um <i>wetland</i> de superfície livre..... | 36 |
| Figura 14. Sugestão de configuração <i>off-line</i> de um <i>wetland</i> | 37 |
| Figura 15. Processo de concepção de técnicas compensatórias de drenagem urbana. | 38 |
| Figura 16. Custos dos dispositivos de drenagem..... | 45 |
| Figura 17. Fluxograma da metodologia proposta..... | 52 |
| Figura 18. Localização da área de estudo..... | 53 |
| Figura 19. Rio do Meio confluência com o Rio Carvoeira no momento de ocorrência de evento de chuva no dia 13 de dezembro de 2011..... | 55 |
| Figura 20. Mapa de uso de ocupação do solo na área de estudo | 60 |
| Figura 21. Fotografia da vegetação densa ao lado dos blocos do CCB (ponto F1 no mapa de uso e ocupação do solo)..... | 61 |
| Figura 22. Fotografia do estacionamento com solo exposto perto do HU (ponto F2 no mapa de uso e ocupação do solo)..... | 61 |
| Figura 23. Imagem aérea em 3D com área de estudo delimitada em vermelho..... | 62 |
| Figura 24. Mapa de declividade da área de estudo..... | 63 |
| Figura 25. Planta de locação dos furos de sondagem do relatório SPT. 64 | |
| Figura 26. Pontos de monitoramento do “Projeto de Recuperação de Qualidade das Águas dos Córregos do Campus João Ferreira Lima em Florianópolis”..... | 65 |
| Figura 27. Classificação do IQA por Estados. | 66 |
| Figura 28. Plano Diretor de Florianópolis na área de estudo. | 67 |
| Figura 29. Áreas potenciais para implantação das técnicas..... | 69 |
| Figura 30. Exemplo de estacionamento com pavimento permeável com vala de detenção. | 70 |
| Figura 31. Concepção das técnicas propostas | 71 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1. Classificação das técnicas compensatórias..... | 27 |
| Quadro 2. Importância relativa de restrições à implantação e à operação das técnicas..... | 41 |
| Quadro 3. Vocação e possibilidades de técnicas de controle da drenagem urbana..... | 42 |
| Quadro 4. Potencial das técnicas compensatórias em satisfazer os aspectos de projeto..... | 43 |
| Quadro 5. Indicadores do Critério "Impactos da Obra"..... | 47 |
| Quadro 6. Indicadores do Critério "Inser o da obra"..... | 48 |
| Quadro 7. Pondera o dos Indicadores..... | 49 |
| Quadro 8. Escala utilizada para os indicadores qualitativos..... | 51 |
| Quadro 9. Fonte dos dados utilizados..... | 57 |
| Quadro 10. Técnicas potenciais para cumprir com os objetivos..... | 68 |
| Quadro 11. Escala utilizada para os indicadores qualitativos..... | 72 |
| Quadro 12. Considera es para a avalia o dos indicadores..... | 73 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Taxa de urbaniza o da popula o brasileira..... | 21 |
| Tabela 2. . Datas de ocorrência de inunda o na bacia do Campus UFSC, número de dias de chuva, chuva acumulada, média e dos 5 dias anteriores..... | 54 |
| Tabela 3.  rea e porcentagem referente ao uso e ocupa o do solo..... | 59 |
| Tabela 4. Valores médios do IQA encontrados para cada ponto de monitoramento..... | 66 |
| Tabela 5. Resultados obtidos para as alternativas escolhidas..... | 72 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
CPA - Camada Porosa de Asfalto
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LID - *Low Impact Development*
SC - Santa Catarina
SUDS - *Sustainable Drainage Systems*
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
WSUD - *Water Sensitive Urban Design*

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 19 |
| 1.1 | OBJETIVOS | 20 |
| 1.1.1 | Objetivo geral | 20 |
| 1.1.2 | Objetivos específicos | 20 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 21 |
| 2.1 | IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO..... | 21 |
| 2.1.1 | Medidas para o controle de inundações urbanas | 23 |
| 2.2 | MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS | 24 |
| 2.2.1 | TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS | 25 |
| 2.2.1.1 | Telhados armazenadores e telhados verdes..... | 27 |
| 2.2.1.2 | Pavimentos permeáveis..... | 29 |
| 2.2.1.3 | Sistemas de biorretenção ou biofiltração..... | 32 |
| 2.2.1.4 | <i>Wetlands</i> construídos para controle de cheias de águas e tratamento de águas de escoamento superficial..... | 35 |
| 2.2.2 | METODOLOGIA PARA CONCEPÇÃO DAS TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS | 37 |
| 2.2.2.1 | Fase de eliminação | 39 |
| 2.2.2.2 | Fase de decisão..... | 44 |
| 3 | METODOLOGIA | 50 |
| 3.1 | PROPOSIÇÃO DA METODOLOGIA PARA CONCEPÇÃO DAS TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS | 50 |
| 3.1.1 | Fase de eliminação | 50 |
| 3.1.2 | Fase de decisão | 50 |
| 3.2 | ESTUDO DE CASO | 53 |
| 3.2.1 | Justificativa da escolha da área de estudo | 54 |
| 3.2.2 | Fontes dos dados utilizados | 57 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 59 |
| 4.1 | FASE DE ELIMINAÇÃO | 59 |
| 4.1.1 | Caracterização do local e da infraestrutura existente | 59 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 4.1.2 | Objetivos para a escolha das técnicas..... | 68 |
| 4.1.3 | Proposição das alternativas de técnicas compensatórias. | 68 |
| 4.2 | FASE DE DECISÃO | 71 |
| 5 | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 77 |
| | REFERÊNCIAS..... | 79 |

1 INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento dos centros urbanos no Brasil nas últimas décadas foi caracterizado pela falta de planejamento urbano e regulamentação da ocupação urbana. Esses fatores, somados à impermeabilização das superfícies, ocupação das áreas ribeirinhas e morros, têm resultado em inundações cada vez mais intensas e frequentes (RECESA, 2007).

Os sistemas clássicos de drenagem urbana, principais medidas de manejo para o controle de enchentes utilizadas no Brasil, visam o rápido escoamento das águas pluviais urbanas para fora das cidades. Porém esses sistemas têm se mostrado onerosos e de rápida obsolescência, apresentando limitações na eficiência hidráulica, além de negligenciar o controle na geração do escoamento e nos aspectos de qualidade da água (RIGHETTO, 2009).

Nesse contexto, surgiram as técnicas compensatórias, sistemas alternativos de drenagem urbana que buscam reestabelecer as condições de pré-urbanização no ciclo hidrológico, utilizando estruturas de armazenamento e infiltração. Essas técnicas apresentam vantagens devido à diminuição da vazão à jusante e a melhoria da qualidade da água podendo, também, serem utilizadas para usos múltiplos, resultando em uma melhor inserção urbanística.

Devido à multiplicidade de alternativas e arranjos possíveis das técnicas compensatórias, a escolha e concepção dos projetos se torna complexa, podendo ser realizada em duas fases distintas: a primeira fase de eliminação, consistindo em elencar as técnicas viáveis com base nas características do local e restrições das técnicas, seguida da fase de decisão, onde se compara as alternativas selecionadas, ordenando-as de acordo com sua viabilidade de implantação.

O presente estudo propôs um método de concepção e avaliação da viabilidade de técnicas compensatórias, subsidiando a escolha da técnica mais viável para ser implantada. O método proposto foi adaptado de Moura (2004), que consistiu de uma análise multicritério de diversos indicadores de custo - desempenho dos sistemas de drenagem.

Para aplicação da metodologia proposta, foi realizado um estudo de caso em uma parcela da Universidade Federal de Santa Catarina, localizada em Florianópolis (SC). Esta é uma região que presenciou a rápida urbanização no seu entorno e vem sofrendo com casos de inundações e contaminação de seus córregos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Propor um método de concepção e avaliação da viabilidade de técnicas compensatórias de drenagem urbana baseado em adaptação de análise multicritério.

1.1.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Levantar as técnicas compensatórias existentes em drenagem urbana e os respectivos requisitos necessários para concepção;
- Avaliar técnicas compensatórias de drenagem urbana aplicáveis à região do exutório de uma sub-bacia da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- Comparar as técnicas selecionadas por meio do método proposto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO

A partir da década de 60, observou-se um forte crescimento demográfico nas metrópoles e grandes cidades brasileiras (Tabela 1), sendo que em 2010 a taxa de urbanização do Brasil atingiu 84,36% (IBGE, 2010). Porém, esse acelerado processo de urbanização não ocorreu acompanhado de um eficiente planejamento urbano, caracterizando-se pela expansão irregular e falta de investimento público em equipamentos urbanos de saneamento (TUCCI, 2002).

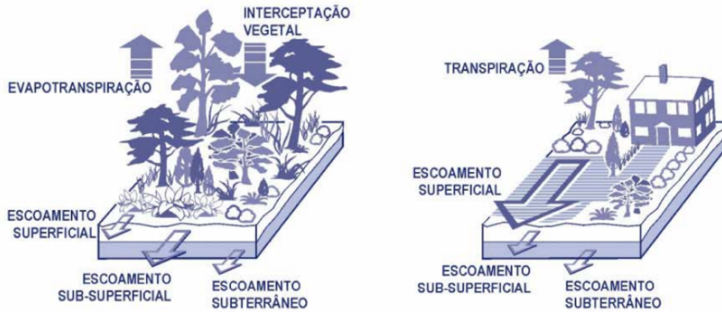
Tabela 1. Taxa de urbanização da população brasileira.

| Ano | Taxa de urbanização (%) | Ano | Taxa de urbanização (%) |
|------|-------------------------|------|-------------------------|
| 1940 | 31,24 | 1991 | 75,59 |
| 1950 | 36,16 | 2000 | 81,23 |
| 1960 | 44,67 | 2007 | 83,48 |
| 1970 | 55,92 | 2010 | 84,36 |
| 1980 | 67,59 | | |

Fonte: IBGE (2010).

Durante o processo de urbanização, a impermeabilização das superfícies - através da construção de edificações e do sistema viário - e a canalização dos rios provocaram uma série de impactos no ciclo hidrológico: a precipitação da chuva atinge a superfície das cidades e, ao invés de uma parcela ser infiltrada no solo até atingir os lençóis de água subterrânea ou passarem pelo processo de evapotranspiração através da vegetação, maior parte do volume precipitado é convertido em escoamento superficial (Figura 1) (RECESA, 2007).

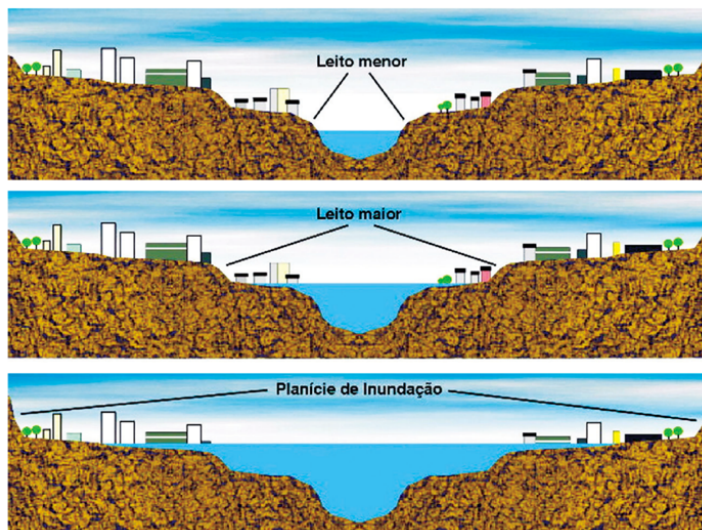
Figura 1. Aumento do escoamento superficial em áreas urbanas.



Fonte: SUDERHSA (2002).

O aumento do volume do escoamento superficial e da capacidade de escoamento através de condutos e canais construídos ao longo da cidade resulta em um aumento das vazões máximas dos cursos d'água e a frequência com que estas ocorrem (TUCCI, 2002). Estes fatores, combinados com a ocupação das áreas ribeirinhas, que são definidas como o leito maior do rio onde ocorrem enchentes naturais (Figura 2), levam a eventos de inundações cada vez mais frequentes e intensos nas áreas urbanas (RECESA, 2007). Como consequência, as inundações acarretam em perdas humanas e materiais, interrupções das atividades econômicas nas áreas inundadas, contaminação de doenças de veiculação hídrica e contaminação da água pela inundação de equipamentos urbanos (SUDERHSA, 2002).

Figura 2. Inundação das áreas ribeirinhas.



Fonte: RECESA (2007).

A urbanização também gera impacto considerável na qualidade das águas pluviais. Estas recebem elevada contribuição de sedimentos e carga orgânica devido à exposição do solo, incorreta disposição dos resíduos sólidos pela população, lavagem de ruas, transporte de material sólido e ligações clandestinas de esgoto na rede pluvial (TUCCI, 1997). SUDERHSA (2002) cita também que existem impactos decorrentes à forma desorganizada de como a infraestrutura urbana é implantada, tais como pontes e taludes que obstruem o escoamento; redução da seção de canais devido a aterros; obstrução de rios, canais e condutos devido a incorreta disposição dos resíduos sólidos; projetos e obras mal planejados. Segundo Tucci (2005), as inundações equivalem a 50% dos desastres naturais relacionados à água, e destes, 20% ocorrem na América do Sul.

2.1.1 Medidas para o controle de inundações urbanas

Segundo Righetto (2009), os primeiros conceitos de drenagem urbana utilizados em projetos e planos de controle de enchentes são divididos em ações ou medidas estruturais e não estruturais.

As ações estruturais são utilizadas para modificar o curso d'água, com o objetivo de conter, reter ou melhorar a condução do escoamento,

envolvendo obras de captação (bueiros e bocas de lobo), obras de transporte (canais e galerias) e obras de detenção (bacias de detenção, reservatórios, entre outros) (SUDERHSA, 2002). De acordo com Tucci (2002), estas medidas normalmente envolvem grandes investimentos de recursos e solucionam somente problemas específicos e localizados.

Já as ações não estruturais integram a gestão das águas pluviais nas sub-bacias de uma cidade (RIGHETTO, 2009), através da prevenção, reversão e minimização do problema (SUDERHSA, 2002). Estas ações envolvem a conscientização da população, legislação adequada (como o zoneamento das áreas de inundação), eficiente fiscalização de uso e ocupação do solo, manutenção constante das estruturas de controle (RIGHETTO, 2009).

Desta forma, Righetto (2009) entende que o controle e a minimização dos efeitos das enchentes urbanas não deve ser um princípio predominantemente técnico, mas deve ser um conjunto de ações integradas tanto estruturais e não estruturais, formando o conceito atual de manejo de águas pluviais urbanas.

2.2 MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

No Brasil, o sistema de manejo de águas pluviais urbanas adotado desde a época da proclamação da República em 1989 foram os chamados “sistemas clássicos de drenagem urbana” ou sistemas tradicionais. Este sistema tem como princípio os preceitos higienistas, utilizados na época pela Europa, em que se deveriam realizar o rápido escoamento das águas pluviais urbanas através da implantação de condutos subterrâneos e funcionando por gravidade, evitando a veiculação de doenças hídricas e facilitando a circulação viária (RECESA, 2007). Em tal abordagem, as chuvas eram vistas como uma forma de limpeza das vias públicas, pátios e coberturas, descartando-se todo o excesso de água gerado para a jusante, transferindo o problema para outras subáreas da bacia hidrográfica urbana (RIGHETTO, 2009).

Segundo Souza (2013), este sistema é basicamente um conjunto de elementos de micro e macrodrenagem utilizados para coletar as águas pluviais precipitadas sobre a cidade e conduzi-las para outra destinação. O sistema de microdrenagem é composto por meio fios, sarjetas, bocas de lobo, tubulações, galerias e poços de visitas; enquanto que os sistemas de macrodrenagem correspondem ao conjunto de canais, que em geral eram correspondentes aos córregos, rios e riachos, e que posteriormente foram canalizados (RECESA, 2007). Assim, nesta visão a solução para a drenagem pluvial é basicamente a ampliação dos

condutos e aumento da eficiência hidráulica, acelerando o escoamento a jusante.

Pompêo (2000) argumenta que esta visão tradicional, ainda predominante nos meios técnicos, tem o foco somente no controle do escoamento no conduto, enquanto o controle na geração do escoamento não é tão lembrado. Souza (2013) destaca que essa abordagem leva a constantes ampliações das canalizações com custos cada vez maiores, pois os sistemas continuam falhando. Isto ocorre devido o contínuo aumento das vazões produzidas a montante predominante ao aumento da impermeabilização do solo e também em função da degradação da qualidade das águas pluviais. Além disso, essas técnicas clássicas não se adaptam ao controle e manejo dos efeitos da poluição das águas pluviais urbanas (RECESA, 2007). Righetto (2009) ainda complementa que as soluções tradicionais são localizadas e parciais, muitas vezes de caráter emergencial devido a eventos de inundações, revelando-se serem pouco flexíveis e adaptáveis a mudanças do meio, onerosas e de rápido obsolescência.

Nesse sentido, a partir dos anos 70 (RECESA, 2007) uma mudança de paradigma vem sendo introduzido para abordar tais problemas, buscando soluções alternativas e sustentáveis para a drenagem urbana (SOUZA, 2013). O conceito de Técnicas Compensatórias (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005) emergiu, buscando a compensação dos efeitos da urbanização e a convivência com os processos naturais, com benefício para a qualidade de vida e a preservação do meio ambiente (RECESA, 2007). Outras abordagens inovadoras na drenagem urbana também têm sido utilizadas, como o *Low Impact Development* – LID (2012), *Water Sensitive Urban Design* - WSUD (2012) e *Sustainable Drainage Systems* – SuDS (2012), todas incorporando a dimensão da sustentabilidade aos sistemas de drenagem.

2.2.1 TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS

As técnicas compensatórias de drenagem urbana têm como princípio uma visão global dos impactos da urbanização, utilizando como base de planejamento a bacia hidrográfica para a compensação dos impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico (RECESA, 2007).

Essas técnicas, também chamadas de tecnologias alternativas de drenagem pluvial, utilizam estruturas de armazenamento e de infiltração das águas pluviais, promovendo o amortecimento das cheias e a

diminuição dos volumes de escoamento superficial (RIGHETTO, 2009). Atualmente existem também soluções que promovem a interceptação e a evapotranspiração, além de novas abordagens que contemplam a melhor inserção urbanística das técnicas compensatórias através de usos múltiplos, como por exemplo, uma estrutura de amortecimento de cheias associada a uma área verde de lazer (RIGHETTO, 2009).

Existem diversas formas de classificar as técnicas compensatórias, nas quais dois tipos de classificação tidos como mais relevantes, segundo Righetto (2009), são: (1) conforme o modo de influenciar a geração de escoamento pluvial e (2) em relação à posição de implantação da estrutura. Em (1) classifica-se as técnicas em estruturais e não-estruturais, enquanto em (2) as técnicas são classificadas em controle na fonte e controle centralizado.

As técnicas compensatórias não estruturais são relacionadas aos instrumentos legais que podem ser utilizados para a regulação, fiscalização e controle de uso do solo e de ligações clandestinas de esgoto à rede pluvial. Outras medidas como a renaturalização de cursos d'água, manutenção dos cursos urbanos em seu estado mais próximo ao original e o manejo de pesticidas, fertilizantes e detergentes para a redução da poluição difusa proveniente do escoamento pluvial também se enquadram nessa classificação (RIGHETTO, 2009). Já as técnicas estruturais envolvem estruturas que promovem o processo de infiltração e armazenamento das águas pluviais.

Entre as medidas estruturais, segundo Baptista, Nascimento e Barraud (2005), as técnicas de controle na fonte são implantadas junto a parcelas ou pequenos conjuntos de parcelas associadas à drenagem de pequenas áreas. Dentre estas, as técnicas lineares são usualmente implantadas junto ao sistema de infraestrutura viárias existentes, como pátios e estacionamentos. Já as técnicas de controle centralizado são implantadas junto a parcelas associadas a áreas de drenagem de grande porte. A classificação das técnicas compensatórias é ilustrada no **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Quadro 1. Classificação das técnicas compensatórias.

| | | | |
|---|---|----------------------------------|---------------------------|
| Técnicas compensatórias não estruturais | Regulação do uso do solo | | |
| | Criação de áreas verdes | | |
| | Recuperação de matas ciliares - parques lineares | | |
| | Não conexão ou desconexão de área impermeáveis | | |
| | Uso de revestimentos de elevada rugosidade em vias e canais | | |
| | Manejo de fertilizantes, pesticidas e detergentes | | |
| Técnicas compensatórias estruturais | Controle na fonte | Localizado | Telhado verde |
| | | | Microrreservatório |
| | | | Poço de infiltração |
| | | | Plano de infiltração |
| | Controle na fonte | Linear | Trincheira de infiltração |
| | | | Vala de detenção |
| | | | Pavimento reservatório |
| | | | Pavimento permeável |
| | | | Áreas úmidas lineares |
| | Controle centralizado | Bacias de detenção ou retenção | |
| | | Bacias de infiltração | |
| | | Bacias de detenção e infiltração | |
| | | Áreas úmidas artificiais | |

Fonte: Righetto (2009).

A seguir, serão apresentadas de forma sucinta algumas técnicas compensatórias estruturais, mostrando seus princípios básicos, restrições, vantagens e desvantagens.

2.2.1.1 Telhados armazenadores e telhados verdes

Um das possibilidades de redução dos efeitos da impermeabilização decorrente da implantação de edificações é o

armazenamento temporário das águas pluviais nos telhados, utilizados como forma de amortecer a vazão restituída à rede de água pluvial.

Segundo Baptista, Nascimento e Barraud. (2005), é possível a utilização de telhados planos ou com uma declividade de até 5%, com a possibilidade de implantação de compartimentos e também de telhados vegetalizados (ou telhados verdes).

Os telhados verdes podem ser divididos em duas categorias: com vegetação extensiva e vegetação intensiva. A vegetação extensiva é caracterizada por uma camada menor de solo, com plantas mais baixas, geralmente gramas nativas, requerem menor manutenção (TOMAZ, 2009) e normalmente são telhados não acessíveis (Figura 3). Já a vegetação intensiva tem uma camada de solo mais profunda, suportando maior variedade de plantas e requerem uma manutenção mais intensiva, sendo usualmente acessíveis (WOODS-BALLARD *et al.*, 2015) (Figura 4).

Figura 3. Exemplos de telhados verdes com vegetação extensiva.



Fonte: Woods-Ballard *et al.* (2015).

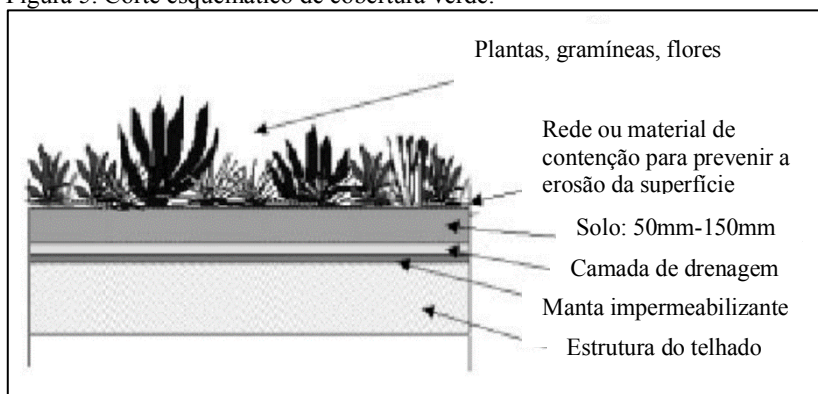
Figura 4. Exemplos de telhados verdes com vegetação intensiva.



Fonte: Woods-Ballard *et al.* (2015).

Segundo Righetto (2009), os telhados verdes são muito eficientes na redução do escoamento, pelo aumento da área verde e da evapotranspiração, sendo eficientes na retenção de chuvas intensas e de curta duração. Estes devem ser implementados em coberturas planas com reforço estrutural, onde a laje deve ser recoberta com manta impermeabilizante, sistema de drenagem, camada de solo, rede ou material de contenção para prevenir a erosão da superfície devido ao vento e à chuva, como demonstrado na Figura 5. As espécies de plantas utilizadas devem ser resistentes às altas temperaturas, à baixa umidade do solo e a períodos de inundações curtos.

Figura 5. Corte esquemático de cobertura verde.



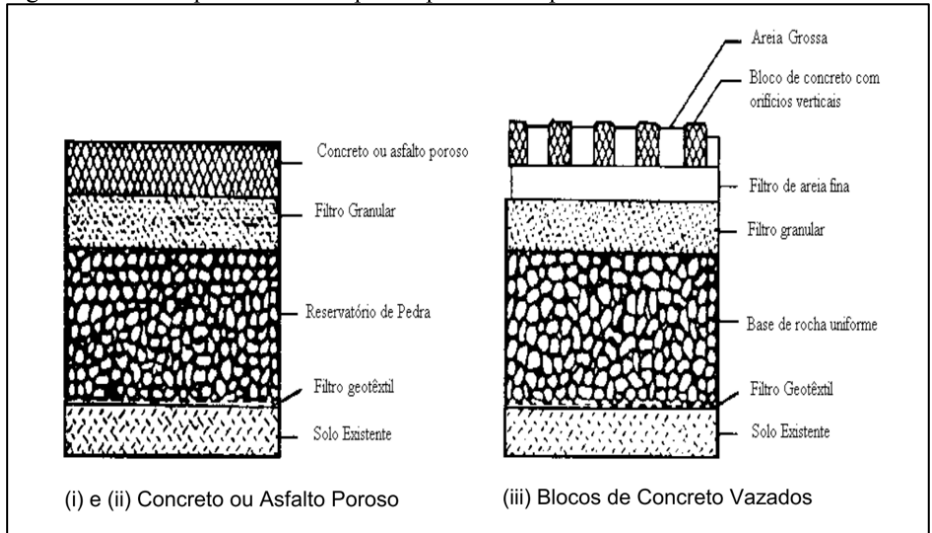
Fonte: Adaptado de Tomaz (2009).

De acordo com *Woods-Ballard et al.* (2015), os telhados verdes podem oferecer um micro habitat para pássaros e insetos acima dos existentes no nível do solo. Os telhados verdes podem até ser projetados para se assemelhar a ecossistemas ou habitats ameaçados, por meio de *layouts*, projetos e plantios apropriados para as espécies em questão.

2.2.1.2 Pavimentos permeáveis

Os pavimentos permeáveis são dispositivos de infiltração onde o escoamento superficial escoam pelos espaços livres de sua estrutura, em seguida passa por um filtro granular sendo direcionado a um reservatório de pedras localizado sob a superfície do terreno (Figura 6). O escoamento a partir do reservatório pode ser realizado através da infiltração no solo ou através de um exutório (TUCCI; GOLDENFUM; ARAUJO, 2000).

Figura 6. Corte esquemático dos tipos de pavimentos porosos.

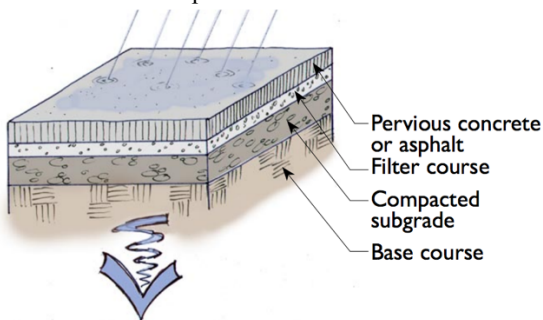


Fonte: Urbonas e Stahre (1993).

Pode-se classificar os pavimentos permeáveis de acordo com sua composição, basicamente em três tipos (URBONAS E STAHRÉ, 1993):

- a) Pavimento de asfalto poroso: A camada de asfalto poroso, também conhecido como “camada porosa de atrito” (CPA), é uma mistura de agregados do pavimento com a retirada de fração da areia fina, permitindo com que a água infiltre através da superfície do pavimento poroso (Figura 7).

Figura 7. Estrutura de pavimento com asfalto ou concreto poroso



Fonte: San Mateo Countywide (2009).

- b) Pavimento de concreto poroso (Figura 8): Composto por conceito similar ao CPA, onde ocorre a retirada da fração de areia fina da mistura do agregado.

Figura 8. Demonstração da permeabilidade do concreto poroso.



Fonte: San Mateo Countywide (2009).

- c) Pavimento de bloco de concreto vazado preenchido com material granular (areia ou vegetação rasteira): Os blocos de concreto vazados são assentados sobre material granular (areia) e são preenchidos com areia grossa ou vegetação rasteira, como grama (Figura 9). Filtros geotêxtis são colocados sob a camada de areia para prevenir o carreamento de areia fina para a camada granular.

Figura 9. Blocos vazados preenchidos com grama.



Fonte: San Mateo Countywide (2009).

Tucci; Goldenfum e Araujo (2000) comentam que algumas limitações dessa técnica podem ser:

- Quando a água drenada for altamente contaminada, pode haver impacto sobre o lençol freático;
- Falta de controle na construção e manutenção pode levar ao entupimento dos caminhos de condução da água na estrutura.

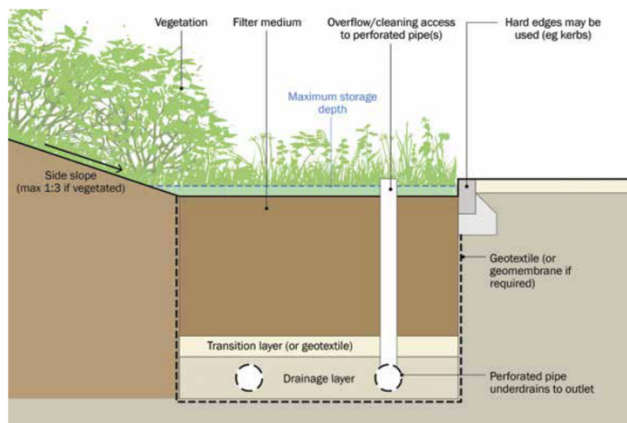
Almeida (2014) observa também que hoje este tipo de pavimento tem boa funcionalidade em estacionamentos, calçadas de pedestres e ciclovias, porém em outros locais, como o espaço viário, devem-se realizar estudos que comprovem aspectos relativos à permeabilidade, custo, desempenho e durabilidade.

2.2.1.3 Sistemas de biorretenção ou biofiltração

Os sistemas de biorretenção ou biofiltração são depressões no solo compostos por uma camada filtrante coberta por vegetação, utilizadas para armazenar temporariamente o volume de escoamento superficial e, posteriormente, infiltrar através da camada filtrante para o solo ou algum sistema de coleta (WOODS-BALLARD *et al.*, 2015). A vegetação e o solo utilizados funcionam também para a remoção ou atenuação dos poluentes carregados no escoamento (ASSUNÇÃO; FERREIRA; FINOTTI, 2017).

Existem diversas configurações que são utilizadas e citadas na literatura, mas em geral os principais componentes de um sistema de biorretenção compreendem uma camada de vegetação, meio filtrante, camada de transição e uma zona de drenagem. O sistema pode ser isolado ou não, definindo também a necessidade de um tubo perfurado na zona de drenagem, como é possível observar na Figura 10.

Figura 10. Componentes de um sistema de biorretenção.



Fonte: Woods-Ballard *et al.* (2015).

O sistema de biorretenção e suas diversas variações são amplamente utilizadas pelas técnicas de *Sustainable Drainage Systems* (SuDS) no Reino Unido e de *Water Sensitive Urban Design* (WSUD) na Austrália. Quando são áreas pequenas ou bacias são referidos como jardins de chuva (*rain gardens*) (Figura 11) e quando formam sistemas lineares são denominados como valas ou trincheiras de biorretenção (Figura 12) (DELETIC *et al.*, 2015). Outras variações são mencionadas por Woods-Ballard *et al.* (2015), como os sistemas elevados plantados (livre tradução para *raised planter*) e os sistemas de biorretenção anaeróbios.

Figura 11. Exemplo de jardim de chuva planejado e construído.



Fonte: CIRIA, 2015.

Figura 12. Trincheira de biorretenção.



Fonte: Woods-Ballard *et al.* (2015).

De acordo com Deletic *et al.* (2015), uma das vantagens dessa técnica se deve ao fato de ser flexível e adaptável, podendo ser aplicada em diferentes situações e paisagens, desde quintais privados, ruas e estacionamentos até em escalas maiores como parques públicos e reservas ambientais.

Dentre as desvantagens, Assunção; Ferreira, Finnoti (2017) mencionam os escassos estudos existentes em regiões tropicais e subtropicais, tornando a sua eficiência questionável quando utilizados dados e parâmetros aplicados em países de climas tropicais.

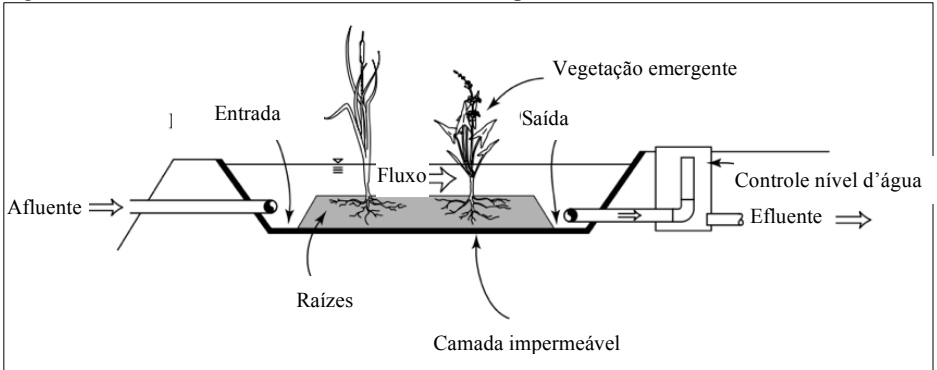
2.2.1.4 *Wetlands* construídos

Wetlands naturais são áreas de transição entre um sistema terrestre e um sistema aquático, que podem compreender uma série de tipos de ambientes, como pântanos alagados, brejos, várzeas, mangues ou lagos rasos (DAVIS, 2000). Estes sistemas desenvolveram uma vegetação adaptada à vida em solos alagados, onde a água, o solo e os vegetais formam um sistema equilibrado, degradando a matéria orgânica, reciclando os nutrientes e melhorando a qualidade da água (POÇAS, 2015).

Os *wetlands* construídos, por sua vez, reproduzem as características dos *wetlands* naturais e consistem em uma bacia projetada para conter a água, o substrato e plantas vasculares. Outros componentes importantes são as comunidades de microrganismos e invertebrados aquáticos que se desenvolvem naturalmente (DAVIS, 2000). Como esses sistemas possuem taxas de atividade biológica superiores à maioria dos demais ecossistemas, os *wetlands* são capazes de transformar muitos poluentes comumente presentes em águas residuais em subprodutos inofensivos ou nutrientes essenciais utilizados na própria atividade biológica. Desta forma, este sistema se torna uma alternativa com custos relativamente baixos de operação e manutenção quando utilizados como sistemas de tratamento (KADLEC; WALLACE, 2009). Por isso, os *wetlands* também vêm sendo empregados para o tratamento de águas superficiais urbanas há vários anos (ZHANG; CUI; FAN, 2012). Segundo Melbourne Water (2017), a principal função do *wetlands* nesse caso é mitigar os impactos da urbanização através da redução da poluição em águas de escoamento superficial.

Para o tratamento de águas pluviais urbanas, Kadlec e Wallace (2009) recomendam o uso do *wetland* de fluxo superficial de superfície livre (*Free Water Surface – FWS*), por sua habilidade de lidar com vazões e níveis de profundidades variados (Figura 13).

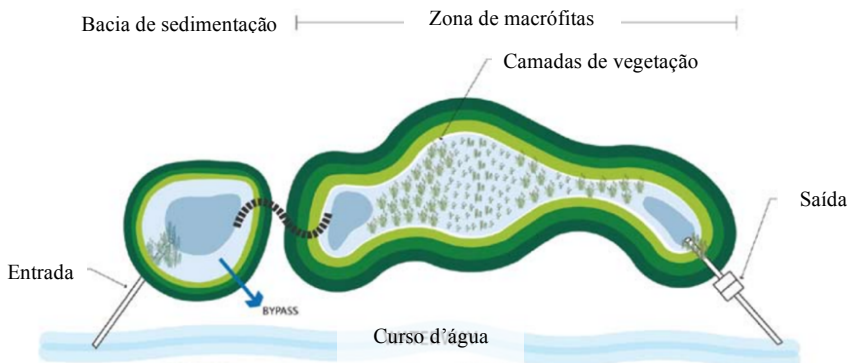
Figura 13. Elementos básicos de um *wetland* de superfície livre.



Fonte: Kadlec e Wallace (2009).

Melbourne Water (2017) salienta que, para a construção de *wetlands* em canais de drenagem, é altamente recomendável que a posição em relação ao curso d'água seja na modalidade *off-line*, ao invés de *online*, como exemplificado na Figura 14. Vazões excessivas no caso de *wetland online* podem prejudicar o funcionamento hidráulico e causar a acumulação de sedimentos, o carreamento da vegetação e do solo superficial, comprometendo a integridade e desempenho do *wetland*. Sistemas *off-line* possuem um mecanismo *by-pass* para desviar as vazões excessivas, protegendo o sistema e conferindo menor necessidade de manutenção. Burchell *et al.* (2010) recomenda que antes da entrada no *wetland*, a água passe por um pré-tratamento, diminuindo a probabilidade de colmatação do sistema e a velocidade da água, que pode ser realizado através de uma bacia de sedimentação.

Figura 14. Sugestão de configuração *off-line* de um *wetland*.



Fonte: Adaptado de *Melbourne Water* (2010).

De acordo com Davis (2000), para a seleção do local a ser construído o *wetland* deve-se considerar o uso e ocupação do solo, acessos (deve ser de fácil acesso para funcionários, maquinários e equipamentos para construção e manutenção), disponibilidade de área, topografia do local, características do solo, recursos ambientais locais e a possibilidade de afetar vizinhos. Recomenda-se que seja próximo à fonte de poluição e se possível que o local tenha uma leve inclinação para que a água possa fluir através do sistema por gravidade. Além disso, é importante que o solo seja suficientemente impermeável para que a água não infiltre e o nível de água do sistema se mantenha constante.

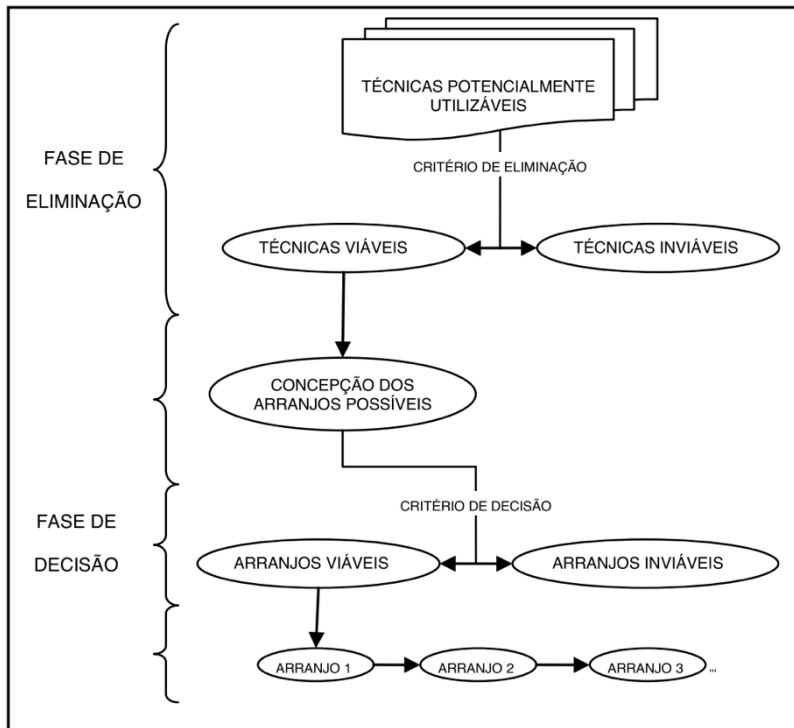
2.2.2 METODOLOGIA PARA CONCEPÇÃO DAS TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS

A concepção dos sistemas de drenagem, em especial as técnicas compensatórias, tem se mostrado um problema complexo, envolvendo múltiplos objetivos e decisores (BRITO, 2006). Idealmente, a determinação e o projeto da técnica a ser implantada deve ser realizada ao mesmo tempo em que se desenvolve o projeto de urbanização de uma nova área, porém, em muitos casos, busca-se soluções alternativas para áreas já urbanizadas, o que representa também uma série de limitações à escolha e custos de implantação da técnica (RIGHETTO, 2009).

Azzout *et al.* (1995) demonstraram que o processo de decisão e concepção da técnica compensatória deveria ser realizado em duas fases

distintas: de eliminação e de decisão (Figura 15). A primeira fase corresponde à eliminação das técnicas inviáveis para uma determinada área, baseando-se a partir da análise de uma série de critérios discriminantes (ou critérios de eliminação), compreendendo as características físicas da técnica e suas implicações na área de implantação. Essa análise é realizada através do confronto entre vários requisitos e implicações que limitam ou não o emprego da técnica. O objetivo dessa análise é identificar as técnicas passíveis de serem integradas ao local. A segunda etapa consiste na escolha entre as diversas técnicas admissíveis ou diferentes cenários avaliados. Os critérios de seleção são baseados nas funções ou usos para a área, nas exigências ambientais, nas restrições de manutenção e custos das obras, etc. Assim, com base em diversos critérios definidos pelo decisor, realiza-se a melhor escolha dentre os arranjos (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005).

Figura 15. Processo de concepção de técnicas compensatórias de drenagem urbana.



Fonte: Adaptado de Barraud *et al.* (1999).

2.2.2.1 Fase de eliminação

Para a definição de quais critérios a serem utilizados na primeira fase, na seleção das técnicas viáveis para um determinado local, Brito (2006) argumenta que estes devem ser extraídos a partir de estudos preliminares para a implantação de um projeto de drenagem e a partir dos impactos causados pela urbanização no ciclo hidrológico. Desta forma, Brito (2006) identifica que normalmente são avaliados os seguintes critérios:

- Critério físico: características locais gerais da bacia ou do local de implantação da obra de drenagem, como a declividade, tipo de ocupação da área (comercial, residencial, industrial), porcentagem de área impermeabilizada, características do solo (permeabilidade, capacidade de infiltração, grupo de solo), nível d'água do lençol subterrâneo (RIGHETTO, 2009), entre outros;
- Critério hidrológico: Características hidrológicas locais, como intensidade de chuva, precipitação média da área ou da bacia, precipitação máxima, vazão de pico, tempo de concentração, tempo de pico, entre outros;
- Critério hidráulico: Relacionado às características da obra, para a escolha e dimensionamento das estruturas hidráulicas, como por exemplo o período de retorno do local;
- Critério econômico: Valor econômico para a construção do projeto, manutenção e operação da obra, ou o benefício econômico caso seja possível quantificar os prejuízos evitados.

Righetto (2009) ainda complementa com mais alguns critérios necessários:

- Critérios urbanísticos e de infraestrutura: Disponibilidade de espaço para as técnicas compensatórias, existência de redes de infraestrutura urbana no subsolo (redes de água, esgoto, eletricidade, etc);
- Critérios sanitários e ambientais: Riscos de poluição das águas e dos solos devido à qualidade da água a serem evacuadas e a vulnerabilidade do meio receptor;
- Critérios socioeconômicos: Percepção e aceitação das técnicas compensatórias pela população que habita as áreas vizinhas.

A partir desses critérios, Righetto (2009) propõe a utilização de tabelas para o auxílio do reconhecimento das técnicas adequadas a um local. O Quadro 2 resume as principais restrições à implantação e operação das técnicas, enquanto o Quadro 3 compõe as vocações e possibilidades das técnicas.

Quadro 2. Importância relativa de restrições à implantação e à operação das técnicas.

| Técnica | Restrições à implantação e à operação das técnicas | | | | | |
|--------------------------------|--|-------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------|
| | Permeabilidade do solo | Declividade | Proximidade do lençol | Proximidade de de leito rochoso | Restrições ao uso do solo | Aporte de sólidos |
| Bacia de detenção | + | + | + | ++ | +++ | ++ |
| Bacia de infiltração | +++ | + | +++ | +++ | +++ | +++ |
| Valas e valetas de detenção | + | ++ | + | ++ | ++ | ++ |
| Valas e valetas de infiltração | +++ | +++ | +++ | +++ | ++ | +++ |
| Pavimentos porosos | ++ | +++ | ++ | + | + | +++ |
| Revestimentos permeáveis | ++ | +++ | ++ | + | + | +++ |
| Trincheiras de detenção | + | ++ | ++ | ++ | ++ | + |
| Trincheiras de infiltração | +++ | +++ | +++ | +++ | ++ | + |
| Poços de infiltração | +++ | + | +++ | +++ | ++ | + |
| Telhados armazenadores | + | + | + | + | + | + |
| Reservatórios individuais | + | + | ++ | ++ | + | + |

Legenda: +++: grande importância; ++: média ou possível importância; +: importância pequena ou nula

Fonte: Baptista, Nascimento e Barraud (2005).

Quadro 3. Vocação e possibilidades de técnicas de controle da drenagem urbana.

| Técnica |  rea de drenagem controlada | Controle de vazão de pico (tempo de retorno - anos) | | | Controle de volumes | Recarga do lençol | Reuso direto |
|--------------------------------|-----------------------------|---|--------|---------|---------------------|-------------------|--------------|
| | | 1 - 2 | 1 - 10 | 1 - 100 | | | |
| Bacia de detenção | Grande (> 16 ha) | P | P | V | N | N | V |
| Bacia de infiltração | Média | P | P | V | P | P | V |
| Valas e valetas de detenção | Pequena – média | V | N | N | N | N | N |
| Valas e valetas de infiltração | Pequena – média | V | N | N | P | P | N |
| Pavimentos porosos | Pequena – média | P | N | N | V | V | N |
| Revestimentos permeáveis | Pequena – média | V | N | N | V | V | N |
| Trincheiras de detenção | Pequena (< 4 ha) | V | V | N | N | N | N |
| Trincheiras de infiltração | Pequena | V | V | N | V | V | N |
| Poços de infiltração | Pequena | V | N | N | V | V | N |
| Telhados armazenadores | Pequena | V | N | N | N | N | V |
| Reservatórios individuais | Pequena | P | V | N | N | N | V |

Legenda: P = geralmente possível; V = pode ser possível; N = nunca ou usualmente possível

Fonte: Baptista, Nascimento e Barraud (2005).

De uma forma parecida, *Woods-Ballard et al.* (2015), no manual para aplicação dos Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis (SUDS), propõe o Quadro 4, abrangendo mais algumas técnicas para subsidiar o processo de desenvolvimento e escolha da combinação das técnicas.

Quadro 4. Potencial das técnicas compensatórias em satisfazer os aspectos de projeto.

| Tipo de técnica | Descrição | Aspectos de projeto | | | | | |
|---|--|---------------------|--------------------|------|-------------------|------------|----------------|
| | | Vazão de pico | Quantidade de água | | Qualidade da água | Amenidades | Biodiversidade |
| | | | Volume escoamento | | | | |
| | | | Pouco | Alto | | | |
| Sistemas de coleta de águas pluviais | Coleta do escoamento superficial de um edifício ou superfícies pavimentadas. | | P | P | | | |
| Telhados verdes | Telhados com solos plantados que diminuem e retém o escoamento. | V | P | | P | P | P |
| Sistemas de infiltração | Sistemas armazenam escoamento superficial, permitindo a infiltração no solo. | P | P | P | P | P | P |
| Sistemas de tratamento | Estruturas sob o solo projetadas para tratar o escoamento superficial. | | | | P | | |
| Trincheiras de infiltração | Faixas de grama que promovem sedimentação e infiltração do escoamento superficial. | | P | | P | V | V |
| Trincheiras de drenagem | Trincheiras rasas de pedra que fornecem atenuação e tratamento de escoamento. | P | V | | P | V | V |
| Valas e valetas de detenção | Canais vegetados usados para transportar e tratar o escoamento superficial. | P | P | P | P | P | P |
| Sistemas de biorretenção | Depressões que permitem que o escoamento seja armazenado e filtrado através da vegetação. | P | P | P | P | P | P |
| Pavimentos permeáveis | Pavimentos por onde o escoamento superficial é absorvido e em seguida é armazenados e/ou infiltrado para o solo. | P | P | P | P | V | V |
| Bacias de detenção | Espaço sob o solo usado para armazenar temporariamente e filtrar o escoamento. | P | | | | | |
| Bacias de infiltração | Depressões de vegetação que armazenam e tratam o escoamento superficial. | P | P | | | P | P |
| Bacia de sedimentação e <i>wetlands</i> | Bacias utilizadas para facilitar o tratamento do escoamento superficial. | P | | | P | P | P |

Legenda: P = Provável contribuição para satisfazer os critérios de projeto;
 V = Algum potencial de contribuição para satisfazer os aspectos de projeto.
 Fonte: Adaptado de Woods-Ballard *et al.* (2015).

2.2.2.2 Fase de decisão

A segunda etapa consiste na comparação e seleção dentre as alternativas propostas na etapa anterior. Diversas metodologias são utilizadas para auxiliar na avaliação e comparação de desempenho das alternativas, nas quais normalmente são propostos um conjunto de indicadores e comparados através de métodos multicritérios (BRITO, 2006).

Nesse sentido, Moura (2004) propõe indicadores de custos e utiliza indicadores de desempenho propostos anteriormente por Castro (2002), a fim de possibilitar a avaliação global de sistemas de drenagem urbana, fornecendo uma ferramenta de auxílio à decisão para avaliação de alternativas de arranjos de projetos.

O indicador de custos é construído pela soma dos custos de implantação, manutenção e operação dos sistemas de drenagem. Para os variados sistemas de drenagem Moura; Baptista e Barraud (2009) realizaram um extenso estudo, resumido na Figura 16.

Figura 16. Custos dos dispositivos de drenagem.

| Estrutura | Custo de Implantação | Custos de Operação e Manutenção (em US\$ / ano) | Vida útil |
|-------------------------------------|--|--|-----------|
| Redes tubulares | [0,4459 x diâmetro (mm)-59,7770] US\$/m | 109,49 / metro linear | 30 anos |
| Galerias | [117,5378 x área da seção (m ²)+556,7782] US\$/m | 32,0923/metro linear + 0,2575/m ² | 30 anos |
| Canal revestido em concreto | 95,87 US\$/ m ² /m | 2,34 / m ² | 30 anos |
| Canal com revestimento vegetal | 21,36 US\$/ m ² /m | 1,38 / m ² | 30 anos |
| Canal revestido em enrocamento | 27,75 US\$/ m ² /m | 1,49 / m ² | 30 anos |
| Canal em gabião tipo caixa | 59,39 US\$/ m ² /m | 2,83 / m ² | 30 anos |
| Canal em gabião tipo colchão | 31,09 US\$/ m ² /m | 1,56 / m ² | 30 anos |
| Bacias de detenção gramadas | 21,90 US\$/ m ³ | 143,91 / ha + 9,51 / m ³ | 15 anos |
| Bacias de detenção em concreto | 27,03 US\$/ m ³ | 143,91 / ha + 9,16 / m ³ | 30 anos |
| Bacias de detenção enterradas | 90,61 US\$/ m ³ | 143,91 / ha + 16,79 / m ³ + 0,70 / m ³ | 30 anos |
| Bacias de infiltração | 17,42 US\$/ m ³ | 8,08 / m ³ | 10 anos |
| Micro reservatórios individuais | 95,87 US\$/ m ³ | 3,86 / m ³ | 30 anos |
| Pavimentos de CBUQ | 0,00 US\$/ m ² | 0,00 / m ² | 15 anos |
| Pavimentos de concreto permeável | 20,00 US\$/ m ² | 1,09 / m ² | 15 anos |
| Pavimentos de asfalto permeável | 14,67 US\$/ m ² | 0,56 / m ² | 15 anos |
| Pavimentos de blocos vazados | 26,56 US\$/ m ² | 1,48 / m ² | 15 anos |
| Pavimentos intertravados | 8,89 US\$/ m ² | 3,17 / m ² | 15 anos |
| Pavimentos de alvenaria polidétrica | -0,14 US\$/ m ² | 2,03 / m ² | 15 anos |
| Poços | 88,15 US\$/ m ³ | 9,33 / unidade | 15 anos |
| Trincheiras | 40,31 US\$/ m | 12,13 / m | 10 anos |
| Valas e valetas | 40,00 US\$/ m | 7,87 / m | 15 anos |
| Valas e valetas com canaleta | 52,44 US\$/ m | 7,87 / m | 15 anos |

Fonte: Moura, Baptista e Barraud (2009).

Já o indicador de desempenho é uma agregação de indicadores que englobam aspectos técnicos, ambientais e sociais, divididos em critérios de “Objetivo”, “Impactos da Obra” e “Inserção”.

A avaliação desses indicadores é feita de forma qualitativa ou quantitativa. Para a análise qualitativa foi estabelecida uma escala de 7 níveis, em ordem crescente: Grande Piora, Sensível Piora, Pequena Piora, Indiferente, Pequena Melhora, Sensível Melhora, Grande Melhora, nos quais são realizados uma transformação de escala, variando entre os valores de 1 a 7. Sendo o valor 1 atribuído à grande piora e o valor 7 à grande melhora. Para análise quantitativa, onde os indicadores de desempenho são obtidos por meio de expressões de

cálculo passam por esta transformação de escala, onde o valor 0 é transformado em 1 e o valor 1 é transformado em 7. Nos indicadores cujo o intervalo varia de -1 a 1, o valor -1 é transformado em 1 e o valor 1 é transformado em 7.

Desta forma, os critérios que contemplam o indicador de desempenho são descritos a seguir.

- Critério “Objetivo”

Critério avaliado por meio do indicador de atendimento ao objetivo principal, exprimindo o nível de proteção de cheias proporcionado pela alternativa de projeto e quantificado pela relação entre o tempo de retorno previsto da alternativa em questão e o tempo de retorno desejável para a obra.

$$\text{Se } T_R \geq T_{RD} \Rightarrow I_o = 1,0$$

$$\text{Se } T_R < T_{RD} \Rightarrow I_o = T_R/T_{RD}$$

Em que:

T_R : Tempo de retorno de projeto;

T_{RD} : Tempo de retorno desejável.

- Critério “Impactos da Obra”

Esse critério é dividido em três aspectos: hidrológicos, sanitários e referentes à qualidade das águas, resumidos no Quadro 5.

Quadro 5. Indicadores do Critério "Impactos da Obra".

| Aspecto | Indicador | Forma de avaliação |
|---------------------------|---|---|
| Hidroológicos | Impacto sobre as vazões de jusante (I_{H1}) | <p>Caso a vazão a ser mantida a jusante deva ser superior a um dado valor alvo mínimo: Se $Q_{\text{jusmin}} \geq Q_{\text{alvo}} \Rightarrow I_{H1} = 1,0$ Se $Q_{\text{jusmin}} < Q_{\text{alvo}} \Rightarrow I_{H1} = Q_{\text{jusmin}} / Q_{\text{alvo}}$ Em que: Q_{jusmin}: Vazão mínima a jusante segundo a alternativa estudada; Q_{alvo}: Vazão alvo a ser mantida a jusante. Caso a vazão a ser mantida a jusante seja limitada a um valor alvo máximo: Se $Q_{\text{jusmax}} \leq Q_{\text{alvo}} \Rightarrow I_{H1} = 1,0$ Se $Q_{\text{jusmax}} > Q_{\text{alvo}} \Rightarrow I_{H1} = Q_{\text{alvo}} / Q_{\text{jusmax}}$ Em que: Q_{jusmax}: Vazão máxima a jusante segundo a alternativa estudada.</p> |
| | Recarga do aquífero (I_{H2}) | $I_{H2} = (A_{\text{inf}} - A_{\text{nat}}) / A_{\text{nat}}$ Em que: A_{inf} : Área de infiltração segundo a alternativa estudada; A_{nat} : Área de infiltração caso a área não estivesse urbanizada. |
| Sanitários | Possibilidade de transmissão de doenças (I_{S1}) | Qualitativa |
| | Possibilidade de proliferação de insetos (I_{S2}) | Qualitativa, considerando quaisquer fatores que possam aumentar ou reduzir a possibilidade de proliferação de insetos. |
| Sobre a qualidade da água | Impactos nas águas superficiais (I_{Q1}) | Qualitativa, considerando quaisquer fatores que possam causar poluição ou depuração das águas pluviais. |
| | Impactos nas águas subterrâneas (I_{Q2}) | Qualitativa, observando a presença de quaisquer fatores causadores de poluição ou de depuração das águas pluviais. |

Fonte: Adaptado de Moura (2004).

- Critério “Inserção da obra”

Esse critério é dividido em dois aspectos, referentes à inserção social e ambiental da obra, resumidos no Quadro 6

Quadro 6. Indicadores do Critério "Inserção da obra".

| Aspecto | Indicador | Forma de avaliação |
|--------------------|--|---|
| Inserção ambiental | Criação e preservação de habitats (I_{A1}) | $I_{A1} = (A_{apta2} - A_{apta1}) / A_{apta1}$ Em que: A_{apta1} : Área ecologicamente apta antes da implementação do sistema de drenagem; A_{apta2} : Área ecologicamente apta após a implantação do sistema de drenagem proposto |
| | Quadro cênico (I_{A2}) | Qualitativa, deve-se analisar os princípios existentes para a organização e as tendências urbanísticas da região do empreendimento, verificando a adequação de cada alternativa de projeto |
| Inserção social | Criação de áreas de recreação e lazer e equipamentos urbanos (I_{SC1}) | $I_{SC1} = (A_{RL2} - A_{RL1}) / A_{RL1}$ Em que: A_{RL1} : Área referente à recreação, lazer e equipamentos urbanos, antes da implementação do sistema de drenagem; A_{RL2} : Área referente à recreação, lazer e equipamentos urbanos, após a implementação do sistema de drenagem proposto |
| | Impacto nas condições de circulação (I_{SC2}) | Qualitativa, considerando os principais fatores intervenientes |
| | Possibilidade da utilização para o desempenho de outras funções técnicas (I_{SC3}) | Qualitativa |
| | Desapropriação de áreas (I_{SC4}) | $I_{SC4} = ((A_{maxdes} - A_{des}) / A_{maxdes}) - 1$ Em que: A_{des} : Área total a ser desapropriada pelo sistema de drenagem proposto; A_{maxdes} : Maior valor, dentre as alternativas estudadas, para a área a ser desapropriada pelo sistema de drenagem. |

Fonte: Adaptado de Moura (2004).

Para exprimir a importância relativa de cada critério, Moura (2004) propõe a ponderação dos indicadores por meio da associação de

um peso a cada um deles, apresentados no Quadro 7. Esses valores foram obtidos por meio de entrevistas com quatro grupo de decisores: representantes de órgãos e agências ambientais, representantes dos serviços técnicos municipais, representantes de empresas de consultoria e representantes da população afetada.

Quadro 7. Ponderação dos Indicadores.

| Indicador | Peso atribuídos (%) |
|---|----------------------------|
| Atendimento ao objetivo | 15,44 |
| Impacto hidrológico nas vazões de jusante | 12,66 |
| Impacto na recarga do aquífero | 6,17 |
| Impacto na possibilidade de transmissão de doenças | 7,82 |
| Impacto na possibilidade de proliferação de insetos | 6,86 |
| Impactos na qualidade das águas superficiais | 7,89 |
| Impactos na qualidade das águas subterrâneas | 6,84 |
| Criação e preservação de habitats | 7,53 |
| Impacto paisagístico | 6,99 |
| Criação de áreas de preservação e lazer | 6,42 |
| Impacto nas condições de circulação | 6,03 |
| Possibilidade da utilização para outras funções | 3,93 |
| Desapropriação de áreas | 5,41 |

Fonte: Adaptado de Moura (2004).

Em relação aos custos, Moura (2004) propõe um peso indicando o sobrecurso aceitável para uma alternativa de melhor desempenho quando comparada a outra de menor desempenho. Em sua metodologia utilizada, esse peso assume o valor de 30%.

Os indicadores de desempenho são agregados através de uma análise multicritério para a construção de um único indicador e por fim, Moura (2004) propõe uma avaliação global do sistema de drenagem por uma análise desempenho-custo, por meio de um Gráfico de Pareto.

3 METODOLOGIA

3.1 PROPOSIÇÃO DA METODOLOGIA PARA CONCEPÇÃO DAS TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS

O presente trabalho foi desenvolvido com o intuito de propor uma metodologia para a concepção das técnicas compensatórias e avaliação da viabilidade das alternativas, tomando como base a divisão do processo em duas fases (de eliminação e concepção), proposta por Azzout *et al.* (1995).

3.1.1 Fase de eliminação

Para a primeira etapa é necessária a caracterização física e da infraestrutura existente no local de estudo. Com estes dados, é possível avaliar as necessidades do local quanto à redução dos impactos da urbanização, estabelecendo quais objetivos que devem ser alcançados pelas técnicas compensatórias, e os locais potenciais para implantação destas técnicas. Por fim, para cada local potencial, cruza-se estes dados às características das técnicas compensatórias estudadas (funções das técnicas e suas limitações), e assim é possível avaliar e selecionar as técnicas viáveis. O resultado obtido desta etapa é a determinação dos locais e técnicas viáveis para implantação.

3.1.2 Fase de decisão

Após a proposição de técnicas possíveis de serem aplicadas no local, é necessário realizar uma hierarquização das alternativas, com vistas a avaliação da mais recomendada para toda a área de estudo. Para isso, foi utilizado como base a metodologia de comparação das técnicas proposta por Moura (2004). Devido ao detalhamento e aprofundamento de dados que seriam exigidos para esta análise, foram realizadas diversas adaptações e simplificações desta metodologia, descritas em seguida.

Primeiramente, são calculados e analisados os indicadores de desempenho cujas informações e dados são encontrados ou possíveis de serem avaliados, para cada técnica selecionada. Para os indicadores de caráter qualitativo, utilizou-se a escala proposta por Moura (2004), apresentada anteriormente e descrita no Quadro 8.

Quadro 8. Escala utilizada para os indicadores qualitativos.

| Grande Piora | Sensível piora | Pequena piora | Indiferente | Pequena Melhora | Sensível melhora | Grande Melhora |
|--------------|----------------|---------------|-------------|-----------------|------------------|----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

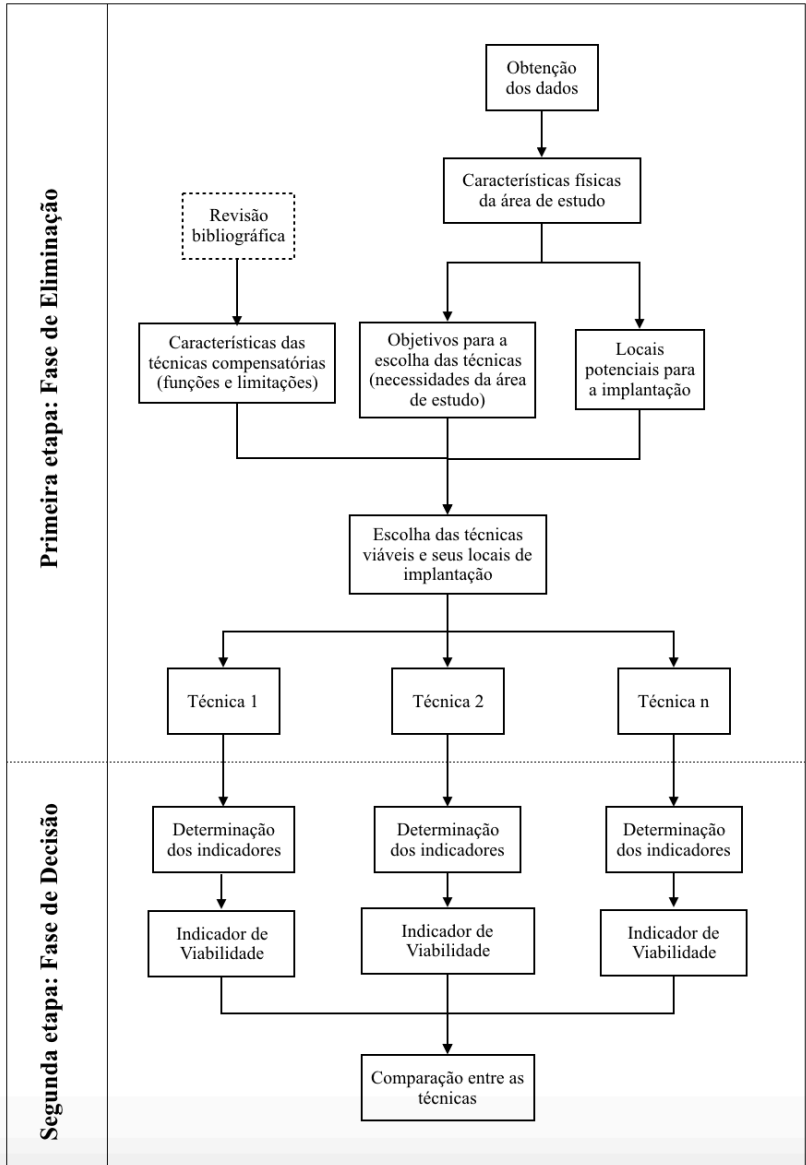
Para análise quantitativa, onde os indicadores de desempenho são obtidos por meio de expressões de cálculo, os resultados passam por uma transformação de escala, onde o valor 0 é transformado em 1 e o valor 1 é transformado em 7. Nos indicadores cujo o intervalo varia de -1 a 1, o valor -1 é transformado em 1 e o valor 1 é transformado em 7.

Os indicadores de custos não foram avaliados no presente trabalho, haja vista o dimensionamento das técnicas não estar dentre os objetivos.

Após a determinação dos indicadores, efetua-se a ponderação destes com os respectivos pesos propostos por Moura (2004). Por fim, a agregação de todos os indicadores ponderados é realizado por somatório, resultando em um Indicador de Viabilidade (IV). Desta forma é possível realizar uma comparação entre as técnicas escolhidas por meio do Indicador de Viabilidade obtido. Como resultado final, obtém-se as alternativas elencadas por ordem de viabilidade.

Na Figura 17 é apresentado um fluxograma da metodologia proposta, no qual é possível serem elencadas “n” alternativas de técnicas viáveis na primeira fase.

Figura 17. Fluxograma da metodologia proposta.

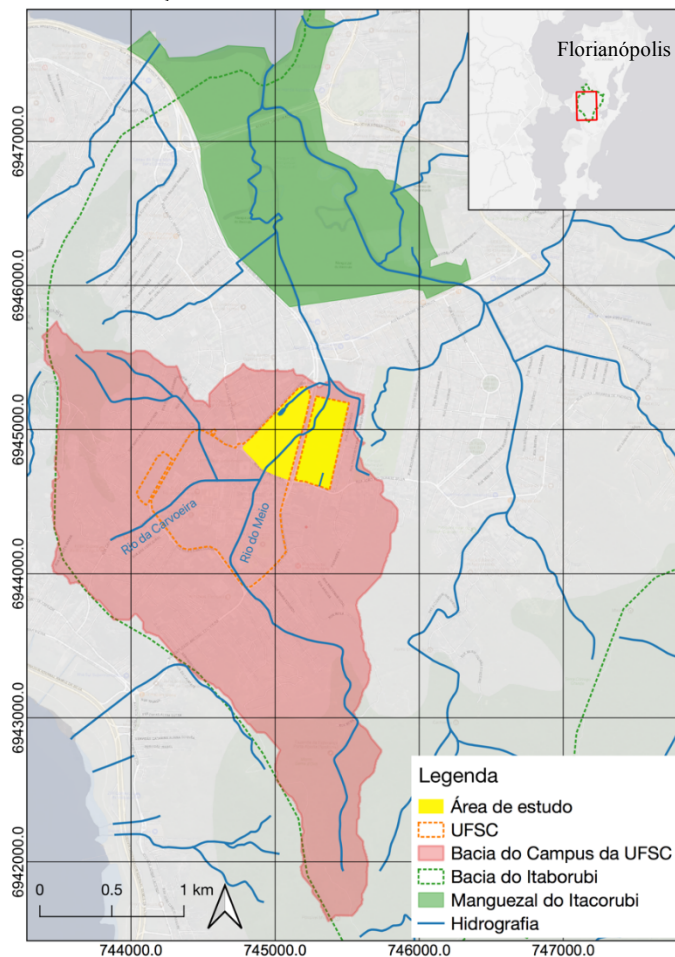


Fonte: Elaboração própria.

3.2 ESTUDO DE CASO

Para avaliar a metodologia proposta, foi realizado um estudo de caso no Campus Reitor João David Ferreira Lima (“Campus Trindade”) da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, localizada na região Centro-Oeste de Florianópolis (SC). A área de estudo contempla o exutório da bacia hidrográfica do Campus da UFSC, pertencente à bacia do Itacorubi (Figura 18).

Figura 18. Localização da área de estudo.



Fonte: Elaboração própria.

A bacia hidrográfica do campus da UFSC possui uma área de 4,078km² e é formada pelo Rio do Meio e seus afluentes, os rios Serrinha, Pantanal, Cesar Seara, Eletrosul e Carvoeira. À jusante dessa bacia encontra-se o Manguezal do Itacorubi, cuja área é de Preservação Permanente e decretado como Parque Municipal do Manguezal do Itacorubi (Decreto Municipal nº 1529/2012).

Na área delimitada para o estudo se encontram o Hospital Universitário, os blocos de Centro de Ciências da Saúde (CCS), o Departamento de Engenharia Civil do Centro Tecnológico (CTC), blocos do Centro de Ciências Biológicas (CCB), blocos administrativos, entre outros.

3.2.1 Justificativa da escolha da área de estudo

A ocupação da bacia do Itacorubi começou na década de 60, com um intenso processo de expansão e estruturação urbana, principalmente por causa da implantação da Universidade Federal de Santa Catarina e outros órgãos estatais, como a Eletrosul, TELESC, UDESC, CELESC, Secretaria da Agricultura, EPAGRI (SANTOS, 2003). O aumento da demanda e a especulação imobiliária desenfreada levou a um processo de ocupação de forma desordenada, que não considerava as características e a diversidade dos ecossistemas (SANTOS, 2003).

Collares *et al.* (2004) *apud* Mulungo (2012) destacam que, aliado a esses fatores, a declividade acentuada das encostas e o relevo plano nas áreas mais baixas tem contribuído para o aumento da frequência e intensidade das inundações da região do Itacorubi. Em estudo realizado por Mulungo (2012), constatou-se que a bacia do Campus UFSC vem sofrendo com constantes problemas de inundações (Tabela 2), causando grandes prejuízos econômicos e estruturais. Em dezembro de 2011 foi verificado também uma precipitação de 31,2mm, com duração de uma hora e 25mm de precipitação acumulada nos 5 dias antecedentes, causando alagamentos e extravasamento do Rio Carvoeira em confluência com o Rio do Meio, como mostra a Figura 19 (MULUNGO, 2012).

Tabela 2. . Datas de ocorrência de inundações na bacia do Campus UFSC, número de dias de chuva, chuva acumulada, média e dos 5 dias antecedentes.

| Ano | Dias de chuva | Nº de dias | Chuva acumulada (mm) | Chuva média (mm/dia) | Chuva nos 5 dias antecedentes (mm) |
|-----|---------------|------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|
|-----|---------------|------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|

| | | | | | |
|------|---------------|---|-------|-------|------|
| 1981 | 28 e 29/03 | 2 | 202.8 | 101.4 | 1.8 |
| 1983 | 05 e 07/01 | 3 | 173.1 | 57.7 | 6.1 |
| 1991 | 15/11 | 1 | 404.8 | 404.8 | 22 |
| 1995 | 23 a 25/12 | 3 | 391.7 | 130.6 | 0 |
| 2008 | 20/01 a 01/02 | 4 | 390.2 | 97.6 | 17.7 |

Fonte: Mulungo (2012).

Figura 19. Rio do Meio confluência com o Rio Carvoeira no momento de ocorrência de evento de chuva no dia 13 de dezembro de 2011.



Fonte: Mulungo (2012).

A intensa urbanização na área no entorno da universidade já mencionada e a existência de ligações clandestinas de esgoto doméstico nas redes pluviais, também resultam em grande pressão nos corpos hídricos existentes. Tal fato se reflete nos córregos que atravessam a universidade, que além de se encontrarem em sua maioria retificados com pouca ou nenhuma proteção da mata ciliar, apresentam notória degradação da qualidade de suas águas (UFSC, 2017). Junto a isso, é

possível encontrar diversas fontes de poluição em vários pontos dentro do próprio Campus.

Esses fatos culminaram em uma ação civil pública do Ministério Público Federal em 2013, condenando a Universidade Federal de Santa Catarina “à recuperação de curso d’água e da respectiva área de entorno (preservação permanente) contígua, situados no campus da Universidade”, em razão “à canalização e aterramento de um curso d’água existente no interior do “campus” com o objetivo de urbanizar a área para construção”. Em resposta, a universidade realizou projeto de desenvolvimento institucional “Recuperação da Qualidade da Água dos Córregos do Campus Reitor João David Ferreira Lima”, onde foram identificados os problemas relacionados às causas da poluição que atravessam os córregos do campus, e indicadas medidas necessárias à recuperação dos corpos hídricos e da vegetação marginal que compõe as Áreas de Preservação Permanentes (APPs).

Outros estudos realizados anteriormente na universidade, como Plano Diretor Participativo da UFSC, realizado no ano de 2012, também constata uma crescente impermeabilização do solo em um contexto já propenso a inundações, com construção de edificações e pavimentação de áreas abertas, assim como pouca valorização dos espaços abertos verdes.

No Plano de Logística Sustentável da UFSC de 2017, ferramenta de planejamento que estabelece práticas de sustentabilidade na Administração Pública, identifica uma série de nascentes e corpos hídricos no campus universitário, verificando a necessidade de cuidado devido a possível ocorrência de ligações irregulares poluindo os córregos do campus. Em relação à drenagem, uma das metas para o eixo de água e esgoto é adequação do sistema de drenagem em 10% das áreas urbanizadas da UFSC.

Por sua vez, o manguezal do Itacorubi foi um dos ecossistemas que sofreu maior impacto devido ao processo de ocupação, principalmente por sua localização - exutório de toda a poluição gerada no complexo hidrográfico do Campus da UFSC e da bacia do rio Itacorubi, além de sofrer com o despejo de efluentes sanitários e sucessivas reduções em sua área para construção de sistemas viário, aterramentos e loteamentos (MULUNGO, 2012).

Desta forma, visto a degradação e poluição dos corpos hídricos, o aumento da frequência de inundações no campus da universidade e o exutório da Bacia Campus UFSC como local que sofre maior pressão, delimitou-se como área de estudo a região da UFSC localizada no exutório da bacia.

3.2.2 Fontes dos dados utilizados

Para a caracterização do local e da infraestrutura existente, foram utilizados alguns dos critérios propostos por Brito (2006) e Righetto (2009). Assim, a área de estudo foi caracterizada para as seguintes restrições:

- Características físicas: declividade, uso e ocupação do solo existente, proximidade do lençol freático, capacidade de infiltração do solo;
- Características sanitárias e ambientais: qualidade da água, restrições ambientais;
- Características urbanísticas e de infraestrutura: disponibilidade de espaço.

A caracterização foi baseada em estudos realizados anteriormente na UFSC e através da elaboração de mapas com o software de Sistema de Informação Geográfica QuantumGIS (QGIS), no sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000 UTM 22S. As fontes dos dados utilizados para a elaboração dos mapas e os estudos utilizados são descritos no Quadro 9.

Quadro 9. Fonte dos dados utilizados.

| Parâmetro | Base de dados utilizada | Fonte | Observações |
|------------------|---|---|---------------------------------|
| Uso do solo | Imagem de satélite (<i>Open Layers Plugin</i>) | Google <i>Satellite Imagery</i> (Data de captura: 20/05/2018) | - |
| Hidrografia | <i>Shapefile</i> Cursos d'água de Santa Catarina | Sistemas de Informações Geográficas do Estado de Santa Catarina (SDS, 2018) | Escala: 1: 250000 |
| Declividade | Modelo Digital de Elevação (MDE SRTM) de Santa Catarina | Mapas Digitais de Santa Catarina (EPAGRI/CIRAM, 2018) | Resolução espacial de 30 metros |

| Parâmetro | Base de dados utilizada | Fonte | Observações |
|---|--|--|--------------------|
| Limite Bacia do Itacorubi | <i>Shapefile</i> Mapa das Unidades Hidrográficas de Santa Catarina | Mapas Digitais de Santa Catarina (EPAGRI/CIRAM, 2018) | Escala: 1:100000 |
| Limite sub-bacia Campus UFSC | <i>Shapefile</i> Ottobacias de Florianópolis | Geoprocessamento Corporativo (PMF, 2018) | - |
| Proximidade com o lençol freático | Relatório de sondagem SPT | Zênite Topografia, Engenharia e Consultoria Ambiental Ltda. (2010) | - |
| Capacidade de infiltração do solo | | | |
| Qualidade da água e restrições ambientais | Diagnóstico de qualidade da água dos córregos da UFSC | Pompêo <i>et al.</i> (2017) | - |

Fonte: Elaboração própria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, os resultados foram apresentados conforme metodologia exposta em tópico anterior aplicado ao estudo de caso, onde foram apresentadas as propostas de técnicas compensatórias avaliadas para o local (fase de eliminação) e em seguida uma hierarquização dessas alternativas, da com maior viabilidade para menor (fase de decisão).

4.1 FASE DE ELIMINAÇÃO

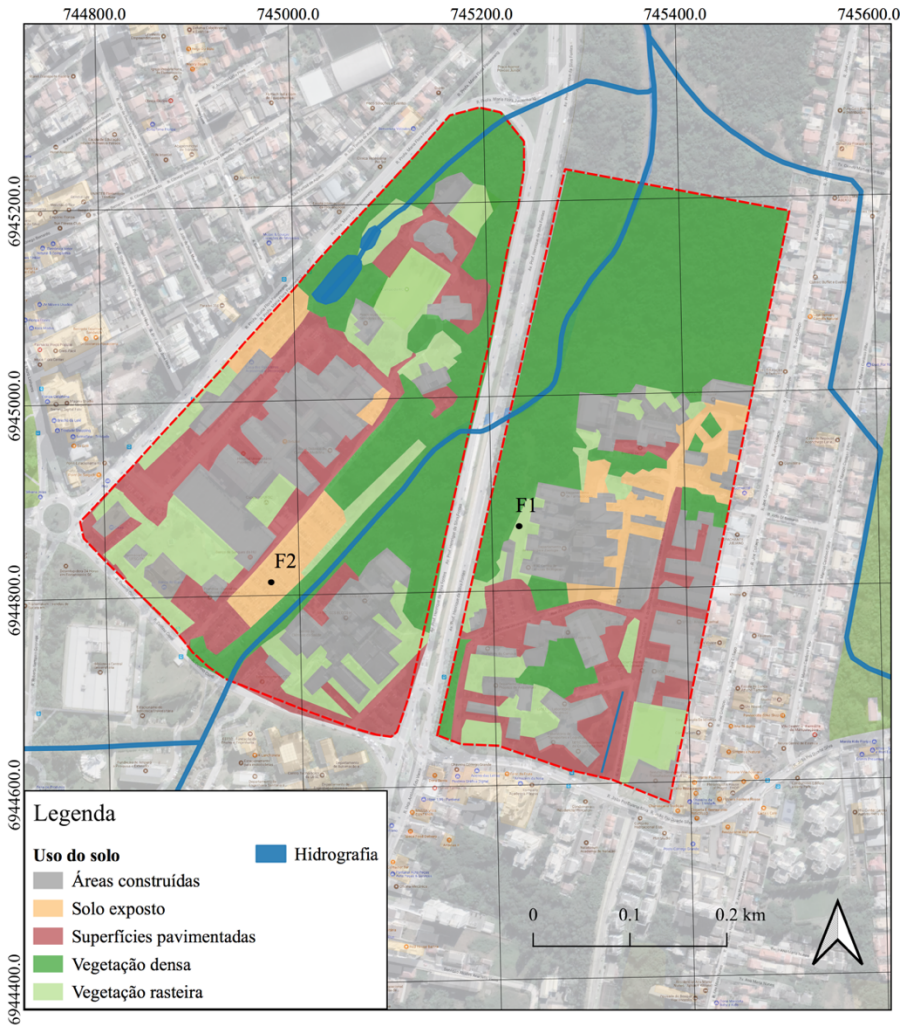
4.1.1 Caracterização do local e da infraestrutura existente

A área de estudo compreende 0,3km². Dessa área, cerca de 37,7% corresponde a vegetação densa e 24,3% de áreas construídas. O restante (cerca de 38%) engloba áreas com superfícies pavimentadas, vegetação rasteira e solo exposto, como é apresentado na Tabela 3 e na Figura 20.

Tabela 3. Área e porcentagem referente ao uso e ocupação do solo.

| Uso | Área (m ²) | % do total |
|-------------------------|------------------------|------------|
| Vegetação densa | 115.272,8 | 37,7 |
| Solo exposto | 23.255,6 | 7,6 |
| Vegetação rasteira | 41.652,8 | 13,6 |
| Superfície pavimentadas | 51.442,2 | 16,8 |
| Áreas construídas | 74.361,4 | 24,3 |

Figura 20. Mapa de uso de ocupação do solo na área de estudo



Fonte: Elaboração própria.

Como é possível observar, é uma região que apresenta muitos edifícios já consolidados, mas há ainda grande área coberta por vegetação densa (Figura 21).

Figura 21. Vista da mudança rasteira para vegetação densa ao lado dos blocos do CCB (ponto F1 no mapa de uso e ocupação do solo).



Fonte: Acervo próprio.

As áreas de solo exposto são utilizadas como estacionamentos e têm como característica um solo compactado (Figura 22), onde em períodos de chuva o local acumula muito barro e lama, que além de ser um problema para os pedestres, em alguns locais a lama acaba sendo carregada para o córrego.

Figura 22. Fotografia do estacionamento com solo exposto perto do HU (ponto F2 no mapa de uso e ocupação do solo).



Fonte: Acervo próprio.

Grande parte dos edifícios construídos, representando blocos de departamentos, Hospital Universitário e blocos administrativos, possuem coberturas planas, como é possível observar na imagem aérea em 3D da área de estudo (Figura 23).

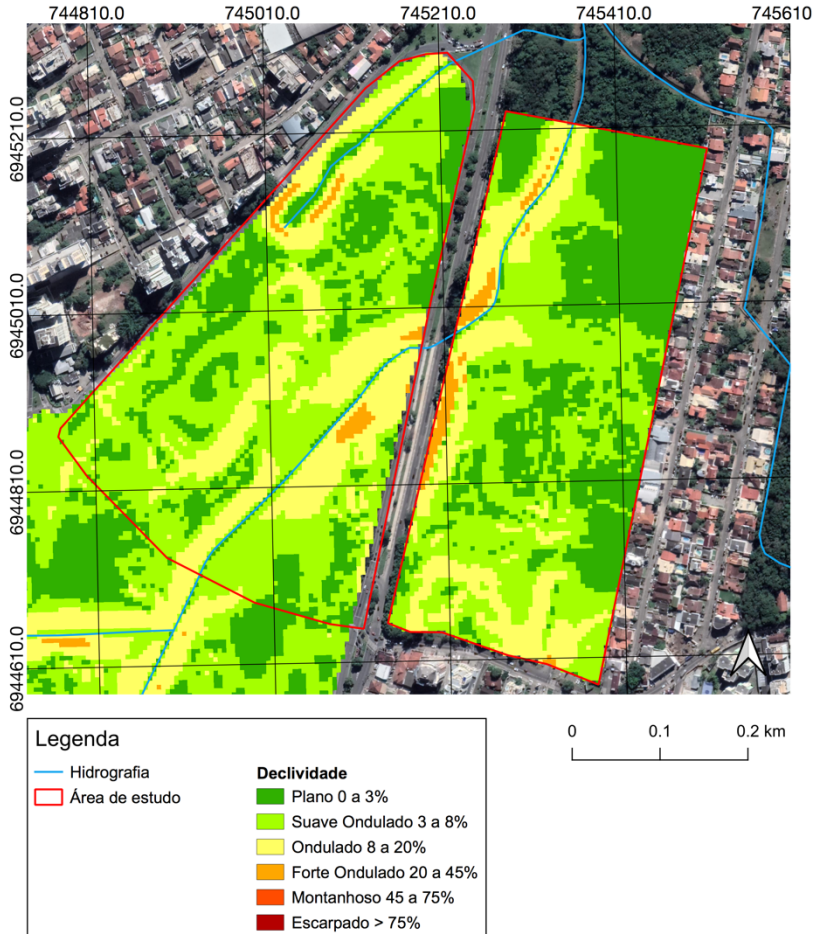
Figura 23. Imagem aérea em 3D da área de estudo delimitada em vermelho.



Fonte: Google Earth Pro (data de captura da imagem: 2018)

A declividade do local é relativamente plana, sem grande variação de relevo, como apresentado na Figura 24. A maior parte da área possui uma declividade caracterizada como plana a suave ondulada, entre 0 a 8%. Próximos aos córregos a declividade é um pouco maior, de ondulada a algumas pequenas áreas forte ondulada, variando entre 8 a 45%. Deve-se ressaltar que devido à escala da base de dados utilizada, o mapa de declividade (Figura 24) apresentou diversas falhas.

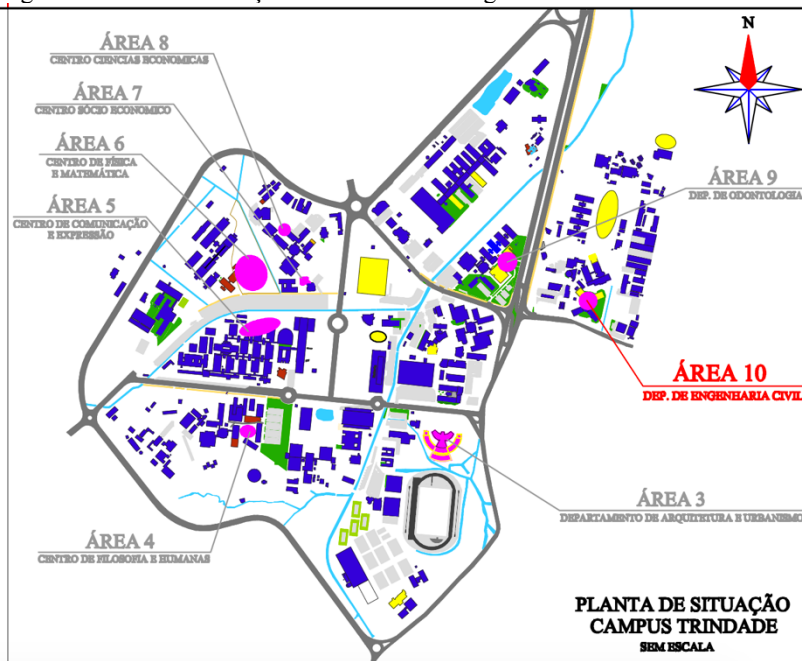
Figura 24. Mapa de declividade da área de estudo.



Fonte: Elaboração própria.

Em relação às características do solo foi consultado relatório de sondagem SPT realizado em 2010 pela empresa Zênite Topografia, Engenharia e Consultoria Ambiental Ltda. Para a análise na área estudo foram utilizados os resultados de dois furos de sondagem localizados no Departamento de Odontologia e no Departamento de Engenharia Civil (área 09 e área 10 da Figura 25).

Figura 25. Planta de localização dos furos de sondagem do relatório SPT.



Fonte: Zênite Topografia, Engenharia e Consultoria Ambiental Ltda. (2010).

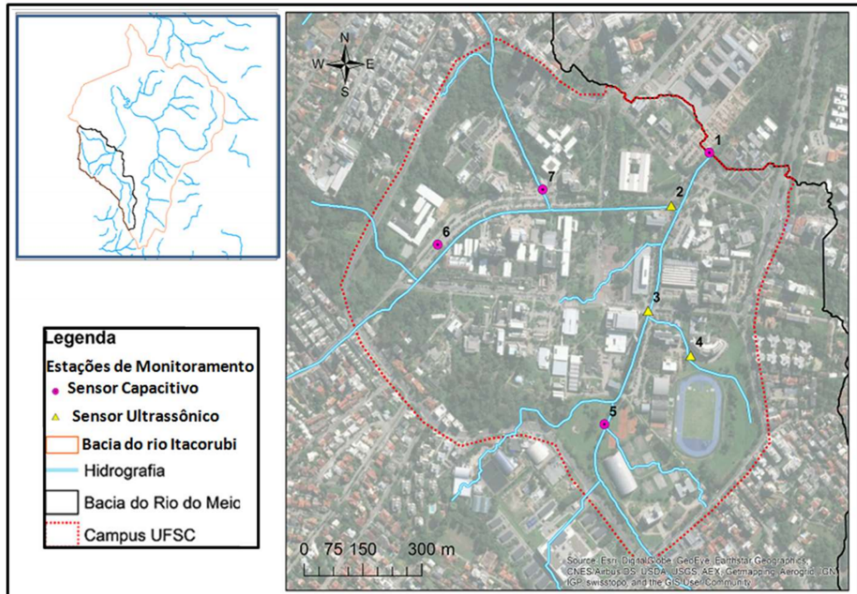
Os resultados mostram que o subsolo da Área 09 possui camadas alternadas de silte arenoso a argila arenosa, eventualmente com camadas de areia grossa entre elas. A condição de impenetrabilidade ocorreu por volta dos 7 metros de profundidade, precedida pela camada de silte arenoso de alta compactidade. O nível de água do lençol freático neste ponto em relação à boca do furo de sondagem variou entre 0,65m e 1,35m, com um valor médio de 1,00m.

Na Área 10 encontrou-se a camada resistente muito próximo à superfície, entre 4 e 6 metros de profundidade. O solo superficial constitui-se por argila arenosa marrom, posteriormente evoluindo para tons de cinza, seguida por silte arenoso amarelo, de média compactidade. O nível de água do lençol freático neste ponto variou entre 0,80m e 0,92m, com um valor médio de 0,86m.

Para as características sanitárias da região foi utilizado diagnóstico realizado em 2017 sobre a qualidade da água dos córregos que atravessam a UFSC. Este estudo, realizado pelo “Projeto de

Recuperação de Qualidade das Águas dos Córregos do Campus João Ferreira Lima em Florianópolis” (POMPÊO *et al.*, 2017), analisou parâmetros de qualidade da água em sete pontos de monitoramento espalhados na região da universidade (Figura 26), sendo o ponto 1 o local de interesse para o presente estudo.

Figura 26. Pontos de monitoramento do “Projeto de Recuperação de Qualidade das Águas dos Córregos do Campus João Ferreira Lima em Florianópolis”.



Fonte: Pompêo *et al.* (2017)

Foram realizados a análise dos parâmetros de potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), temperatura, turbidez, resíduo total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes, fósforo total e nitrogênio total, a fim de analisar a qualidade de água por meio do Índice de Qualidade das Águas – IQA. Também foram realizadas análises laboratoriais de condutividade, carbono orgânico total (COT) e coliformes totais. Os valores de IQA foram comparados conforme classificação estabelecida pela Agência Nacional das Águas – ANA (Figura 27), onde se adotou a classificação utilizada para os estados da região Sul do Brasil (PR e RS).

Figura 27. Classificação do IQA por Estados.

| Faixas de IQA utilizadas nos seguintes Estados: AL, MG, MT, PR, RJ, RN, RS | Faixas de IQA utilizadas nos seguintes Estados: BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE, SP | Avaliação da Qualidade da Água |
|--|--|--------------------------------|
| 91-100 | 80-100 | Ótima |
| 71-90 | 52-79 | Boa |
| 51-70 | 37-51 | Razoável |
| 26-50 | 20-36 | Ruim |
| 0-25 | 0-19 | Péssima / Muito Ruim |

Fonte: ANA (2004)

Assim, a Tabela 4 apresenta os valores médios obtidos para cada ponto de monitoramento.

Tabela 4. Valores médios do IQA encontrados para cada ponto de monitoramento.

| Ponto | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Ponto 4 | Ponto 5 | Ponto 6 | Ponto 7 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| IQA | 22.5 | 16.75 | 36.5 | 35.25 | 31 | 27 | 16 |

Fonte: Adaptado de Pompêo *et al.* (2017).

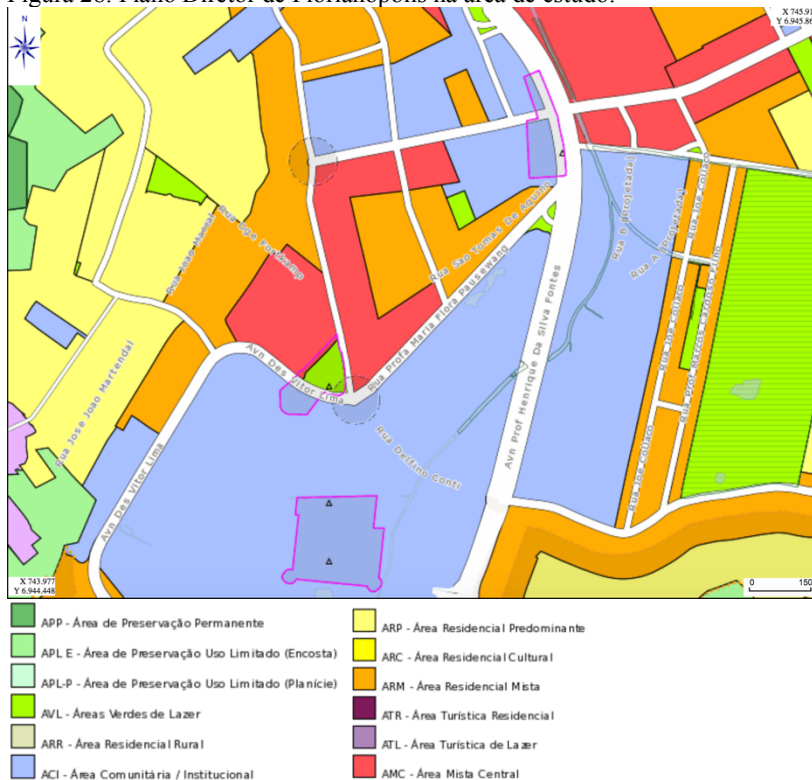
A partir da Tabela 4 pode-se concluir que os córregos da UFSC apresentam avaliações de Ruim para Péssima/Muito Ruim, com destaque para os pontos 1, 2 e 7, que apresentaram as piores condições, sendo o ponto 1 de principal interesse para este estudo.

As restrições ambientais existentes no local se devem às Áreas de Preservação Permanentes – APPs, abrangidas pela Lei Federal nº 12.651/2012, que estabelece o Código Florestal Brasileiro. Quanto à delimitação da área de preservação permanente no campus da universidade, o “Projeto de Recuperação de Qualidade das Águas dos Córregos do Campus João Ferreira Lima em Florianópolis” estabelece a distância de 15 metros em cada margem do curso d’água, com variações devido às áreas que possuem estruturas consolidadas. É destacado também que as novas edificações e demais ocupações que causem a impermeabilização do solo deverão respeitar uma faixa marginal de 30 metros de APP em cada margem dos córregos.

No caso de implantação de *wetlands* como técnica compensatória, cujo objetivo é promover a melhoria da qualidade e a infiltração da água pluvial no solo, esta técnica pode ser considerada como uma medida de recuperação que faz parte das APPs (UFSC, 2017).

Consultou-se também o Plano Diretor de Florianópolis, com o objetivo de verificar a existência de alguma restrição ambiental determinada pelo município (Figura 28). Verificou-se que toda a área do campus universitário é classificada como Área Comunitária Institucional (ACI), “destinada a todos os equipamentos comunitários ou aos usos institucionais, necessários à garantia do funcionamento satisfatório dos demais usos urbanos e ao bem estar da população” (FLORIANÓPOLIS, 2014). Nesse sentido, não se encontra restrições ambientais para o local em relação à legislação municipal.

Figura 28. Plano Diretor de Florianópolis na área de estudo.



Fonte: PMF (2018).

As características urbanísticas estão relacionadas à disponibilidade de espaço para as técnicas compensatórias. Isto foi analisado com base no mapa de uso e ocupação do solo apresentado anteriormente, através da observação de espaços abertos disponíveis ou

de infraestruturas onde as técnicas compensatórias podem ser integradas.

4.1.2 Objetivos para a escolha das técnicas

Por meio da caracterização da área e da justificativa de escolha do local, foi possível observar que as necessidades gerais do local estão relacionadas principalmente em relação à qualidade da água dos córregos e às ocorrências de inundações. Pode-se também considerar a necessidade de recuperação e manutenção da vegetação ciliar dos córregos, e a agregação de um caráter esteticamente mais atraente e agradável nas áreas de entorno dos córregos.

Assim, os objetivos que deveram ser alcançados pelas técnicas são:

- Diminuição do volume de escoamento superficial gerado, através do aumento das áreas de infiltração e de retenção;
- Melhoria da qualidade da água que escoo na bacia hidrográfica da UFSC e deságua no Manguezal do Itacorubi;

4.1.3 Proposição das alternativas de técnicas compensatórias

Com os objetivos estabelecidos no tópico anterior, foram identificadas as técnicas que possam satisfazer tais necessidades, apresentadas no Quadro 10.

Quadro 10. Técnicas potenciais para cumprir com os objetivos.

| Objetivos | Técnicas potenciais |
|---|--|
| Diminuição do volume de escoamento superficial gerado através do aumento das áreas de infiltração e de retenção | Telhados verdes, sistemas de biorretenção, pavimentos permeáveis |
| Melhoria da qualidade da água antes do corpo hídrico que escoo da B.H. da UFSC ao Manguezal do Itacorubi | Sistemas de biorretenção, <i>wetlands</i> |

Por meio da caracterização do local (avaliando os espaços disponíveis, possíveis locais e restrições de implantação), foram estabelecidas três áreas potenciais para a implantação das técnicas (Figura 29). A área 1 compreende uma região de vegetação densa e com

muito espaço disponível, localizada próxima ao exutório da bacia e local de maior concentração de poluentes no córrego. A área 2 é uma grande área de solo exposto, próxima ao córrego e utilizada como estacionamento. A área 3 engloba os edifícios já consolidados, visando a possibilidade de aproveitamento de áreas já impermeabilizadas e que podem ser utilizadas.

Figura 29. Áreas potenciais para implantação das técnicas.



Fonte: Elaboração própria.

Assim, para cada área potencial foram cruzadas as técnicas possíveis estabelecidas no Quadro 10 (Objetivos x Técnicas potenciais).

Para a Área 1, devido a disponibilidade de espaço, distância considerável de outros locais e a necessidade de um tratamento da água do córrego, foi escolhido um *wetland* de modo *off-line*.

Na área 2, elegeu-se a implantação de pavimento permeável, visto a passagem de veículos leves e com baixo tráfego. Devido ao baixo nível de lençol freático (profundidade média de 1m), optou-se por um pavimento permeável com exutório. Junto ao pavimento permeável, pode-se implantar sistemas de biorretenção, para onde a água excedente que não é infiltrada no pavimento pode ser direcionada, como exemplificado na Figura 30.

Figura 30. Exemplo de estacionamento com pavimento permeável com vala de detenção.



Fonte: San Mateo Countywide (2009).

Na Área 3 observou-se que muitos edifícios possuem telhados planos, ideais para a implementação de telhados armazenadores ou telhados verdes. Desta forma, analisando a necessidade de incorporar mais áreas verdes às áreas construídas, propõe-se que nesses prédios sejam inseridos telhados verdes com vegetação extensiva, devido à facilidade de manutenção e operação.

Desta forma, uma concepção inicial das técnicas propostas é apresentada na Figura 31.

Figura 31. Concepção das técnicas propostas



Fonte: Elaboração própria.

4.2 FASE DE DECISÃO

Os indicadores foram avaliados para cada técnica compensatória e em seguida foram atribuídos os respectivos pesos. Para cada técnica,

foram somados todos os indicadores ponderados, resultando no Indicador de Viabilidade, apresentado na Tabela 5.

Para o estudo de caso em questão, como não foi um dos objetivos o dimensionamento das estruturas escolhidas, os indicadores quantitativos foram todos avaliados como qualitativos, visto que não é possível obter os parâmetros necessários para o cálculo dos indicadores quantitativos sem o dimensionamento das técnicas. A escala utilizada, apresentada anteriormente, é apresentada no Quadro 11.

Quadro 11. Escala utilizada para os indicadores qualitativos.

| Grande Piora | Sensível piora | Pequena piora | Indiferente | Pequena Melhora | Sensível melhora | Grande Melhora |
|--------------|----------------|---------------|-------------|-----------------|------------------|----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

Assim a avaliação dos indicadores foi feita de forma qualitativa através da comparação das três técnicas escolhidas. Todas as considerações realizadas para a avaliação dos indicadores são descritas no Quadro 12.

Tabela 5. Resultados obtidos para as alternativas escolhidas.

| Indicadores | Pesos (%) | Telhado verde | | Pavimento permeável | | Wetland | |
|--|-----------|---------------|-------------|---------------------|------------|---------|------------|
| | | Valor | Valor pond. | Valor | Valor pond | Valor | Valor pond |
| Atendimento ao objetivo (I ₀) | 15,44 | 5 | 0,77 | 6 | 0,93 | 4 | 0,62 |
| Impacto hidrológico nas vazões de jusante (I _{H1}) | 12,66 | 5 | 0,63 | 6 | 0,76 | 4 | 0,51 |
| Impacto na recarga do aquífero (I _{H2}) | 6,17 | 4 | 0,25 | 3 | 0,19 | 4 | 0,25 |
| Impacto na possibilidade de transmissão de doenças (I _{S1}) | 7,82 | 4 | 0,31 | 5 | 0,39 | 3 | 0,23 |
| Impacto na possibilidade de proliferação de insetos (I _{S2}) | 6,86 | 3 | 0,21 | 4 | 0,27 | 2 | 0,14 |
| Impactos na qualidade das águas superficiais (I _{Q1}) | 7,89 | 5 | 0,39 | 5 | 0,39 | 6 | 0,47 |
| Impactos na qualidade das | 6,84 | 4 | 0,27 | 5 | 0,34 | 4 | 0,27 |

| Indicadores | Pesos (%) | Telhado verde | | Pavimento permeável | | Wetland | |
|---|-----------|---------------|-------------|---------------------|-------------|---------|-------------|
| | | Valor | Valor pond. | Valor | Valor pond. | Valor | Valor pond. |
| águas subterrâneas (I _{Q2}) | | | | | | | |
| Criação e preservação de habitats (I _{A1}) | 7,53 | 5 | 0,38 | 4 | 0,30 | 3 | 0,23 |
| Impacto paisagístico (I _{A2}) | 6,99 | 7 | 0,49 | 5 | 0,35 | 4 | 0,28 |
| Criação de áreas de preservação e lazer (I _{SC1}) | 6,42 | 4 | 0,26 | 4 | 0,26 | 4 | 0,26 |
| Impacto nas condições de circulação (I _{SC2}) | 6,03 | 4 | 0,24 | 7 | 0,42 | 4 | 0,24 |
| Possibilidade da utilização para outras funções (I _{SC3}) | 3,93 | 4 | 0,16 | 6 | 0,24 | 4 | 0,16 |
| Desapropriação de áreas (I _{SC4}) | 5,41 | 4 | 0,22 | 4 | 0,22 | 4 | 0,22 |
| Indicador de Viabilidade (IV) | | | 4,58 | | 5,05 | | 3,87 |

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 12. Considerações para a avaliação dos indicadores.

| Indicador | Telhado Verde | Pavimento permeável | Wetland | Justificativa |
|-----------------|---------------|---------------------|---------|--|
| I _o | 5 | 6 | 4 | O pavimento permeável possui maior probabilidade de diminuir o volume de escoamento do que o telhado verde, enquanto que o wetland não possui nenhum potencial para contribuir com a diminuição do volume de escoamento (Quadro 4). |
| I _{H1} | 5 | 6 | 4 | Para este indicador, considerou os mesmos valores atribuídos no Indicador I _o , visto que ambos indicam o impacto na vazão à jusante. |
| I _{H2} | 4 | 3 | 4 | No pavimento permeável se considerou o armazenamento da água infiltrada e posterior saída por meio de uma drenagem ao invés de ser infiltrada no solo, devido a possibilidade de proximidade com o lençol freático, porém considerou-se a possibilidade de infiltração de água com poluição. O wetland e o telhado verde não afetam na recarga do lençol freático, visto |

| Indicador | Telhado Verde | Pavimento permeável | Wetland | Justificativa |
|-----------------|---------------|---------------------|---------|---|
| | | | | que nas duas técnicas não ocorre infiltração. |
| I _{S1} | 4 | 5 | 3 | O pavimento permeável evitará o acúmulo de água no local do estacionamento; o wetland pode contribuir para a proliferação de insetos que veiculam doenças e o telhado verde é indiferente para o acúmulo das águas ou de resíduos. |
| I _{S2} | 3 | 4 | 2 | Devido a vegetação existente no telhado verde pode atrair insetos (WOODS-BALLARDS <i>et al.</i> , 2005), sendo um risco para contribuir para proliferação destes; o pavimento permeável é “Indiferente” e o <i>wetland</i> também contribui para a proliferação e insetos devido a vegetação e acúmulo de água. |
| I _{Q1} | 5 | 5 | 6 | Segundo o Quadro 4, as três alternativas são prováveis de contribuírem para a melhoria da qualidade da água. Porém, conforme Kadlec e Wallace (2009), devido à utilização dos <i>wetlands</i> como um sistema de tratamento de efluente, foi dado um valor maior para este. |
| I _{Q2} | 4 | 5 | 4 | Para o telhado verde e <i>wetland</i> não há infiltração e por isso são "Indiferentes". Já para o pavimento permeável escolhido não há infiltração, porém pode ocorrer uma melhora na qualidade da água. |
| I _{A1} | 5 | 4 | 3 | Tanto para o telhado verde como o <i>wetland</i> há a criação de habitats, porém como para o telhado verde a vegetação é extensiva, que possui uma característica de utilização de plantas mais simples (TOMAZ, 2009), considerou-se que o <i>wetland</i> afetará negativamente devido a sua construção em local com vegetação densa. |
| I _{A2} | 7 | 5 | 4 | O telhado verde possui uma grande melhora nos aspectos cênicos de um ambiente urbano e o pavimento permeável confere um caráter mais agradável do que o solo exposto. Para o <i>wetland</i> , devido ao local afastado, é indiferente em relação a esse indicador. |

| Indicador | Telhado Verde | Pavimento permeável | Wetland | Justificativa |
|------------------|---------------|---------------------|---------|--|
| I _{SC1} | 4 | 4 | 4 | O pavimento permeável e o telhado verde não geram uma criação de lazer, enquanto o <i>wetland</i> é indiferente em relação à criação de uma área de preservação. |
| I _{SC2} | 4 | 7 | 4 | Os locais escolhidos para os telhados verdes e o <i>wetland</i> não interferem nas áreas de circulação. O pavimento permeável melhora a circulação dos pedestres no estacionamento. |
| I _{SC3} | 4 | 6 | 4 | Somente o pavimento permeável possui a possibilidade de utilização para outras funções, que no estudo em questão será utilizado como estacionamento. Já para as outras alternativas não existe essa possibilidade. |
| I _{SC4} | 4 | 4 | 4 | Para nenhuma das alternativas será necessário a desapropriação de áreas. |

Fonte: Elaboração própria.

Assim, de acordo com o obtido na Tabela 5, as técnicas são elencadas por ordem de maior viabilidade para menor, onde é comparado também a possibilidade de melhora conforme classificação do Quadro 8:

- Pavimento permeável: IV = 5,05; pequena melhora;
- Telhado verde: IV = 4,58; (mais próximo de) pequena melhora;
- *Wetland*: IV = 3,87; (mais próximo de) pequena melhora.

De modo geral, é possível identificar, por meio desta avaliação, que o pavimento permeável possui a melhor viabilidade devido aos seus múltiplos usos, capacidade de redução da vazão à jusante, pouco impacto na paisagem e baixo risco de proliferação de insetos. O telhado verde, apesar de resultar em uma melhoria na paisagem e não impactar na circulação, ainda possui os riscos de maior proliferação de insetos e na maioria dos outros aspectos é ‘indiferente’. O *wetland* se mostrou como a opção com menor viabilidade visto a implantação em local com uma vegetação densa, o maior risco de proliferação de insetos, a pouca melhora na vazão à jusante. Seu único uso seria para a melhora da qualidade da água.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho buscou propor uma metodologia para concepção e avaliação de técnicas compensatórias de drenagem urbana, com uma adaptação de uma análise multicritério, no qual é feito uma avaliação de diversos indicadores de desempenho dos sistemas de drenagem. A metodologia proposta engloba uma forma sistemática e ao mesmo tempo simples de escolha das técnicas viáveis para um local e a comparação para ordenação por viabilidade das alternativas escolhidas.

Como exemplo de aplicação da metodologia proposta, foi realizado um estudo de caso na região do exutório da bacia do Campus UFSC. Na primeira etapa, constatou-se a necessidade de melhoria da qualidade da água do córrego e a redução de picos de vazão na área de estudo. Com isso, foram selecionados os locais potenciais para a implantação de três estruturas: pavimento permeável, *wetland* e telhados verdes. Na segunda etapa foi feita uma comparação entre as técnicas escolhidas, avaliando a viabilidade de implantação das técnicas, através da comparação de indicadores que englobam aspectos técnicos, sociais e ambientais. Concluiu-se então que a técnica mais viável para implantação é o pavimento permeável, seguido dos telhados verdes e por último o *wetland*.

Pode-se concluir que a metodologia proposta é uma forma simplificada, mas que engloba diversos aspectos importantes a serem considerados na concepção e análise das técnicas compensatórias.

Deve-se considerar também que para o presente estudo diversas considerações foram feitas, e por isso, para uma avaliação mais precisa é necessário um estudo mais aprofundado que contenha no mínimo as seguintes questões:

- Estudo de sondagem para verificação da profundidade do leito rochoso, lençol freático e capacidade de infiltração nos locais propostos para implantação das estruturas;
- Estudo de declividade do local a partir de uma base de dados com uma escala condizente à área de estudo;
- Verificação da viabilidade de outras técnicas que não foram abordadas;
- Dimensionamento das estruturas para a análise dos indicadores quantitativos;
- Estudo da capacidade estrutural dos edifícios com coberturas planas para a implantação de telhados verdes;

- Avaliação dos custos de implantação e manutenção das estruturas propostas;
- Proposição de armazenamento da água excedente dos telhados verdes;
- Verificação do acesso de maquinários e funcionários para o local proposto para o *wetland*.

Por fim, este trabalho pode ser utilizado como uma proposta inicial de uma metodologia simplificada para a concepção de técnicas compensatórias viáveis. Recomenda-se o maior aprofundamento e detalhamento da metodologia, assim como atestar a viabilidade dessa metodologia através da aplicação em outros estudos de casos já realizados e atestados por outras metodologias.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. F. **Aplicação de técnicas compensatórias na drenagem urbana, sob a ótica dos usuários do espaço: estudo de caso em São Carlos – SP.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos : UFSCar, 2014. 132 p.

ASSUNÇÃO, L.; FERREIRA, E.; FINOTTI, A. Proposta de Dimensionamento de Biofiltros para o Distrito do Campeche , Florianópolis/ Brasil. **Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, p. 1–8, 2017.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana.** 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266p.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 25 mai 2012.

BRITO, D. S. **Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Brasília. Brasília, 2006. p. 117.

BURCHELL, M. R. **Stormwater Wetland Construction Guidance.** North Carolina Cooperative Extension, 2010.

CASTRO, L.A.M. **Proposição de indicadores para a avaliação de sistemas de drenagem urbana.** 2002. 118 f. (Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) — Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2002.

CIRIA. Case study: Middleport Pottery, retrofit SuDS, Stoke-on-Trent. Susdrain: Inglaterra, 2015. Disponível em: <https://www.susdrain.org/case-studies/pdfs/middleport_pottery_retrofit_suds_stoke_on_trent_final_v2.pdf> Acesso em: 28 de setembro de 2018.

COLLARES, D; et al. A Bacia do Itacorubi. Florianópolis, 2004. Disponível em: <www.arq.ufsc/urbanismoV/2004-1/final.pdf> Acesso em: 22 de outubro de 2018

DAVIS, L. A handbook of constructed wetlands A Handbook of Constructucted Wetlands. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.169.7471&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 01 de outubro de 2018.

DELETIC, A. et al. Adoption Guidelines for Stormwater Biofiltration Systems Cities as Water Supply Catchments. Melbourne, Australia: Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities, 2015.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p

EPAGRI/CIRAM. Mapas Digitais de Santa Catarina. Disponível em: < <http://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca/> > Acesso em: 20 de agosto de 2018.

IBGE, Censo demográfico 1940-2010. Até 1970 dados extraídos de: Estatísticas do século XX. Rio de Janeiro: IBGE, 2007 no Anuário Estatístico do Brasil, 1981, vol. 42, 1979.

KADLEC, R. H.; WALLACE, S. D. Treatment Wetlands, Second Edition. Taylor & Francis Group: Florida, 2008.

KOBIYAMA, Masato et al. Estimativa morfométrica e hidrológica do tempo de concentração na bacia do campus da UFSC, Florianópolis-SC. I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste. Curitiba: UFPR, p. 1-11, 2006.

LID. **Low Impact Development Center**, 2018. Disponível em: <http://www.lowimpactdevelopment.org/>. Acesso em: 27 de julho de 2018.

MELBOURNE WATER. **Constructed Wetland**. Melbourne, 2010. 41 p. Disponível em: <https://www.clearwatervic.com.au/user-data/case-studies/plans-designs/constructed_wetlands_guidelines.pdf> Acesso em: 27 de setembro de 2018.

MELBOURNE WATER. **Wetland Design Manual**. A1: Vision, core outcomes and aspirational outcomes. Melbourne, 2017. 14 p.

MOURA, P. M. **Contribuição para a avaliação global de sistemas de drenagem urbana**. Dissertação (Mestrado em Sanemaneto, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

MOURA, P. M.; BAPTISTA, M. B.; BARRAUD, S. Avaliação multicritério de sistemas de drenagem urbana. **Rega**, v. 6, n. 1, p. 31–42, 2009.

MULUNGO, H. E. **Estudo de Inundação na Bacia do Campus da UFSC, Florianópolis-SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

PMF – PREFEITURA DE FLORIANÓPOLIS. Geoprocessamento Corporativo. Mapas para download. Disponível em: <<http://www.pmf.sc.gov.br/entidades/geo/index.php?cms=mapas+para+download&menu=0>>. Acesso em: 19 de agosto de 2018

POÇAS, Cristiane Dias. Utilização da tecnologia de wetlands para tratamento terciário: controle de nutrientes. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

POMPÊO, C. A. DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL. v. 5, n. 1, p. 15–24, 2000.

POMPÊO, C. A. *et al.* Diagnóstico da Qualidade da Água dos Córregos do Campus Reitor João David Ferreira Lima. **XI Encontro Nacional de Águas Urbanas**, v. 1, n. 1, p. 3–8, 2017.

RECESA. **Águas pluviais : técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas : guia do profissional em treinamento.** Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). Belo Horizonte, 2007.

RIGHETTO, A. M. Manejo De Águas Pluviais Urbanas. **Abes**, p. 396, 2009.

SANTOS, C. C. **O Processo De Urbanização Da Bacia Do Itacorubi: a Influência Da Ufsc.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

SAN MATEO COUNTYWIDE. **San Mateo County Sustainable Green Streets and Parking Lots Design Guidebook.** San Mateo Countywide, 2009. Disponível em: <<https://www.flowstobay.org/gsdesignguide>>. Acesso em: 22 set. 2018.

SDS - SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL. **SIGSC: Sistema de Informações Geográficas.** Disponível em: <<http://sigsc.sds.sc.gov.br/>> Acesso em: 18 de agosto de 2018.

SOUZA, V. C. B. Gestão da drenagem urbana no Brasil: desafios para a sustentabilidade. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 1, n. 1, p. 57–72, 2013.

SUDERHSA. **Manual de Drenagem Urbana: Região Metropolitana de Curitiba/PR.** Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos Governo do Estado do Paraná. Curitiba, 2002.

SUDS. **Sustainable Drainage Systems**, 2018. Disponível em: <<https://www.susdrain.org/>>. Acesso em: 27 de julho de 2018.

TUCCI, C. E. M. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. i, p. 5–12, 1997.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 5–27, 2002.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Saneamento para todos. Ministério das Cidades. Brasília, 2005.

TUCCI, C.; GOLDENFUM, J.; ARAUJO, P. Avaliação Da Eficiência Dos Pavimentos Permeáveis Na Redução De Escoamento Superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, p. 21–29, 2000.

UFSC – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Recuperação da Qualidade das Águas dos Córregos do Campus Reitor João David Ferreira Lima: Relatório Conclusivo**. Florianópolis, 2017. Disponível em: <<http://neagua.ufsc.br/tiki-index.php?page=Projeto+de+Recupera%C3%A7%C3%A3o+da+Qualidade+da+%C3%81gua+dos+C%C3%B3rregos+do+Campus+Reitor+Jo%C3%A3o+David+Ferreira+Lima+%28PRAD%29>>. Acesso em: 22 de setembro de 2018.

URBONAS, B.; STAHR, P. **Stormwater: Best management practices and detention for water quality, drainage, and CSO management**. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall. 1993. 450 p

WOODS-BALLARD, B. *et al.* **The SUDS manual**. London: CIRIA, 2015.

WSUD. **Water Sensitive Urban Design**, 2018. Disponível em: <<http://wsud.melbournewater.com.au/>>. Acesso em: 27 de julho de 2018.

ZÊNITE TOPOGRAFIA ENGENHARIA E CONSULTORIA AMBIENTAL LTDA. **Relatório N° - SPT-0203-10**. Joinville, 2010.

ZHANG, Zhiming; CUI, Baoshan; FAN, Xiaoyun. **Removal Mechanisms of Heavy Metal Pollution from Urban Runoff in Wetlands**. *Frontiers Of Earth Science*, Beijing, v. 6, n. 4, p.433-444, 1 mar. 2012.