

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA

Vanessa de Oliveira Friso

**GESTÃO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS EM RUAS: uma abordagem
paramétrica para a drenagem urbana**

Belo Horizonte
2024

Vanessa de Oliveira Friso

**GESTÃO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS EM RUAS: uma abordagem
paramétrica para a drenagem urbana**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável.

Área de concentração: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável

Linha de Pesquisa: Tecnologia do Ambiente Construído

Orientador: Profa. Dra. Rejane Magiag Loura

Belo Horizonte

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

F917g

Friso, Vanessa de Oliveira.

Gestão sustentável de águas pluviais em ruas [recurso eletrônico] : uma abordagem paramétrica para a drenagem urbana / Vanessa de Oliveira Friso. - 2024.

1 recurso online (143 p. : il.).

Orientadora: Rejane Magiag Loura

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Águas pluviais - Drenagem - Teses. 2. Drenagem - Projetos - Teses. 3. Planejamento urbano - Teses. I. Loura, Rejane Magiag. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 711.4

Ficha catalográfica: elaborada por Fernanda Pereira - CRB 6/2927



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

"GESTÃO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS EM RUAS: uma abordagem paramétrica para a drenagem urbana"

VANESSA DE OLIVEIRA FRISO

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia **doze de novembro de dois mil e vinte e quatro**, pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Profa. Dra. Rejane Magiag Loura - Orientadora

Escola de Arquitetura/UFMG

Profa. Dra. Daniela Rizzi

Local Governments for Sustainability/ICLEI

Profa. Dra. Natalia Aguiar Mol

Escola de Arquitetura/UFMG

Prof. Dr. Rogério Palhares Zschaber de Araújo

Escola de Arquitetura/UFMG

Belo Horizonte, 12 de novembro de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Natalia Aguiar Mol, Professor(a)**, em 13/11/2024, às 17:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rogério Palhares Zschaber de Araujo, Professor do Magistério Superior**, em 14/11/2024, às 07:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rejane Magiag Loura, Professora do Magistério Superior**, em 22/11/2024, às 18:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniela Rizzi, Usuária Externa**, em 29/11/2024, às 10:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 3727082 e o código CRC 5F28EC62.

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

“This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal e Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001”.

À Olga, Leda e Carmen.

AGRADECIMENTOS

Agradeço pela oportunidade de tentar colaborar para o desenvolvimento de um mundo melhor para as futuras gerações.

Ao Colegiado do nosso Programa de Pós Graduação, agradeço pelo apoio e por me proporcionar condições para desenvolver minha pesquisa durante uma gestação e os primeiros anos de Carmen.

À Rejane, pelo desafio proposto e pelo acolhimento e acompanhamento primoroso.

À Natalia, por ter me apresentado a Escola de Arquitetura da UFMG e pelo incentivo incondicional.

À Eleonora, por ter me inserido no mundo das águas urbanas.

Ao Matheus, tão jovem e talentoso, agradeço pela generosidade no compartilhamento de seus conhecimentos.

Agradeço aos meus pais, Sergio e Teresinha, por me encorajarem e por serem minhas referências e meu ponto de apoio.

Agradeço ao Fernando, meu amigo e companheiro, por me apoiar sempre, por ter vivido esse desafio comigo e por ser o pai amado de minhas filhas. Sem você, não seria possível.

Por fim, agradeço às minhas maiores incentivadoras, Olga, Leda e Carmen, por darem novo sentido à minha vida, inspirando-me a cada dia e provando que há esperanças para um futuro melhor.

RESUMO

Com o rápido aumento populacional urbano, as cidades cresceram de forma acelerada e não planejada, impactando o clima na medida em que transformam os ciclos naturais do meio, causando desequilíbrios ambientais, sociais e econômicos. Novas propostas de enfrentamento a esses desequilíbrios, inspiradas no funcionamento da natureza e na consequente restauração de seus ciclos naturais, podem ser adotadas. A partir de um olhar direcionado para o ciclo da água no meio urbano, destacam-se a gestão sustentável de águas pluviais e as estratégias sustentáveis para drenagem em ruas. Diante disso, e considerando-se os desafios enfrentados no âmbito das políticas públicas brasileiras para a adoção dessas medidas, o trabalho objetivou desenvolver um método simplificado, a ser aplicado em fase de Estudo Preliminar de projetos urbanos, para lidar com a água pluvial em vias. Com a intenção de colaborar para o alívio da pressão que o sistema de drenagem existente recebe nas temporadas de chuvas, foi criado um modelo paramétrico que proporciona condições para análise de possibilidades de implementação de estratégias sustentáveis, ou soluções compensatórias, de drenagem de águas pluviais em ruas, com base nos princípios das Soluções baseadas na Natureza alinhados ao conceito de Desenho Urbano sensível à água. Aplicando-se, então, o Pensamento Computacional como metodologia para resolução de problemas, foi possível compreender a relação existente entre os elementos que compõe a via urbana, bem como relacionar tais elementos à possibilidade de ocorrência das estratégias sustentáveis indicadas como adequadas para implementação em ruas. Assim, trabalhando-se com o *Grasshopper* como ferramenta de modelagem algorítmica paramétrica foi possível construir o modelo desejado. Adotando-se o quarteirão como unidade limite de análise, a metodologia apresentada resultou na construção de um algoritmo que dá suporte ao desenho de vias públicas. Hospedado na plataforma *Shape Diver*, o modelo desenvolvido pode ser acessado por qualquer usuário da internet através de um *link*. Como próximos passos, espera-se que o modelo possa ser aplicado em pequenas localidades como forma de testar sua eficiência, bem como verificar possíveis adequações que se façam necessárias. Além disso, o algoritmo será registrado no INPI pela CTIT da UFMG.

Palavras-chave: Drenagem urbana sustentável; Desenho urbano; Modelagem paramétrica.

ABSTRACT

With the rapid increase in urban populations, cities have grown rapidly and unplanned, impacting the climate as they transform the natural cycles of the environment, causing environmental, social and economic imbalances. New proposals to address these imbalances, inspired by the functioning of nature and the consequent restoration of its natural cycles, can be adopted. From a focus on the water cycle in urban areas, sustainable rainwater management and sustainable strategies for street drainage stand out. In view of this, and considering the challenges faced within the scope of Brazilian public policies for the adoption of these measures, the study aimed to develop a simplified method, to be applied in the Preliminary Study phase of urban projects, to deal with water in streets. In order to help alleviate the pressure that the existing drainage system receives during the rainy season, a parametric model was created to provide conditions for analyzing the possibilities of implementing sustainable strategies, or compensatory solutions, for rainwater drainage in streets, based on the principles of Nature-Based Solutions aligned with the concept of Water Sensitive Urban Design. By applying Computational Thinking as a problem-solving method, it was possible to understand the relationship between the elements that make up an urban street, as well as to relate these elements to the possibility of occurrence of the sustainable strategies indicated as suitable for implementation in streets. Thus, working with Grasshopper as a parametric algorithmic modeling tool, it was possible to build the desired model. Adopting the city block as the limiting unit of analysis, the methodology presented resulted in the construction of an algorithm that supports the design of public roads. Hosted on the Shape Diver platform, the developed model can be accessed by any internet user through a link. As next steps, it is expected that the model can be applied in small locations as a way of testing its efficiency, as well as verifying possible adjustments that may be necessary. Furthermore, the algorithm will be registered at INPI by CTIT (Coordination of Technological Transfer and Innovation) from UFMG.

Keywords: Sustainable urban drainage; Urban design; Parametric modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Caracterização do ciclo da água em meio natural e em meio urbano	19
Figura 2 - Renaturalização de córrego a partir de vala de biorretenção	20
Figura 3 - Canteiro de biorretenção em calçada	32
Figura 4 - Representação do termo SbN como conceito guarda-chuva	35
Figura 5 – Esquemas das funções que podem ser exercidas por medidas de infraestrutura verde, respectivamente: detenção (A), retenção (B), (bio)filtração (C) e infiltração (D)	42
Figura 6 - Vala, ou valeta, de biorretenção	43
Figura 7 - Canteiro (jardim de chuva) no bairro Vila Mariana, em São Paulo	43
Figura 8 - Jardim de chuva construído em rotatória no bairro do Tatuapé, em São Paulo	44
Figura 9 - Representação esquemática de árvores para águas pluviais	47
Figura 10 - Célula individual com árvore para coleta de águas pluviais	48
Figura 11 - Árvore para águas pluviais inserida em canteiro plantado	48
Figura 12 - Árvore para águas pluviais em canteiro plantado	49
Figura 13 - Representação esquemática de canteiro biofiltrante	49
Figura 14 - Canteiro biofiltrante	50
Figura 15 - Representação esquemática de canteiro de biorretenção	50
Figura 16 – Vaga verde (jardim de chuva em vaga de estacionamento) construída em rua em São Paulo	51
Figura 17 - Jardim de chuva no bairro da Vila Prudente, em São Paulo	51
Figura 18 - Representação esquemática de vala de biorretenção	52
Figura 19 - Valeta de biorretenção na faixa de mobiliário urbano	52
Figura 20 - Vala de biorretenção em Portland	53
Figura 21 - Vala de biorretenção em via com declividade	53
Figura 22 - Representação esquemática de canteiro híbrido de biorretenção	54
Figura 23 - Canteiro híbrido de biorretenção	54
Figura 24 - Biovaleta em rua de Portland	55
Figura 25 - Jardins de chuva instalados em extensões do meio-fio da Rua Verde NE Siskiyou	56
Figura 26 - Biovaleta que recebe as águas pluviais da rua que são direcionadas para a calçada	57

Figura 27 - Sistema de drenagem sustentável implantado em via de tráfego subutilizada em Sheffield	58
Figura 28 - Biovaletas instaladas em extensão de declive da via em Sheffield	59
Figura 29 - Um dos jardins de chuva instalados na Pollock Avenue, na Região Metropolitana de Adelaide	60
Figura 30 - Poço de árvore em Adelaide	60
Figura 31 - Canteiros com jardins de chuva na <i>Randolph Avenue</i>	61
Figura 32 - Jardim de chuva na <i>Florence Street</i> , em Unley	61
Figura 33 - Informação educativa exposta no jardim de chuva	62
Figura 34 – Diagrama representando o esquema de funcionamento de uma sintaxe de linguagem de programação	63
Figura 35 - Processo de simulação da volumetria dos edifícios no Grasshopper	65
Figura 36 – Visualização da volumetria e arranjo urbano dos edifícios	65
Figura 37 - Conjunto de parâmetros de projeto e objetivos	67
Figura 38 - Diagrama ilustrando a abordagem de modelagem e análise de sistemas orientada ao projeto	68
Figura 39 – Diagrama esquemático de classificação espacial	71
Figura 40 - Diagrama esquemático do fluxo de trabalho de integração de águas pluviais e bem-estar humano em um modelo paramétrico	71
Figura 41 – Área de referência apresentada por Moura et al. e formas geradas pela modelagem para retenção de águas pluviais	72
Figura 42 - Trecho do algoritmo responsável pelo cálculo do volume de retenção na geometria proposta	73
Figura 43 - Intervenção do projetista	73
Figura 44 - Processo formal de simplificação e decomposição	74
Figura 45 - Fluxograma da metodologia aplicada para desenvolvimento do algoritmo	76
Figura 46 - Legenda das categorias de objetos que compõem o sistema “rua”	81
Figura 47 - Decomposição e possíveis tipologias da estrutura urbana “rua”	81
Figura 48 - Decomposição do sistema “calçada”	82
Figura 49 - Decomposição do sistema “leito viário”	82
Figura 50 - Descrição da Zona de fachada da calçada	83
Figura 51 - Descrição da Faixa livre da calçada	83

Figura 52 – Descrição da Zona de mobiliário urbano da calçada.....	84
Figura 53 – Descrição da Faixa de rolamento do leito viário	84
Figura 54 - Descrição dos possíveis usos para as Faixas auxiliares do leito viário ..	85
Figura 55 - Legenda para a classificação das tipologias de ruas	85
Figura 56 - Subtipologias de “Espaços prioritários de pedestres”	86
Figura 57 - Subtipologias de “Ruas compartilhadas”	86
Figura 58 - Subtipologias de “Ruas de bairros”	86
Figura 59 - Subtipologias de “Ruas grandes, avenidas e boulevares”	87
Figura 60 - Legenda das ações geradas no algoritmo	92
Figura 61 – Proposta de algoritmo com informações iniciais para que uma estratégia possa ser implementada em calçadas	92
Figura 62 – Proposta de algoritmo com informações iniciais para que uma estratégia possa ser implementada no leito carroçável da via	93
Figura 63 - Cores representativas para soluções de retenção e soluções de retenção e infiltração	93
Figura 64 - Árvores no leito carroçável da rua Bernardo Guimarães em Belo Horizonte, MG	94
Figura 65 - Diagrama da modelagem conceitual de algoritmo para a implementação de árvores para águas pluviais em calçadas	95
Figura 66 - Diagrama da modelagem conceitual de algoritmo para a implementação de canteiros biofiltrantes em calçadas	96
Figura 67 - Diagrama da modelagem conceitual de algoritmo para a implementação de canteiros biofiltrantes no leito carroçável da via	97
Figura 68 - Diagrama da modelagem conceitual de algoritmo para a implementação de vala de biorretenção em calçadas.....	98
Figura 69 - Diagrama da modelagem conceitual de algoritmo para a implementação de vala de biorretenção no leito carroçável das vias.....	99
Figura 70 - Diagrama da modelagem conceitual de algoritmo para a implementação de canteiro de biorretenção em calçadas.....	100
Figura 71 - Diagrama da modelagem conceitual de algoritmo para a implementação de canteiro de biorretenção no leito carroçável das vias.....	101
Figura 72 - Diagrama da modelagem conceitual de algoritmo para a implementação de canteiro híbrido de biorretenção em calçadas.....	102

Figura 73 - Diagrama da modelagem conceitual de algoritmo para a implementação de canteiro híbrido de biorretenção no leito carroçável das vias.....	103
Figura 74 - Trecho do algoritmo desenvolvido no <i>Grasshopper</i>	111
Figura 75 - Modelo gerado no <i>Rhinoceros</i> a partir das instruções do <i>Grasshopper</i>	111
Figura 76 - Legenda para construção dos fluxogramas representativos do algoritmo proposto	113
Figura 77 – Parte 1. Modelagem da via principal	114
Figura 78 – Parte 2. Modelagem das calçadas	115
Figura 79 - Parte 3. Detalhamento das calçadas	115
Figura 80 - Parte 4. Prédios e acessos	116
Figura 81 - Parte 5. Modelagem da via transversal 1	116
Figura 82 - Parte 6. Modelagem da rotatória na via transversal 1	117
Figura 83 - Parte 7. Modelagem da via transversal 2.....	117
Figura 84 - Parte 8. Modelagem da rotatória na via transversal 2.....	118
Figura 85 - Parte 9. Divisão das faixas carroçáveis e separação de acordo com o uso	118
Figura 86 - Parte 10. Detalhamento do leito carroçável	119
Figura 87 - Parte 11. Detalhamento do canteiro central.....	120
Figura 88 - Parte 12. Modelagem de travessia de pedestres.....	121
Figura 89 - Parte 13. Manchas indicativas de solução na calçada.....	121
Figura 90 - Parte 14. Criação das geometrias das manchas sem os acessos e definição de pontos de inserção de componentes urbanos na calçada	122
Figura 91 - Parte 15. Subtração das áreas dos componentes urbanos nas manchas de solução na calçada.....	123
Figura 92 - Parte 16. Manchas de solução da faixa auxiliar.....	124
Figura 93 - Parte 17. Definição de regiões para vaga de carga e descarga, <i>parklets</i> e áreas de plantio na faixa auxiliar	125
Figura 94 - Parte 18. Posicionamento da vaga de carga e descarga na faixa auxiliar	125
Figura 95 - Parte 19. Posicionamento dos <i>parklets</i> e áreas de plantio na faixa auxiliar	126
Figura 96 - Parte 20. Manchas indicativas de solução no canteiro central.....	127
Figura 97 - Parte 21. Inserção dos equipamentos urbanos no canteiro central	128

Figura 98 - QR Code para acesso ao modelo na plataforma <i>Shape Diver</i>	130
Figura 99 - Tela inicial ao acessar o modelo no <i>Shape Diver</i>	130
Figura 100 - Modelo com as indicações iniciais de locais para implementação da medida selecionada	131
Figura 101 - Modelo sendo modificado a partir das características do quarteirão a ser analisado	131
Figura 102 - Inserção das características da calçada esquerda no modelo.....	132
Figura 103 - Caracterização do leito carroçável esquerdo e indicação das faixas para travessia de pedestres	132
Figura 104 - Caracterização do canteiro central e da calçada direita.....	133
Figura 105 - Caracterização do leito carroçável direito	133
Figura 106 - Visão geral do modelo completo com as manchas indicando os possíveis locais para implementação da solução de drenagem escolhida.	134

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fases da trajetória do desenvolvimento das águas urbanas segundo Tucci	27
Quadro 2 - Termos usados para gestão de águas urbanas pelo mundo	33
Quadro 3 - Relação entre os princípios das SbN e os objetivos a serem alcançados pelas estratégias de Desenho Urbano sensível à água	40
Quadro 4 - Relação entre as estratégias propostas pelo Guia Global de Ruas e os objetivos de Desenho Urbano sensível à água	45
Quadro 5 - Relação entre as estratégias propostas pelo Guia Global de Ruas e os princípios de Soluções baseadas na Natureza	46
Quadro 6 - Etapas do Pensamento Computacional	77
Quadro 7 - Tipologias de ruas	78
Quadro 8 - Relação entre as tipologias de ruas do GGDR e do CTB	80
Quadro 9 - Descrição das tipologias de vias consideradas no algoritmo	105
Quadro 10 - <i>Inputs</i> considerados no modelo.....	107

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	Água e meio urbano	24
2.1	Drenagem urbana no Brasil: o papel das políticas públicas.....	29
2.2	Gestão sustentável das águas pluviais urbanas.....	32
2.2.1	Soluções baseadas na Natureza (SbN).....	36
2.2.2	Desenho Urbano sensível à água e a relação com as Soluções baseadas na Natureza.....	38
2.2.3	Estratégias sustentáveis para drenagem urbana em ruas	41
2.2.3.1	Árvores para águas pluviais	47
2.2.3.2	Canteiro biofiltrante	49
2.2.3.3	Canteiro de biorretenção	50
2.2.3.4	Vala de biorretenção, biovaleta ou vala de infiltração	51
2.2.3.5	Canteiro híbrido de biorretenção	54
2.3	Aplicação de estratégias de gestão sustentável de águas urbanas em ruas.....	54
3	Modelagem paramétrica.....	62
3.1	Modelagem paramétrica aplicada no ambiente urbano	64
4	METODOLOGIA.....	75
4.1	Pensamento Computacional	77
4.2	A rua.....	78
4.2.1	Aspectos da rua considerados como impactantes na escolha de sistemas sustentáveis para drenagem urbana	87
4.3	Modelagem conceitual.....	89
5	O ALGORITMO	104

5.1	<i>Grasshopper</i> : interface para materialização visual de conceitos.....	110
5.2	Usabilidade do algoritmo	128
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	134
	REFERÊNCIAS.....	136

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, as ações antrópicas seguem moldando e construindo o ambiente ocupado pela humanidade. Adaptações e alterações de superfícies transformaram o meio e acompanharam o desenvolvimento humano desde sempre, gerando consequências, sejam positivas ou negativas.

Quando um ambiente passa a ser ocupado pelo homem surgem demandas, necessidades de lidar com características do ambiente que eram antes conduzidas pela própria natureza através de seus ciclos naturais, alimentando um ecossistema natural. No entanto, quando ocorre uma ocupação urbana, há a transformação do meio e seus ciclos ecológicos criando um microclima urbano característico. Ao se alterar tais ciclos há interferência nos ecossistemas locais e importantes ciclos naturais são modificados; surgem os chamados ciclos ecológicos urbanos, ou ciclos do ecossistema urbano, diferentes daqueles do ambiente natural (HIGUERAS, 2006).

É o caso do ciclo da água, ponto de partida das investigações do presente trabalho. No entanto, o olhar aqui proposto para esse ciclo direciona-se para as questões relativas à drenagem, mais especificamente para o papel das vias de tráfego dentro do ciclo hidrológico urbano, com foco nas potencialidades apresentadas por essas importantes estruturas urbanas que, integrando o sistema de microdrenagem¹ urbana, podem ser consideradas como “canais” para escoamento de pessoas e mercadorias, mas que, nas temporadas de chuva, tornam-se verdadeiros canais condutores de águas pluviais.

As ruas são espaços intersticiais que possibilitam as cidades; eles fornecem uma rede para todas as atividades sociais, econômicas e físicas dinâmicas que tornam as cidades o habitat humano vital. Através do projeto, as ruas canalizam e conduzem as águas pluviais, promovendo uma rede ao longo da qual toda a chuva que cai na cidade pode ser encaminhada. [...] As ruas representam, ao mesmo tempo, uma barreira para a hidrologia natural e uma enorme oportunidade para uma melhor abordagem para gestão de águas pluviais (NACTO, 2017, p. 7, tradução nossa).

E esse olhar se justifica dentro de um contexto mais amplo relacionado à crise climática que, embora não seja foco principal deste trabalho, deve ser lembrado como

¹ Segundo Bidone e Tucci (1995), a microdrenagem trata da condução das águas superficiais nas áreas urbanas e “é definida pelo sistema de condutos pluviais a nível de loteamento ou de rede primária urbana” (BIDONE; TUCCI, 1995, p. 77).

uma circunstância importante na qual o desafio da gestão das águas urbanas ganha peso diante de episódios desastrosos protagonizados por eventos extraordinários de chuvas intensas.

De fato, há mais de seis décadas o tema sobre as mudanças do clima está presente nos trabalhos de estudiosos que investigam suas consequências no meio urbano. Entre ondas de calor intenso e fortes chuvas inesperadas, são muitas as maneiras pelas quais a mudança climática se apresenta nas cidades contemporâneas que sofrem, muitas vezes, consequências consideradas catastróficas pelas perdas não só econômicas, mas também de vidas (CHAN *et al.*, 2018).

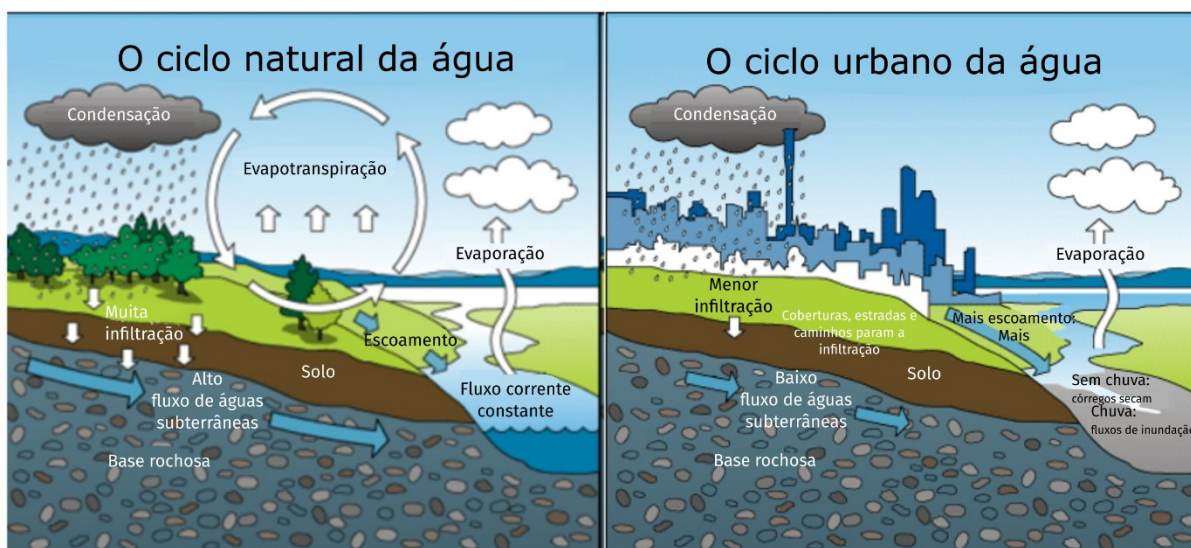
Segundo Picarelli e Kasecker (2022, p. 14), “a mudança do clima é um dos grandes desafios que a humanidade precisa enfrentar a fim de garantir a resiliência e qualidade de vida para as futuras gerações”.

E, embora as consequências da mudança climática não se reflitam nas cidades apenas nas questões hídricas, o impacto sofrido pela alteração do ciclo natural da água é notável pela proporção de estragos que acarreta. No Brasil, todos os anos assistimos às consequências das chuvas, que não falham em estar presentes, apenas variando a localidade onde ocorre o evento, quase sempre com perdas irreparáveis.

Em um contexto no qual as cidades são consideradas como, possivelmente, as formas mais agressivas de alteração do ambiente natural (FRITZEN; BINDA, 2011), as interferências no ciclo da água (FIGURA 1) são evidenciadas, segundo Tucci (1997), primeiramente pela redução da infiltração causada pelas superfícies impermeabilizadas que, em geral, recebem pavimentação asfáltica, fato que, somado às soluções convencionais de captação, faz com que o volume e a velocidade do escoamento superficial sejam aumentados.

Há também a redução do tempo desse escoamento, além da diminuição do lençol freático. Depois, enfatiza-se a redução da evapotranspiração, etapa do ciclo da água que tem interferência direta no conforto térmico do meio, sendo, inclusive, importante ingrediente na formação das chamadas “Ilhas de Calor Urbanas”, fenômeno caracterizado, basicamente, pelas temperaturas mais elevadas nas áreas urbanas em relação às áreas naturais ou rurais adjacentes (CREA-MG, 2009; ROMERO *et al.*, 2019; TUCCI, 1997).

Figura 1- Caracterização do ciclo da água em meio natural e em meio urbano



Fonte: Adaptado pela autora, com base em GREATER AUCKLAND (2017).

Todas essas condições colaboram para a construção de um contexto de transtornos e sofrimento das populações urbanas com eventos extremos, como chuvas concentradas, enchentes, inundações e deslizamentos, causados, entre outros fatores, pela alteração da cobertura natural da superfície (TUCCI, 1997).

Partindo-se, então, do princípio que a existência da água no meio urbano é uma condição inerente à formação das cidades (BAPTISTA; CARDOSO, 2013), tratar tal recurso como parte do meio, e não como invasor, pode proporcionar melhores condições ambientais e de bem estar humano.

Assim, ações políticas e econômicas coordenadas se fazem necessárias e urgentes. E, para fazer face aos problemas mencionados, somando forças às tradicionais e conhecidas técnicas de engenharia, novas abordagens podem e devem ser consideradas (PALERMO *et al.*, 2023) pelos planejadores urbanos, em contraposição ao urbanismo tradicional, no qual os aspectos urbanísticos, hidrológicos e ambientais estão desarticulados ou são desconsiderados durante o processo de planejamento (ANDRADE; MELO; VIANA, 2016).

A partir de ações alinhadas à infraestrutura já existente, promovendo um sistema híbrido (PORSE, 2013), a gestão sustentável das águas urbanas se apresenta, portanto, como uma abordagem capaz de colaborar para a melhoria das condições de bem estar no ambiente urbano (JIA *et al.*, 2020) ao promover, em suas estratégias,

a recuperação de características dos ciclos naturais do meio (CHAPA; PÉREZ; HACK, 2020), como ilustrado na figura 2.

Figura 2 - Renaturalização de córrego a partir de vala de biorretenção



Fonte: Nacto, 2017.

Desse modo, conceitos² que tratam sobre a gestão sustentável das águas nas cidades tornam-se visados e podem ser levados em conta nas ações dos planejadores, projetistas e gestores urbanos já nas fases iniciais do processo de tomadas de decisões, buscando resgatar características naturais da superfície.

Nesse contexto, deve-se dizer que, ao longo dos anos, muitas abordagens foram desenvolvidas mundo afora procurando atender aos requisitos da gestão sustentável das águas nas cidades, gerando uma série de termos relacionados ao tema, característicos a cada região de origem, como apresentado no capítulo a seguir. Vislumbra-se que a existência dessa variedade de nomenclaturas colabore para demonstrar a importância da água e de sua gestão no meio urbano, ressaltando-se as especificidades de acordo com as realidades apresentadas em cada região do mundo.

Assim, diante do cenário de crise climática e da aparente dificuldade em atender às questões referentes às águas pluviais nas cidades somente a partir das tradicionais técnicas de infraestrutura (CHAN *et al.*, 2018), o conceito de Soluções baseadas na

² Desenho urbano sensível à água (WSUD, 2009), Desenvolvimento urbano de baixo impacto (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012), Infraestrutura verde (BENEDICT; McMAHON, 2006) e Soluções baseadas na Natureza (WWAP, 2018).

Natureza (SbN) se destaca como possibilidade de colaborar para a melhoria da qualidade de vida no meio urbano (CARETTA *et al.*, 2022; UNGC, 2019), sendo reconhecido como um termo guarda-chuva ao abarcar vários outros. Considerando-se ainda o tema da gestão sustentável da água, o Desenho Urbano Sensível à Água (WSUD, 2009) é aqui evidenciado por já ser amplamente explorado e implementado, portanto, já testado, principalmente na Austrália. Tais reconhecimentos definiram, enfim, os conceitos-chave utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa.

Entende-se, afinal, que com a implementação de estratégias sustentáveis possa ocorrer uma diminuição da pressão sobre a infraestrutura já existente permitindo que o sistema de drenagem tradicional atue de maneira mais eficiente, minimizando os riscos de ocorrências de eventos extremos relacionados às águas urbanas (HERZOG; FREITAS; WIEDMAN, 2022; MENDES; SANTOS, 2022).

No entanto, apesar da visão e das ações desenvolvidas em diversas localidades do planeta propondo uma mudança de paradigma, ao se analisar o cenário brasileiro, nota-se a escassa execução de soluções alternativas às de infraestrutura tradicional, ou “infraestrutura cinza” (MENDES; SANTOS, 2022), havendo, segundo Chapa, Pérez e Hack (2020), barreiras sociais e institucionais que limitam a adoção e difusão de medidas sustentáveis no cenário latino-americano.

Diante deste contexto, o presente trabalho objetivou criar um método simplificado para lidar com a água, que possa ser ofertado a projetistas e tomadores de decisões sobre a drenagem de águas pluviais em vias urbanas.

Fundamentado em trabalhos que procuraram oferecer soluções para questões urbanas a partir da modelagem paramétrica (GEYER; BUCHHOLZ, 2012; TALEB; MUSLEH, 2015; MOURA *et al.*, 2018; ABDOLLAHZADEH; BILORIA, 2022), o método proposto refere-se a um modelo paramétrico que toma uma quadra fechada de rua como escala limite de ação e que pretende atuar em fase de Estudo Preliminar de projetos urbanos. E, por tratar-se de um método simplificado, caracteriza-se como inaplicável em áreas identificadas como sendo de risco geológico, bem como demanda que seja realizado prévio diagnóstico de mobilidade, visto que o presente trabalho não propõe alterações referentes a esse quesito.

Dessa maneira, com base nos princípios das SbN e do Desenho Urbano Sensível à Água e com o desejo de beneficiar, além da drenagem, a existência de espaços

urbanos com melhor conforto climático, a metodologia apresentada nesta pesquisa levou à construção de um algoritmo que dá suporte ao desenho de vias públicas urbanas ao colaborar para melhorar as condições de drenagem dos sistemas já existentes, a partir de recomendações para a aplicação de estratégias sustentáveis, ou soluções compensatórias (NUCASE, 2007), de gestão de águas pluviais, pretendendo aliviar a pressão recebida em períodos de chuvas, promovendo, então, melhor qualidade de vida e bem estar humano nos ambientes das cidades.

Sendo assim, o *Rhinoceros* e seu *plugin Grasshopper* foram utilizados para a construção de um modelo paramétrico que promove a análise sobre as possibilidades de uso de medidas sustentáveis para o enfrentamento de problemas relacionados à drenagem urbana em ruas e, indiretamente, à mudança climática.

Para isso, foi necessário esclarecer quais medidas indicadas para serem aplicadas em ruas atendem, simultaneamente, aos conceitos de SbN e Desenho Urbano sensível à água, além de quais características da via devem ser consideradas para a implementação dessas estratégias.

Logo, diante de tais objetivos e partindo-se das premissas de que a água no meio urbano é uma presença inexorável, sendo inegociável, e uma via urbana, independentemente do seu revestimento, é tida como impermeável (BALLARD *et al.*, 2015; NACTO, 2017; NACTO, 2018), adotou-se o pressuposto de que as estratégias apontadas para o desenvolvimento do trabalho deveriam estar incondicionalmente alinhadas aos princípios dos dois conceitos estabelecidos como norteadores da pesquisa, condição que justifica a ausência dos pavimentos permeáveis entre as medidas presentes no modelo construído, visto que, embora promovam benefícios à gestão de águas pluviais, via de regra, caracterizam-se como uma estratégia que não contribui inerentemente para a biodiversidade (OICS, 2020; PILLE; SÄUMEL, 2021), qualidade fundamental para que uma medida seja reconhecida como SbN, segundo definição da UNEA (*United Nations Environment Assembly*):

[...] soluções baseadas na natureza são ações para proteger, conservar, restaurar, utilizar de forma sustentável e gerir ecossistemas terrestres, de água doce, costeiros e marinhos, naturais ou modificados, que abordam os desafios sociais, econômicos e ambientais de forma eficaz e adaptativa, ao mesmo tempo que proporcionam bem estar humano e serviços ecossistêmicos, resiliência e benefícios para a biodiversidade [...] (UNEA, 2022, p. 2, tradução nossa).

Posto isso, os procedimentos metodológicos para atingir os objetivos propostos incluíram revisão bibliográfica direcionada para dois focos. Primeiramente, a atenção voltou-se para a análise de livros, documentos oficiais, manuais técnicos e artigos científicos que tratam do tema da gestão das águas urbanas, com maior interesse pelas águas pluviais, além da sustentabilidade aplicada a sua gestão. Posteriormente, com foco mais direcionado para o método de trabalho, partiu-se para a análise de documentos referentes ao Pensamento Computacional e Modelagem Paramétrica, mas, especialmente, para aplicações em projetos para o ambiente urbano.

Assim sendo, a revisão teórica a seguir inicia-se com o capítulo que apresenta um panorama sobre a relação entre a água e o meio urbano. Sequencialmente, fez-se esclarecimento sobre o contexto atual para as políticas públicas brasileiras em relação à drenagem urbana, com especial atenção ao Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), procurando apontar desafios e oportunidades para a implementação de estratégias sustentáveis para a gestão das águas no cenário brasileiro. Posteriormente, colocou-se o conceito de gestão sustentável de águas pluviais urbanas, com foco nas SbN e no Desenho Urbano sensível à água, seguindo, então, para a apresentação das estratégias sustentáveis para drenagem urbana em ruas com base no *Urban Street Stormwater Guide* (NACTO, 2017).

Finalizando esse primeiro bloco teórico, são mencionadas algumas iniciativas que adotaram medidas de gestão sustentável de águas urbanas em ruas.

Fazendo parte do segundo bloco teórico, mais relacionado ao método proposto, foi exposto o conceito de Modelagem Paramétrica. E, buscando unir tal conceito com o tema da gestão sustentável das águas urbanas, resultado almejado por este estudo, apresentam-se alguns trabalhos com propostas de resolução de questões no meio urbano a partir de modelos paramétricos, indicando como sua aplicação pode colaborar para o desenvolvimento de projetos de desenho urbano, especialmente, em fase de Estudo Preliminar.

Partindo-se para a metodologia propriamente dita, aplicou-se, então, o conceito do Pensamento Computacional, o que permitiu compreender o sistema aqui chamado de “rua”, identificando suas partes e correlações representadas, por sua vez, através de uma modelagem conceitual desenvolvida em forma de diagramas na plataforma digital Miro.

De volta para a literatura, buscou-se compreender quais características das vias têm influência na escolha por estratégias sustentáveis de drenagem, assim como identificar quais são mais adequadas para aplicação em ruas e que atendem aos conceitos-chave trabalhados nessa pesquisa, as SbN e o Desenho Urbano sensível à água.

Sintetizando essa coleta de informações, novas modelagens conceituais foram produzidas, agora de cada uma das estratégias identificadas, representadas por diagramas também desenvolvidos na plataforma digital Miro. Assim, tornou-se possível, finalmente, a transferência dessas informações para o *Grasshopper* gerando, enfim, o algoritmo proposto por este trabalho.

Com a intenção de que o usuário consiga analisar a possibilidade de implementação das estratégias em uma rua de seu interesse, o algoritmo permite que, através de uma abstração, um quarteirão da via seja modelado. Como resultado, manchas indicativas sugerem a possibilidade de locação da estratégia escolhida para análise naquele determinado trecho de via.

O algoritmo desenvolvido está disponível pela plataforma digital *Shape Diver*, que vincula os dados inseridos no *Grasshopper* a um *link* que pode ser acessado virtualmente, e será registrado pela CTIT (Coordenação de Transferência e Inovação Tecnológica) da UFMG no INPI (Instituto Nacional de Propriedade Industrial).

2 ÁGUA E MEIO URBANO

Diante das consequências desastrosas relacionadas à circulação de água nas cidades, torna-se importante oferecer um olhar cauteloso para a relação construída entre esse recurso natural e o seu meio. Levando-se em conta que a existência da água no meio urbano não é uma escolha, e sim um fato, o esforço dirige-se para a tentativa de compreender como as águas urbanas têm sido consideradas nas cidades.

Para tanto, é preciso esclarecer, antes de mais nada, o que são as águas urbanas. Para Tucci (2008, p. 100), elas “englobam o sistema de abastecimento de água e esgotos sanitários, a drenagem urbana e as inundações ribeirinhas, a gestão dos sólidos totais, tendo como metas a saúde e conservação ambiental”.

No entanto, a história da humanidade com a água, principalmente com os rios, é muito complexa, marcada por diversas maneiras de interação ao longo do tempo, tratando-

se “de uma relação com aproximações e antagonismos sucessivos” (BAPTISTA; CARDOSO, 2013, p. 126), sempre buscando, porém, atender às necessidades e expectativas humanas através dos diferentes lugares, épocas e culturas.

Realmente, os rios viabilizaram a civilização, mas desde os primórdios das ocupações urbanas, ainda nas Idades Antiga e Média, já sofriam com os impactos dessa movimentação humana, “recebendo elevadas cargas sanitárias, resíduos das atividades comerciais e manufatureiras, poluição urbana difusa, ocupação de margens etc.” (BAPTISTA; CARDOSO, 2013, p. 131), figurando um difícil cenário de condições de salubridade para as cidades e os próprios rios; condições que pioraram, ainda mais, com o advento da Revolução Industrial, ao final do século XVIII (BAPTISTA; CARDOSO, 2013).

A partir do crescimento urbano ocorrido no século XIX, juntamente com epidemias que atingiram a Europa, a relação entre a água e o meio urbano passa por uma importante mudança, surgindo o higienismo, extremamente difundido no Brasil desde o final daquele século (SILVEIRA, 1998; BAPTISTA; CARDOSO, 2013; MENDES; SANTOS, 2022):

[...] o higienismo [...] apontava para a construção de sistemas de esgotamento sanitário e drenagem pluvial na busca de controle de enchentes e de doenças de veiculação hídrica por meio da rápida evacuação das águas pluviais e servidas (BAPTISTA; CARDOSO, 2013, p. 132).

Com isso, desenha-se um cenário em que as questões relacionadas a insalubridade, especialmente as sanitárias, tornam-se primordiais para a engenharia e o planejamento urbano. E, de fato, as medidas sanitárias, principalmente o abastecimento de água e coleta de esgoto, promoveram impactos que beneficiaram a saúde pública, possibilitando que a expectativa de vida fosse aumentada (FEO *et al.*, 2014; HALLER; BARTRAM, 2007; MENDES; SANTOS, 2022; MINH; NGUYEN-VIET, 2011).

Em meados do século XX, como exemplos europeus, Portugal, França e Espanha, a partir de sistemas condutores artificiais, priorizavam o afastamento rápido das águas das cidades, através de técnicas que favoreciam a impermeabilização do solo, também caracterizando o modelo higienista (BAPTISTA; CARDOSO, 2013; MATOS, 2003).

Silveira (1998) explica que o conceito higienista do saneamento urbano se consolida no Brasil após à Proclamação da República, a partir de reformas urbanísticas e da

“ideia de livrar a cidade o mais rápido possível das águas nocivas, conduzindo-as organizadamente para um corpo d’água receptor” (SILVEIRA, 1998, p. 5). No início, os efluentes sanitários e as águas pluviais eram conduzidos de forma conjunta, caracterizando o que se chama de *sistema unitário* (FEO *et al.*, 2014; SILVEIRA, 1998). No entanto, a partir da segunda metade do século XX, o *sistema separador absoluto* se espalha pelo mundo (FEO *et al.*, 2014) e passa a prevalecer no Brasil, provavelmente, por razões econômicas (SILVEIRA, 1998):

[...] canalizações exclusivas para esgoto doméstico têm um custo menor do que uma canalização de sistema unitário. Desta forma foi-se cristalizando a prática de construir redes de esgoto pluvial somente após, quando houvesse recursos. Estabeleceu-se a ordem de prioridades, ainda hoje praticada na urbanização de vilas ou favelas, de implantar, umas após as outras, as redes de água potável, de esgoto doméstico e esgoto pluvial (SILVEIRA, 1998, p. 5-6).

Com base em Baptista *et al.* (2005)³, Pinheiro (2019) afirma que a salubridade passa a ser uma constante nos projetos urbanos e de infraestrutura sanitária, tornando-se, “ao mesmo tempo, um instrumento de dominação e centralização de poder do Estado comandado pelo Capital” (PINHEIRO, 2019, p. 42), onde os aspectos sanitários, a partir dos preceitos positivistas, estariam voltados para um maior controle técnico sobre o meio natural e a organização social, colaborando para uma importante mudança na relação entre o urbanismo e as águas nas cidades, promovendo a desvalorização dos cursos d’água como elementos da paisagem.

Pinheiro (2019) ainda explica que, no século XX, com o aumento e a consolidação do meio de transporte motorizado, surgiram as avenidas sanitárias nas várzeas dos cursos d’água, mas que a organização do espaço urbano já era condicionada à circulação de pessoas e mercadorias desde o Barroco, período compreendido entre os séculos XVI e XIX, fortalecendo os interesses entre Estado autoritário e capitalistas.

Segundo Britto *et al.* (2012) e Pinheiro (2019), pode-se dizer que no cenário brasileiro as premissas da drenagem urbana apresentam características dos serviços oferecidos em países em desenvolvimento, com origem nos países colonizadores, prioritariamente europeus. No entanto, após a Segunda Guerra Mundial, essas características se aproximam mais das norte-americanas. Esse contexto demonstra

³ BAPTISTA, Márcio; NASCIMENTO, Nilo; BARRAUD, Sylvie. **Técnicas compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005.

que as especificidades locais foram ignoradas durante o processo, dificultando o desenvolvimento de abordagens direcionadas para as realidades nacionais.

Tucci (2012) diz que duas situações podem ser identificadas na transição entre os modelos pré-higienista e higienista (QUADRO 1) nos países em desenvolvimento:

- Cidades com redes de esgoto, mas sem rede de drenagem, resultando na redução da poluição doméstica, mas em inundações mais frequentes;
- Construção de drenagem, sem rede de esgoto doméstico, contaminando as fontes de água com poluição doméstica e industrial. Nesses casos, mesmo havendo rede de águas pluviais, a urbanização promove aumento significativo do escoamento por conta da impermeabilização do solo, comprometendo a qualidade de vida, a saúde e aumentando o risco de vida para população. Esse cenário é o encontrado em grande parte do Brasil.

Apesar de Mendes e Santos (2022) ponderarem que a evolução da drenagem urbana no Brasil não tenha seus períodos históricos delimitados com clareza, Tucci (2008) divide a trajetória do desenvolvimento das águas urbanas em quatro fases: pré-higienista, higienista, corretiva e desenvolvimento sustentável (QUADRO 1).

Quadro 1 - Fases da trajetória do desenvolvimento das águas urbanas segundo Tucci

Fases do desenvolvimento das águas urbanas	Características	Consequências
Pré-Higienista	Esgoto em fossas ou na drenagem, sem coleta ou Água da fonte mais próxima	Grande mortalidade; Doenças e epidemias; Inundações
Higienista	Transporte de esgoto para longe das pessoas; Canalização do escoamento	Redução das doenças; Rios contaminados; Inundações
Corretiva	Tratamento de esgoto doméstico e industrial; Amortecimento do escoamento	Recuperação dos rios; Poluição difusa; Obras hidráulicas; Impacto ambiental
Desenvolvimento Sustentável	Tratamento de esgoto pluvial; Incentivo à infiltração e à retenção de águas pluviais; Menor interferência no ciclo da água; Proposição de modelos integram gestão das águas pluviais, abastecimento, esgotamento sanitário e drenagem urbana	Conservação ambiental; Redução das inundações; Melhoria da qualidade de vida

Fonte: Adaptado pela autora com base em Tucci (2008), 2023.

Já Christofidis, Assumpção e Kligerman (2019), apresentam o que chamam de dimensões reflexivas sobre a gestão da drenagem urbana. Eles propõem três dimensões, ou fases, que consideram a percepção humana sobre as águas pluviais:

- drenagem urbana tradicional: propósito de controle das águas, com predominância da adoção de medidas estruturais e não estruturais e foco na coleta e afastamento imediato das águas pluviais;
- drenagem urbana sustentável: controle das águas das chuvas na fonte; incentivo à infiltração e retenção de água como iniciativas para recomposição das condições naturais do ciclo hídrico;
- Soluções baseadas na Natureza: propõe uma convivência pacífica e harmoniosa com a natureza, adotando alternativas para a drenagem urbana que abandonem preconceitos e sejam efetivamente concebidas em sintonia com a natureza. Considera um modo ampliado de compreender as águas através da “combinação da experiência adquirida nas práticas convencionais da engenharia, passando para o entendimento do conceito do desenvolvimento sustentável e nas preocupações atuais das mudanças climáticas [...]” (CHRISTOFIDIS; ASSUMPÇÃO; KLIGERMAN, 2019, p. 95).

Embora Silveira (1998) e Tucci (2008, 2012) argumentem que, por muitos anos, o Brasil não tenha conseguido evoluir de forma satisfatória para as fases além da higienista, Mendes e Santos (2021) e Christofidis, Assumpção e Kligerman (2019) defendem que o país passa por uma mudança no modelo de gestão de águas pluviais, onde ocorre uma transição entre a “filosofia construtiva de sistemas exclusivamente tradicionais de drenagem para modelos mais resilientes e sensíveis à água” (MENDES; SANTOS, 2021, p. 13), sendo a gestão integrada de águas urbanas motivo para vários debates, indicando que os problemas ocasionados pelas cheias seriam reduzidos, caso as cidades fossem planejadas de forma integrada (CHRISTOFIDIS; ASSUMPÇÃO; KLIGERMAN, 2019).

Mendes e Santos (2021) chamam atenção para as consequências das fortes chuvas na atualidade, na qual, além dos danos materiais, vidas são perdidas, tanto em grandes cidades como Rio de Janeiro e Belo Horizonte, como em pequenas e médias ocupações urbanas em bacias hidrográficas de Minas Gerais, Bahia, São Paulo e Santa Catarina. Para os autores,

Em todos esses casos fica claro que a drenagem urbana não pode ser vista de forma isolada do planejamento urbano sustentável, com moradias dignas, em locais adequados geologicamente e com afastamento das margens dos corpos hídricos (MENDES; SANTOS, 2021, p. 13).

Por fim, deve-se ressaltar a coerência ao se pensar em modelos de drenagem mais resilientes, ou sensíveis à água, quando comparados aos sistemas exclusivamente tradicionais, no contexto de estabelecimento de políticas de desenvolvimento sustentável que ocorre em diversas cidades brasileiras (MENDES; SANTOS, 2021).

2.1 Drenagem urbana no Brasil: o papel das políticas públicas

Pode-se dizer que a principal ação de política pública que traz referência à drenagem urbana é a Lei nº 11.445/2007, mais conhecida como Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico no Brasil, além de proporcionar a elaboração do Plano Nacional de abstração Saneamento Básico (Planasb), iniciado em 2008 e aprovado em 2013, sob a coordenação do então Ministério das Cidades (MCidades), orientando o planejamento do saneamento básico no país (PINHEIRO, 2019; SENRA; NASCIMENTO, 2017).

Em 2020, a PNSB tem importante atualização com a Lei nº 14.026/2020, ou Novo Marco do Saneamento que, entre outras coisas, amplia o tema do saneamento básico para a drenagem de águas pluviais urbanas (SANTOS; KUWAJIMA; SANTANA, 2020). Segundo Santos, Kuwajima e Santana (2020), as duas leis juntas (Lei nº 11.445/2007 e Lei nº 14.026/2020) proporcionam instrumentos capazes de orientar as ações no setor do saneamento, a partir de normas que conduzem “para a gestão preventiva de desastres, controle da poluição das águas e do solo e para a promoção de soluções integradas de infraestruturas urbanas baseadas na dinâmica e nos fluxos da natureza” (MENDES; SANTOS, 2021, p. 21).

Além do Plansab, a PNSB promove os planos municipais de saneamento, assim como estabelece o domínio e a responsabilidade pelos serviços de saneamento como sendo municipais. Dessa forma, o serviço de drenagem urbana acaba sendo, predominantemente, feito pelas prefeituras (MENDES; SANTOS, 2021).

É válido lembrar a criação da Lei das Águas em 1997, Lei nº 9.433, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Recursos Hídricos. Um dos importantes benefícios dessa lei é a definição das bacias hidrográficas como unidades de planejamento para a gestão das águas que, a partir

da criação dos Comitês de Bacias Hidrográficas, passa a ser descentralizada e gerida pelas prefeituras e sociedade civil organizada, além de outras instâncias dos governos estadual e federal (CHRISTOFIDIS; ASSUMPÇÃO; KLIGERMAN, 2019).

No entanto, Mendes e Santos (2021) avaliam que a evolução da aplicação de instrumentos normativos e/ou legislativos, principalmente no que se refere ao manejo de águas pluviais e drenagem urbana, esbarra em certos desafios considerados centrais, como a produção e difusão de dados confiáveis, a viabilização de orçamento para expansão de sistemas, além do custeio operacional. Para esses autores, assim como para Porse (2013), tecnologias e abordagens necessárias para tratar a questão das águas urbanas a partir da transição entre os modelos convencionais para os modelos sustentáveis já existem. O desafio está em promover a cooperação entre os vários atores do setor (BROWN; FARRELLY, 2009; MENDES; SANTOS, 2021).

Ainda, segundo Brown e Farrelly (2009), e para Chapa, Pérez e Hack (2020) e Mendes e Santos (2021), as maiores barreiras para consolidação da gestão sustentável das águas urbanas são, prioritariamente, institucionais e não técnicas. Chapa, Pérez e Hack (2020) ainda afirmam que, além das barreiras institucionais, barreiras sociais também contribuem para dificultar a adoção e difusão de estratégias sustentáveis para sistemas de drenagem por gestões municipais ou, quando implementadas, as fazem lentas e pouco eficientes.

O 4º Diagnóstico de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas (BRASIL, 2020) apresenta as especificidades dos serviços no cenário brasileiro. Dentre essas especificidades, destacam-se as seguintes dificuldades na estrutura de drenagem urbana:

- Geralmente, a gestão da infraestrutura de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas (DMAPU) é vista como uma atividade secundária e está relacionada a outros braços da infraestrutura urbana, como o sistema viário;
- Insuficiência na capacitação técnica dos agentes municipais;
- Carência de dados disponíveis. Grande parte dos municípios não realiza coleta sistemática de dados;
- Falta de conhecimento, por parte dos gestores municipais, sobre a existência da infraestrutura de monitoramento de dados hidrológicos no seu território;

- Inexistência de normas técnicas de caráter nacional para projetos de DMAPU;
- Falta de padronização para terminologias do setor, permitindo que um mesmo termo tenha significados diversos em regiões diferentes;
- O funcionamento do sistema de drenagem depende de fatores externos que geram comportamentos de difícil previsão, como características físicas do território, clima e regime de corpos d'água a jusante. Mesmo que um sistema seja adequadamente planejado, pode ser surpreendido ao ter sua capacidade superada em um evento excepcional;
- A deficiência no sistema só é percebida na ocorrência de um evento extremo.

Segundo Mendes e Santos (2021), essas dificuldades, prioritariamente institucionais, impedem que modelos integrados e sustentáveis sejam desenvolvidos e, ainda, a falta de instrumentos e ações de planejamento e gestão somada à carência de pessoal capacitado “configuram um cenário de fragilidade em grande parte dos municípios e serviços no Brasil” (MENDES; SANTOS, 2021, p. 16).

Ainda de acordo com esses autores, as metas estabelecidas pelo Plansab não trazem propostas ou modelos alternativos que colaborem para que elas sejam alcançadas, mostrando que o instrumento está em fase de evolução. Ao mesmo tempo em que esse cenário permite que os municípios trabalhem com liberdade, considerando as realidades e diferenças regionais, incentiva que estratégias convencionais continuem sendo aplicadas na drenagem urbana.

Mendes e Santos (2021) defendem ainda que o estabelecimento de metas do Plansab deva ir além dos limites de apenas minimizar danos e seguir para a implantação de um modelo de desenvolvimento realmente sustentável.

Considerando-se o planejamento nacional, o Plansab traz um discurso de incentivo à transição dos modelos clássicos para os modelos sustentáveis de planejamento e investimento em saneamento básico. No entanto, os critérios, parâmetros e indicadores escolhidos para o desenvolvimento dos trabalhos não são claros e, apesar do plano estimular a priorização de soluções sustentáveis para drenagem, as metas não as materializam, o que seria necessário para o progresso de um plano consistente (MENDES; SANTOS, 2021).

2.2 Gestão sustentável das águas pluviais urbanas

O conceito de gestão sustentável das águas urbanas surge como ponto importante de reflexão ao considerar a água como um recurso natural a ser aproveitado, e não como um problema a ser eliminado do meio urbano (BALLARD *et al.*, 2015; FARR, 2013; FLETCHER *et al.*, 2015; VICTORIA, 1999).

Longe do modelo higienista, que preconiza a canalização do escoamento para evacuação e eliminação rápida de águas paradas e empoçadas (PINHEIRO, 2019; SILVEIRA, 1998; TUCCI, 2008), a gestão sustentável das águas pluviais apresenta abordagens que incentivam que os problemas de drenagem sejam enfrentados localmente, como exemplificado na figura 3, a partir de estratégias descentralizadas, porém de maneira integrada, não apenas com olhar sobre as enchentes, mas considerando todas as formas pelas quais a água circula pelo meio urbano (BALLARD *et al.*, 2015).

Figura 3 - Canteiro de biorretenção em calçada



Fonte: Nacto, 2017.

“A principal ideia da gestão sustentável de águas pluviais é fazer uso completo do espaço verde para detenção de água pluvial, retenção e infiltração no local ao invés de descarregar a água diretamente na tubulação.” (JIA *et al.*, 2020, p. 81, tradução nossa).

O olhar para a água nas cidades a partir desse novo modelo se mostra relevante ao observar-se a existência de vários termos conceituais desenvolvidos mundo afora que tratam do mesmo assunto e, embora apresentem nomenclaturas diferentes de acordo

com sua região de origem, carregam similaridades em suas definições, como demonstrado no quadro 2.

Quadro 2 - Termos usados para gestão de águas urbanas pelo mundo

(Continua)

Termo	Origem	Local de Aplicação	Significado traduzido	Descrição conceitual
BMPs <i>Best Management Practices</i>	EUA década de 70	América do Norte e Europa	Melhores Práticas de Manejo	Conceito usado para descrever práticas que colaborem para a prevenção de poluição difusa.
GI <i>Green Infrastructure</i>	EUA década de 90	Diversos países	Infraestrutura Verde	Considerado como um conceito ao influenciar o planejamento urbano e o uso do solo ao aumentar a inclusão de espaços e corredores verdes, também pode ser considerado como um processo ao intencionar maximizar os benefícios de tais espaços, identificando seu potencial relativo aos serviços ecossistêmicos. Compreende práticas descentralizadas de gestão de águas pluviais que reduzam ou eliminem o escoamento, através da infiltração na fonte, evaporação e reuso de águas de chuva, mas que também promovam amenidades urbanas.
IURWM <i>Integrated Urban Resource Water Management</i>	Diversos países década de 90	Diversos países	Gestão Integrada de Recursos Hídricos urbanos	Conceito considerado mais amplo, parte de uma abordagem integrada para gestão de águas urbanas, não apenas águas pluviais, mas considerando todo o ciclo hidrológico dentro de uma bacia hidrográfica.
LID <i>Low Impact Development</i>	EUA década de 70	EUA, Nova Zelândia	Desenvolvimento de Baixo Impacto	Influenciado por Ian McHargh, com uma abordagem baseada no "projetar com a natureza", o conceito tenta minimizar os custos com a gestão das águas pluviais. A intenção inicial do conceito refere-se a tentar alcançar um balanço hidrológico "natural" através de uma "paisagem hidrológica funcionalmente equivalente". Incentiva a aplicação de soluções em menor escala ao invés de grandes sistemas de retenção.
NbS <i>Nature based Solution</i>	Europa fim dos anos 2000	Diversos países	Soluções baseadas na Natureza	Soluções inspiradas e baseadas na natureza e usam, ou imitam, processos naturais para contribuir para o melhor gerenciamento hídrico (WWAP/ UN-WATER, 2018).
Sponge City	China primeira década dos anos 2000	China	Cidade Esponja	Cidade projetada para que a água da chuva seja mantida e absorvida no local onde ela cai, ao invés de escoar, simulando o ciclo natural da água (GONZÁLEZ-MAHECHA <i>et al.</i> , 2020).

Quadro 2 – Termos usados para gestão de águas urbanas pelo mundo

(Conclusão)

Termo	Origem	Local de Aplicação	Significado traduzido	Descrição conceitual
SUDS ou SuDS <i>Sustainable Urban Drainage Systems</i>	Reino Unido final da década de 80		Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis	Trata-se de um conjunto de tecnologias e técnicas usadas para drenar a água pluvial de forma mais sustentável do que as soluções convencionais, intencionando-se, assim como o LID, aproximar-se do "natural" ou das condições de drenagem anteriores ao desenvolvimento urbano local.
WSUD <i>Water Sensitive Urban Design</i>	Austrália década de 90	Austrália, Reino Unido e Nova Zelândia	Desenho Urbano sensível à água	Abordagem que visa integrar gestão sustentável da água, principalmente, gestão descentralizada de águas pluviais, no desenho urbano.

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

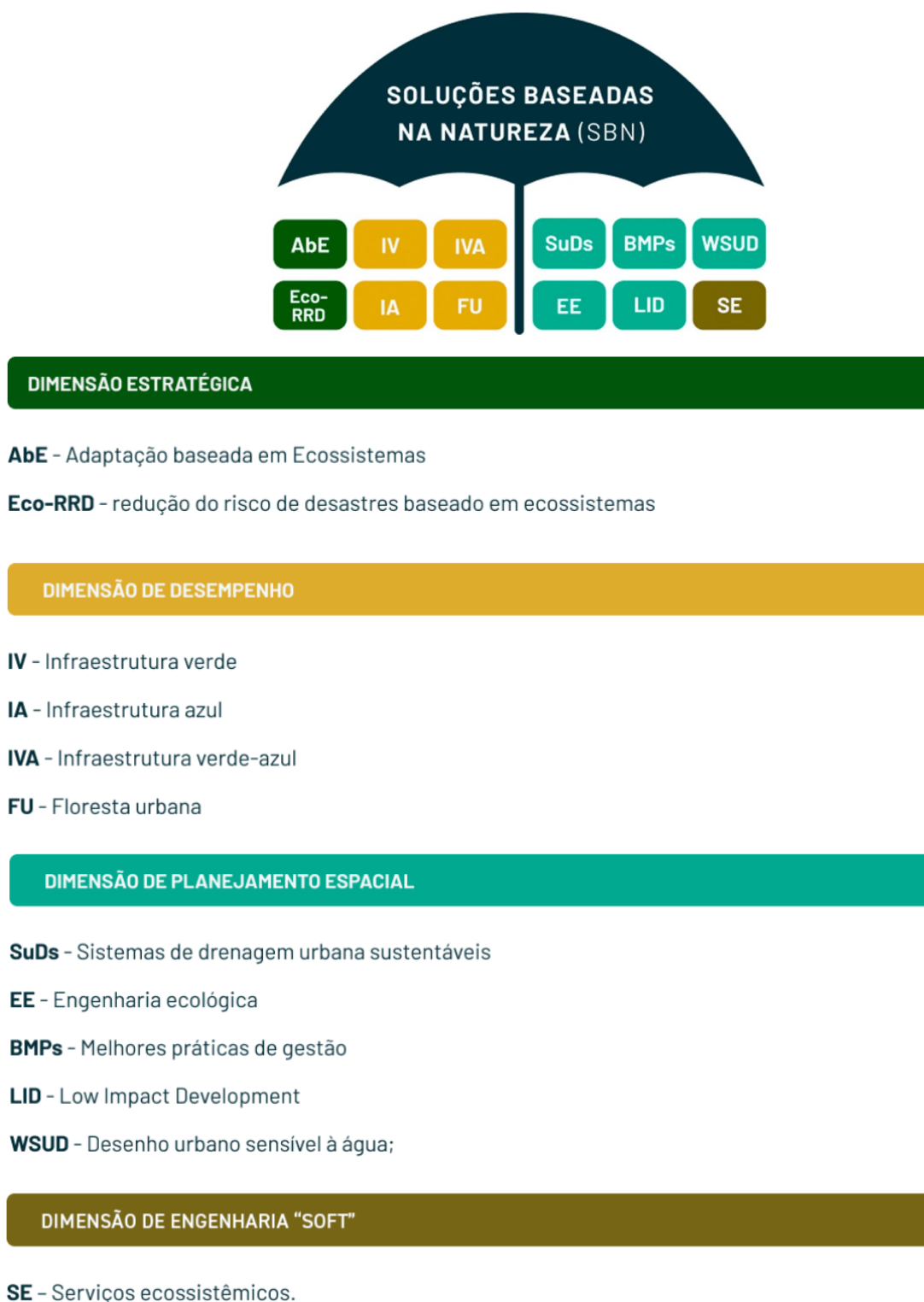
Nota: Informações obtidas em Fletcher *et al.*, 2015 e Hoyer *et al.*, 2011.

Dentre esses vários conceitos, destaca-se a relevância das SbN, considerado como um termo guarda-chuva (IUCN, 2012; IUCN, 2020; MARQUES *et al.*, 2021; OICS, 2022) por abarcar vários outros que também enfatizam a relação entre o ambiente construído e a natureza.

Ainda, diante das significativas questões relacionadas à drenagem urbana, ponto de partida de investigação do presente trabalho, salienta-se a importância do Desenho Urbano Sensível à Água, conceito amplamente aplicado, principalmente na Austrália, que gerou inúmeras referências técnicas para implementação de estratégias sustentáveis relacionadas às águas urbanas. Apresentando-se, ainda, como um dos termos presentes sob o conceito guarda-chuva das SbN (OICS, 2022), ao ser definido como um dos eixos norteadores deste trabalho, demonstra que a abordagem aqui adotada está alinhada à “Dimensão de Planejamento Espacial” das SbN, como pode ser observado na figura 4.

No entanto, apesar da preocupação com as águas urbanas mostrar-se ser mundial, é importante observar que múltiplos cenários se apresentam e expõem realidades diferentes; enquanto o tema da gestão sustentável das águas urbanas circula desde a década de 70 em alguns locais do mundo, como registrado no quadro 2 acima, um estudo realizado para analisar a implementação de SbN na América Latina identificou limitações que incluem falta de oportunidades de financiamento, governança fraca e desinteresse público pelas questões ambientais (DEL PINO; BORELLI; PAULEIT, 2020).

Figura 4 - Representação do termo SbN como conceito guarda-chuva



Fonte: OICS, 2022.

Ainda, para Campos (2021), apesar de favorável, o cenário para adoção das SbN na América Latina está apenas começando a ser desenhado e algumas questões devem ser enfrentadas, como “a falta de visão sistêmica na estrutura governamental e a

inadequação do arranjo institucional responsável pelo setor” (CAMPOS, 2021, p. 73) de drenagem de águas pluviais, caracterizados pelo desalinhamento entre secretarias e departamentos que poderiam exercer trabalhos complementares na busca por melhores soluções. Além disso, Mendes e Santos (2022) afirmam que os desafios relacionados à governança das águas pluviais são muitos e complexos e, de acordo com Porse (2013, p. 31), incluem:

[...] financiamento reduzido ou inexistente, desenvolvimento urbano incerto ou descontrolado, pouca disponibilidade de dados, sistemas antigos que poluem, integração entre infraestrutura nova e existente, requisitos de qualidade ambiental e hidrologia incerta.

Contudo, mesmo diante de tal cenário de incertezas no qual o Brasil está inserido, faz-se importante a insistente reflexão sobre a implementação de novos modelos que possam trazer mais benefícios e bem estar para as populações das cidades.

Assim sendo, perante o possível potencial observado por esta pesquisa nas funcionalidades das SbN atreladas ao Desenho Urbano Sensível à Água, cada um desses dois conceitos recebe maior enfoque nas seções seguintes.

2.2.1 Soluções baseadas na Natureza (SbN)

Como dito anteriormente, o termo “Soluções baseadas na Natureza” é considerado como um conceito guarda-chuva que abrange diversos outros termos que relacionam ambiente construído e natureza, buscando sempre preservar os valores relacionados à biodiversidade. No entanto, o presente trabalho direciona-se à análise das questões ligadas a drenagem urbana logo, após apresentação das definições conceituais, busca-se direcionar o olhar para as estratégias que se refiram ao tema tratado e que, portanto, se relacionem com o conceito de Desenho Urbano sensível à água.

Apresentando-se, então, as Soluções baseadas na Natureza, pode-se afirmar que, embora haja inúmeras definições para o termo, todas defendem a ideia de que “as SbN devem beneficiar a biodiversidade e apoiar a entrega de uma gama de serviços ecossistêmicos para aumentar a qualidade de vida humana e de todos os seres vivos” (OICS, 2022).

Ainda, segundo a *International Union for Conservation of Nature* (IUCN), ou União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN), “Soluções baseadas na Natureza” (SbN) são definidas como:

Ações para proteger, gerir de forma sustentável e restaurar ecossistemas

naturais ou modificados para responder aos desafios da sociedade de maneira efetiva e adaptativa, promovendo simultaneamente bem-estar humano e benefícios à biodiversidade (COHEN-SHACHAM *et al.*, 2016, p. 2, tradução nossa).

Para além das definições, um ponto importante a ser esclarecido é sobre o que as SbN não são.

Segundo o Observatório de Inovação para Cidades Sustentáveis (OICS, 2022), após a popularização do termo, muitas medidas, embora sustentáveis e indicadas para a melhoria do espaço urbano, têm sido erroneamente apresentadas como SbN. Alguns exemplos desses enganos são as academias ao ar livres, intervenções de acupuntura urbana, estruturas de captação e reuso de água, calçadas permeáveis entre outros. Ainda, de acordo com Cohen-Shacham *et al.* (2016), IUCN (2020) e OICS (2022), o ponto-chave para que uma solução seja reconhecida como SbN é entregar benefícios econômicos, sociais e ambientais com ganhos explícitos para a biodiversidade.

Somando-se a essa informação, o Padrão Global para SbN da União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN, 2020) ressalta a diferença entre soluções baseadas, derivadas ou inspiradas na natureza:

Enquanto Soluções baseadas na Natureza usam o poder funcional dos ecossistemas como infraestrutura para promover serviços naturais para beneficiar a sociedade e o meio ambiente, [...] soluções derivadas da natureza incluem energias eólica, marinha e solar [...]. Apesar dessas fontes de energia virem do mundo natural, elas não se baseiam diretamente em ecossistemas funcionais. Soluções inspiradas na natureza incluem desenhos inovadores e produção de materiais, estruturas e sistemas que são modelados em processos biológicos e inspirados na natureza. [...] Eles não são baseados em ecossistemas funcionais (IUCN, 2020, p. 6, tradução nossa).

Por fim, de acordo com a IUCN (2012), para ser considerada uma SbN, a intervenção proposta deve atender a alguns princípios:

- Oferecer solução eficaz para um grande problema global usando a natureza;
- Proporcionar benefícios para a biodiversidade em termos de ecossistemas variados e bem manejados;
- Apresentar melhor relação custo-benefício quando comparada a outras soluções;
- Ser comunicada de forma fácil e convincente;
- Poder ser medida, verificada e replicada;

- Respeitar e reforçar os direitos das comunidades sobre os recursos naturais;
- Atrelar recursos de financiamento públicos e privados.

Deve-se esclarecer, neste momento, que tais princípios são adotados para o prosseguimento desta pesquisa e balizam tanto a análise da relação entre SbN e Desenho Urbano sensível à água, como a avaliação sobre o alinhamento das estratégias apresentadas pelo *Urban Street Stormwater Guide* (NACTO, 2017) com o conceito das SbN.

2.2.2 Desenho Urbano sensível à água e a relação com as Soluções baseadas na Natureza

Surgido na década de 90, na Austrália, o termo Desenho Urbano sensível à água, ou *Water Sensitive Urban Design* (WSUD), representa uma abordagem para planejamento e desenho urbano que integra a gestão do ciclo total da água no processo de desenvolvimento urbano (GOVERNMENT, 2009). É definido, segundo o Manual da UNESCO (HOYER *et al.*, 2011), como uma cooperação interdisciplinar de gestão hídrica, desenho urbano e planejamento paisagístico e objetiva combinar as demandas do gerenciamento sustentável de águas pluviais com as do planejamento urbano permitindo uma aproximação entre o ciclo urbano da água e seu ciclo natural.

Para o *Stormwater Comitee*, de Victoria, Austrália (VICTORIA, 1999), a chave do desenho urbano sensível à água é a abordagem integrada para a gestão de águas pluviais, considerando as águas das chuvas como um recurso ao invés de um problema. Ainda, segundo o mesmo Comitê, o conceito Desenho Urbano sensível à água teria os seguintes objetivos:

- Proteger sistemas naturais;
- Integrar o tratamento de águas pluviais à paisagem;
- Proteger a qualidade da água;
- Reduzir o escoamento e seus fluxos de pico;
- Agregar valor enquanto minimiza os custos de desenvolvimento da infraestrutura de drenagem.

Indo ao encontro com a mesma condição, para HOYER *et al.* (2011), o sucesso no arranjo entre a descentralização do gerenciamento de águas pluviais e o desenho urbano depende da realização de um planejamento integrado e do atendimento dos seguintes tópicos:

- **Sensibilidade à água:** as soluções devem usar métodos descentralizados para aproximar a gestão da água urbana do ciclo hidrológico natural;
- **Estética:** as soluções devem ser aplicadas para proporcionar benefício estético onde for possível e ser adaptadas ao desenho da paisagem urbana do seu entorno;
- **Funcionalidade:** as soluções devem ser implementadas de acordo com as condições locais e o uso pretendido, além de considerar a manutenção necessária e a possibilidade de adaptação a variabilidade de condições básicas, como eventos climáticos extremos;
- **Usabilidade:** as soluções devem ser desenvolvidas para criar espaços com propósitos de recreação e conservação da natureza;
- **Percepção e aceitação pública:** as medidas, além de considerar as necessidades de todos os envolvidos, devem integrá-los ao processo de planejamento, assim como ter seus custos compatíveis aos de soluções convencionais.

Já o Manual Técnico de Desenho Urbano Sensível à Água para a região da Grande Adelaide (GOVERNMENT, 2009), também na Austrália, apresenta os seguintes objetivos a serem alcançados pelas estratégias propostas no documento:

- Reduzir riscos de inundação;
- Prevenir erosão;
- Melhorar a saúde pública e segurança;
- Restaurar e conservar as condições ambientais;
- Criar vizinhanças mais atrativas e habitáveis;
- Realçar os valores culturais e sociais da paisagem urbana;
- Melhorar o uso dos espaços abertos e realçar as oportunidades de recreação;

- Melhorar a consciência ambiental da comunidade.

Diante de tantas definições, princípios a serem atendidos e objetivos a serem alcançados, nota-se que a distância entre o surgimento dos termos de Desenho Urbano Sensível à Água e Soluções baseadas na Natureza não os afasta do sentido primordial dos conceitos. Ambos tratam das relações entre ambiente construído e natureza. E, na expectativa de visualizar as convergências entre os termos, o quadro 3 ilustra uma possível relação dos princípios de SbN (IUCN, 2012) com os objetivos apresentados pelo Manual Técnico de desenho urbano sensível à água para a região da Grande Adelaide (GOVERNMENT, 2009).

Quadro 3 - Relação entre os princípios das SbN e os objetivos a serem alcançados pelas estratégias de Desenho Urbano sensível à água

Princípios de Soluções baseadas na Natureza	Objetivos das estratégias de Desenho Urbano sensível à água							
	Reduzir riscos de inundação	Prevenir erosão	Melhorar a saúde pública e segurança	Restaurar e conservar as condições ambientais	Criar vizinhanças mais atrativas e habitáveis	Realçar os valores culturais e sociais da paisagem urbana	Melhorar o uso dos espaços abertos e realçar as oportunidades de recreação	Melhorar a consciência ambiental da comunidade
Solução eficaz para um grande problema global usando a natureza	•	•	•	•				•
Benefícios para a biodiversidade em termos de ecossistemas variados e bem manejados	•	•	•	•	•		•	•
Melhor relação custo-benefício quando comparada a outras soluções	•	•	•	•	•	•	•	•
Comunicada de forma fácil e convincente	•	•	•	•	•	•	•	•
Poder ser medida, verificada e replicada	•	•	•	•	•	•	•	•
Respeitar e reforçar os direitos das comunidades sobre os recursos naturais	•	•	•	•	•	•	•	•
Atrair recursos de financiamento públicos e privados	•	•	•	•	•	•	•	•

Fonte: Elaborado pela autora com base em IUCN (2012) e no Manual Técnico de Desenho Urbano Sensível à Água para a região da Grande Adelaide (GOVERNMENT, 2009), 2021.

Analisando-se o quadro 3, se observa que apenas três dos objetivos pretendidos pelas estratégias de Desenho Urbano Sensível à Água não foram considerados como possíveis caminhos para atender a todos os princípios de SbN. Por serem objetivos sociais, acredita-se que os três apresentem um caráter mais abstrato, ou processual, quando comparados aos princípios de SbN com os quais não se relacionam.

Ainda assim, é notável a complementariedade avistada entre as características dos dois conceitos chave tratados nesta pesquisa.

A relação proposta pelo quadro 3 revela um promissor cenário para o desenvolvimento do presente trabalho e para as possibilidades de se enfrentar os problemas relacionados a gestão das águas urbanas a partir da implementação das estratégias de Desenho Urbano sensível à água, já que as mesmas atenderiam a praticamente todos os princípios de uma abordagem considerada atualmente como peça chave para mitigar os efeitos das mudanças climáticas no meio urbano (CARETTA *et al.*, 2022; PICARELLI; KASECKER, 2022; UNGC, 2019).

Essa análise permite concluir que a ação conjunta de diferentes conceitos que buscam solucionar as questões do meio urbano pode promover resultados surpreendentes para os problemas relacionados à gestão de recursos naturais nas cidades sendo possível, e necessária, a colaboração entre medidas vistas como “alternativas” e as estratégias de infraestrutura cinza, configurando um sistema híbrido.

Considerando-se que no cenário brasileiro ainda prevalece a abordagem tradicional, focada na infraestrutura cinza, a integração entre conceitos pode ser um caminho inicial para a mudança de paradigma necessária para o real enfrentamento das consequências das mudanças climáticas nas cidades, gerando melhor qualidade de vida e mais segurança para seus habitantes.

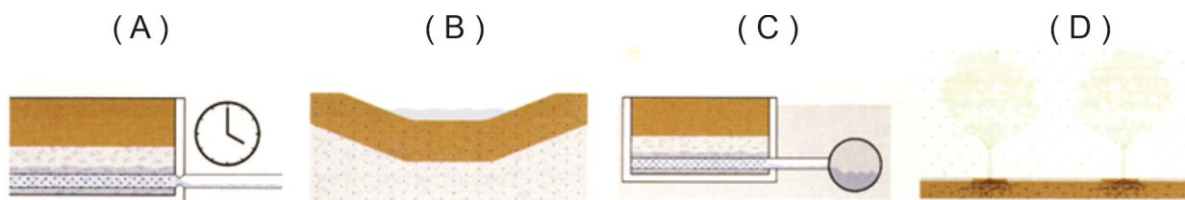
2.2.3 Estratégias sustentáveis para drenagem urbana em ruas

De acordo com o *Urban Street Stormwater Guide* (NACTO, 2017), considerando-se que a gestão sustentável das águas pluviais intenciona promover a reconexão do ciclo natural da água, é possível identificar algumas funções (FIGURA 5) que estratégias sustentáveis, relacionadas à infraestrutura verde, executam ao interceptar o escoamento das águas das chuvas na sua fonte, sendo:

- **Detenção:** coleta e retem o escoamento pluvial temporariamente em dispositivos de armazenamento ou em sistemas de vegetação antes de liberar a água no sistema público;
- **Retenção:** captura e retem as águas pluviais no local para reduzir a pressão sobre o sistema de esgoto público de drenagem pluvial. A água é evaporada, transpirada ou infiltrada no solo;

- (Bio) Filtração: filtra a água da chuva através de areia, solo ou outro meio poroso removendo partículas e poluentes (poluição difusa) e, posteriormente, descarregando o fluxo no sistema;
- Infiltração: o solo absorve a água pluvial através da sua superfície.

Figura 5 – Esquemas das funções que podem ser exercidas por medidas de infraestrutura verde, respectivamente: detenção (A), retenção (B), (bio)filtração (C) e infiltração (D)



Fonte: Nacto, 2017.

Algumas medidas identificadas como sistemas de biorretenção parecem ser boas alternativas para implementação em vias urbanas.

Apresentando-se como estruturas de infraestrutura verde, células de biorretenção colaboram para a gestão do escoamento superficial das águas pluviais ao receber, filtrar e, conseqüentemente, diminuir a velocidade das águas das chuvas que são direcionadas pelas vias urbanas. Sendo projetadas para infiltrar ou apenas reter as águas pluviais, ocorrem em diversas configurações, mas, basicamente, diferenciam-se por seus formatos típicos que, por sua vez, impactam na maneira como a água que atinge os dispositivos é conduzida.

Assim, destacam-se as valas e canteiros como estruturas de biorretenção capazes de promover resultados interessantes quanto à gestão do escoamento superficial das águas pluviais em vias urbanas.

As valas, ou valetas (FIGURA 6), são depressões rasas caracterizadas por um desenho mais linear, acompanhando a via longitudinalmente e promovendo o direcionamento do escoamento das águas pluviais; suas laterais são inclinadas e cobertas por vegetação. Já os canteiros (FIGURA 7) podem apresentar uma geometria mais variada; sendo escavados, é possível ter suas paredes muradas ou sustentadas pelo próprio solo; surgem na paisagem urbana tanto como pequenos dispositivos em locais com pouca disponibilidade de espaço, como grandes jardins, os chamados jardins de chuva (FIGURA 8), que podem, inclusive, propiciar a recarga

de águas subterrâneas (OICS, 2022; CORMIER; PELLEGRINO, 2008; NACTO, 2018; PEREIRA *et al*, 2021).

Figura 6 - Vala, ou valeta, de biorretenção



Fonte: Nacto, 2017.

Figura 7 - Canteiro (jardim de chuva) no bairro Vila Mariana, em São Paulo



Fonte: Jornal Zona Sul, 2022.

Figura 8 - Jardim de chuva construído em rotatória no bairro do Tatuapé, em São Paulo



Fonte: Infante, 2021.

Também sobre a caracterização dos canteiros, tais dispositivos podem ser locados estrategicamente para receber água captada de coberturas de edifícios, não estando, nestes casos, necessariamente abaixo do nível do escoamento (CORMIER; PELLEGRINO, 2008).

Ainda, de acordo com o *Urban Street Stormwater Guide* (NACTO, 2017) e o Guia Global de Desenho de Ruas (NACTO, 2018), as estratégias relacionadas à infraestrutura verde que podem auxiliar a drenagem de águas pluviais em vias urbanas são:

- Árvores de águas pluviais;
- Canteiros biofiltrantes;
- Canteiros de biorretenção;
- Valas de biorretenção, biovaleta ou vala de infiltração;
- Canteiros híbridos de biorretenção;
- Pisos permeáveis.

Essas indicações corroboram com a suspeita apresentada anteriormente sobre as possibilidades de valas e canteiros em colaborar para melhorar as condições da drenagem nas ruas urbanas.

No entanto, nota-se a presença de pisos permeáveis na lista de indicações apresentada. Abordando especialmente a gestão de águas pluviais, esta medida atende a quase todos os objetivos do Desenho Urbano sensível à água (QUADRO 4). Contudo, apesar de ser um reconhecido elemento de colaboração para a drenagem urbana (PINHEIRO, 2013; NACTO, 2017; OICS, 2020; MARCHIONI; SILVA, 2021), os pisos permeáveis não se adequam a todos os princípios das SbN (OICS, 2022), como demonstrado no quadro 5, enfatizando-se, principalmente, o fato dessa medida não promover, explicitamente e incondicionalmente, benefícios relacionados à biodiversidade (OICS, 2020; PILLE; SÄUMEL, 2021), uma das premissas para que a estratégia seja considerada como SbN.

Quadro 4 - Relação entre as estratégias propostas pelo Guia Global de Ruas e os objetivos de Desenho Urbano sensível à água

Objetivos de Desenho Urbano sensível à água	Estratégias propostas pelo Guia Global de Ruas					
	Árvores de águas pluviais	Canteiros biofiltrantes	Canteiros de biorretenção	Pisos permeáveis	Valas de biorretenção	Canteiros híbridos
Reduzir riscos de inundação e alagamento	•	•	•	•	•	•
Prevenir erosão	•	•	•	•	•	•
Melhorar a saúde pública e segurança	•	•	•	•	•	•
Restaurar e conservar as condições ambientais	•	•	•	•	•	•
Criar vizinhanças mais atrativas e habitáveis	•	•	•	•	•	•
Realçar os valores culturais e sociais da paisagem urbana	•	•	•		•	•
Melhorar o uso dos espaços abertos e realçar as oportunidades de recreação	•	•	•	•	•	•
Melhorar a consciência ambiental da comunidade	•	•	•	•	•	•

Fonte: Elaborado pela autora com base no Guia Global de Desenho Ruas (NACTO, 2018), no *Urban Street Stormwater Guide* (NACTO, 2017) e no Manual técnico de desenho urbano sensível à água para a região da Grande Adelaide (GOVERNMENT, 2009), 2023.

Quadro 5 - Relação entre as estratégias propostas pelo Guia Global de Ruas e os princípios de Soluções baseadas na Natureza

Princípios de Soluções baseadas na Natureza	Estratégias propostas pelo Guia Global de Ruas					
	Árvores de águas pluviais	Canteiros biofiltrantes	Canteiros de biorretenção	Pisos permeáveis	Valas de biorretenção	Canteiros híbridos
Solução eficaz para um grande problema global usando a natureza	•	•	•		•	•
Benefícios para a biodiversidade em termos de ecossistemas variados e bem manejados	•	•	•		•	•
Melhor relação custo-benefício quando comparada a outras soluções	•	•	•		•	•
Comunicada de forma fácil e convincente	•	•	•	•	•	•
Poder ser medida, verificada e replicada	•	•	•	•	•	•
Respeitar e reforçar os direitos das comunidades	•	•	•		•	•
Atrair recursos de financiamento públicos e privados	•	•	•	•	•	•

Fonte: Elaborado pela autora com base no Guia Global de Desenho Ruas (NACTO, 2018), no *Urban Street Stormwater Guide* (NACTO, 2017b) e em IUCN (2012), 2023.

Além disso, visto que os pisos permeáveis habitualmente compõem espaços sem a existência de vegetação e desprovidos de sombreamento, considera-se que a escolha por essa medida seja incompatível com a intenção deste trabalho de promover a implementação de estratégias que beneficiem não apenas a drenagem, mas também o bem estar climático ao proporcionar, por exemplo, condições para que ocorra a evapotranspiração e arrefecimento da temperatura.

Sendo assim, optou-se por não incluir a estratégia de pisos permeáveis na lista de medidas indicadas para análise do algoritmo desenvolvido neste trabalho.

Notável e, de certa forma, definidor para este trabalho é o fato de o posicionamento das medidas aqui consideradas ocorrer com maior frequência no que NACTO (2018) denomina como Zona de mobiliário urbano ou, no máximo, na Zona de amortecimento, correspondendo à fronteira entre calçada e leito carroçável. Essa região da via engloba a sarjeta, um importante componente no que se refere a espaço físico disponível para posicionamento de estratégias sustentáveis de drenagem.

Essa observação se faz valerosa por colocar o sistema “calçada” em evidencia, determinando um significativo foco para esta pesquisa.

Por fim, deve-se enfatizar que todas essas soluções podem ser chamadas de “jardins de chuva” por serem espaços vegetados que promovem, de uma forma ou de outra (seja retendo, direcionando, infiltrando...), a gestão de águas pluviais.

A seguir, cada uma das medidas consideradas no algoritmo desenvolvido neste trabalho é apresentada.

2.2.3.1 Árvores para águas pluviais

As árvores podem contribuir significativamente para a gestão sustentável das águas pluviais no meio urbano pela grande capacidade de transpirar, interceptar a chuva e tratar a qualidade da água. Representada esquematicamente pela figura 9, suas covas podem ter paredes laterais ou sistemas estruturais que protejam o solo da compactação e retenham a água das chuvas; podem aparecer sozinhas (FIGURA 10), em células individuais, mas também pode ocorrer a formação de trincheira com a conexão subterrânea de várias covas, o que possibilita a distribuição do escoamento entre um sistema de árvores (NACTO, 2017).

Figura 9 - Representação esquemática de árvores para águas pluviais



Fonte: Nacto, 2017.

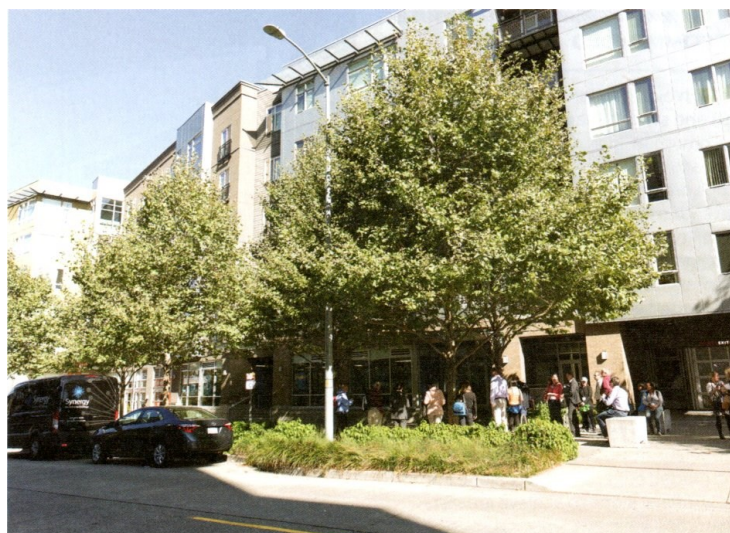
Figura 10 - Célula individual com árvore para coleta de águas pluviais



Fonte: Nacto, 2017.

Essa medida adapta-se a variados contextos de ruas urbanas, sendo geralmente implementadas nas zonas de mobiliário (FIGURAS 11 e 12), mas também podem estar em canteiros centrais (NACTO, 2017) ou, no contexto das nossas cidades brasileiras, em espaços do leito carroçável, junto ao meio fio.

Figura 11 - Árvore para águas pluviais inserida em canteiro plantado



Fonte: Nacto, 2017.

Relevante observar que as árvores podem, e devem, coexistir com outras estratégias sustentáveis para drenagem de águas pluviais sempre que possível, como exemplificado nas figuras 11 e 12, com árvores inseridas em canteiros plantados, podendo ser tanto biofiltrantes como de biorretenção.

Figura 12 - Árvore para águas pluviais em canteiro plantado

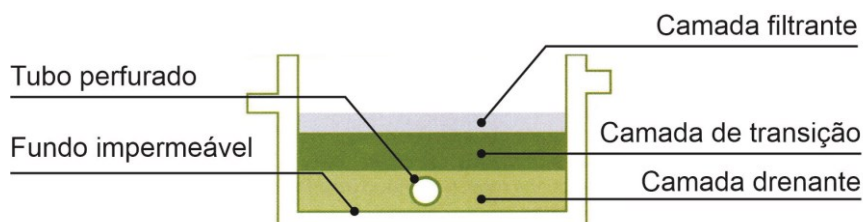


Fonte: Nacto, 2017.

2.2.3.2 Canteiro biofiltrante

Como representado esquematicamente na figura 13, canteiros biofiltrantes são depressões muradas com uma base impermeável e infraestrutura de drenagem de apoio que coleta e filtra a água através do solo e encaminha o escoamento tratado através de uma tubulação subterrânea perfurada. São estruturas que se adaptam a vários contextos de ruas urbanas e são adequadas para áreas onde a infiltração não é propícia, incluindo áreas restritas próximas a edifícios ou com limitações de recuo, áreas com condições do solo que limitam a infiltração, áreas junto a encostas íngremes (com inclinação $>4\%$), ou em áreas com solos contaminados (NACTO, 2017).

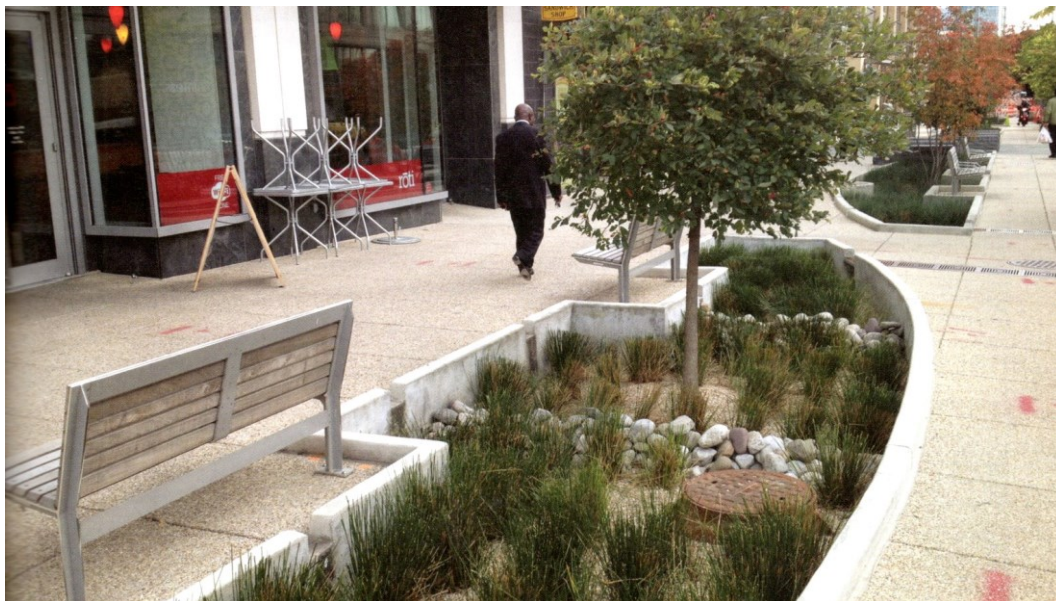
Figura 13 - Representação esquemática de canteiro biofiltrante



Fonte: Adaptado pela autora com base em Nacto, 2017.

Como pode ser observado na figura 14, esteticamente, é uma solução que não se diferencia dos canteiros de biorretenção.

Figura 14 - Canteiro biofiltrante

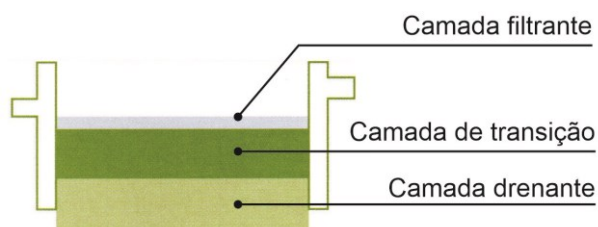


Fonte: Nacto, 2017.

2.2.3.3 Canteiro de biorretenção

Nota-se na representação esquemática da figura 15 que, diferentemente dos canteiros biofiltrantes, os canteiros de biorretenção permitem que ocorra a infiltração de águas pluviais no solo. Apesar de também terem suas laterais verticais muradas, sua base não é impermeável; possuem fundo plano e uma grande capacidade de superfície para capturar, tratar e gerenciar o escoamento de águas pluviais da rua. Suas laterais construídas e profundidade flexível maximizam o volume de água a ser temporariamente estocado (NACTO, 2017).

Figura 15 - Representação esquemática de canteiro de biorretenção



Fonte: Adaptado pela autora com base em Nacto, 2017.

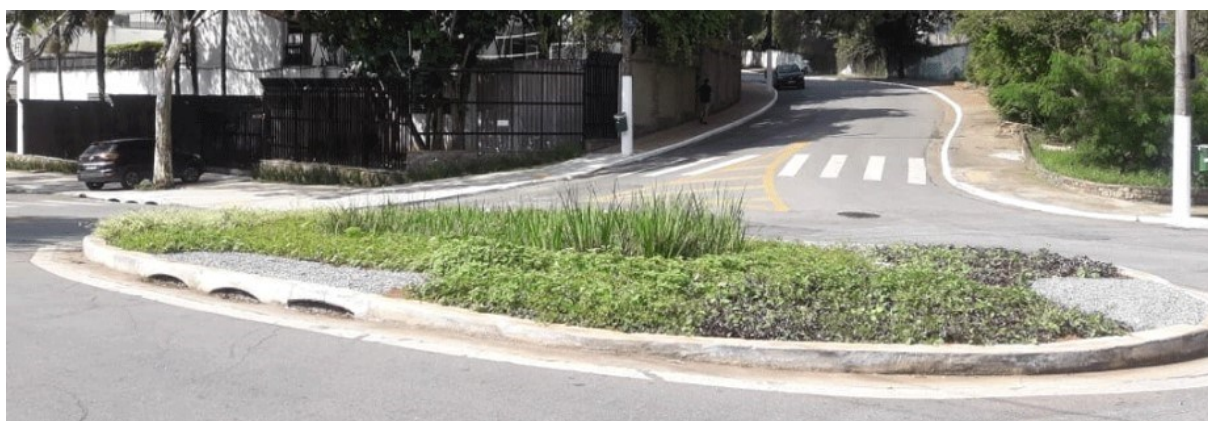
Assim como os canteiros biofiltrantes, se adaptam a vários contextos de ruas urbanas e podem ocorrer de diversas formas (FIGURA 16 e FIGURA 17), mas são mais comumente implementados na zona de mobiliário urbano, em canteiros centrais, boulevares de pedestres ou ao longo do limite da edificação (NACTO, 2017).

Figura 16 – Vaga verde (jardim de chuva em vaga de estacionamento) construída em rua em São Paulo



Fonte: Prefeitura São Paulo, 2024.

Figura 17 - Jardim de chuva no bairro da Vila Prudente, em São Paulo

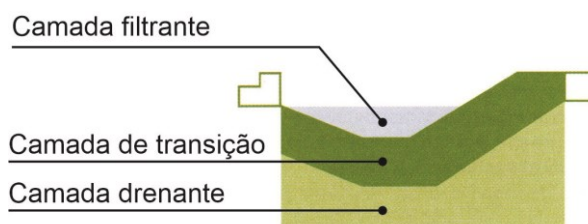


Fonte: Folha, 2022.

2.2.3.4 Vala de biorretenção, biovaleta ou vala de infiltração

Indicadas para lidar com fluxos leves a moderados de escoamento, as valas de biorretenção, representadas esquematicamente na figura 18, são depressões rasas vegetadas, com fundo plano (com no mínimo 30 cm de largura) e os lados inclinados, que permitem o escoamento superficial e a remoção de poluentes. Sendo uma construção menos dispendiosa do que os canteiros construídos, são projetadas para capturar, tratar e infiltrar o escoamento de águas pluviais (NACTO, 2017).

Figura 18 - Representação esquemática de vala de biorretenção



Fonte: Adaptado pela autora com base em Nacto, 2017.

Quando há espaço disponível e declividade favorável, é alternativa à drenagem canalizada, retardando o fluxo de água e retraindo sedimentos. É uma solução mais aplicável em contextos de menor tráfego ou densidade por necessitar de uma área relativamente grande para implementação e por proporcionar pouco, ou nenhuma separação vertical entre o leito carroçável e a calçada (FIGURA 19), sendo boa medida para vias locais, coletoras ou peatonais, além de ruas principais de bairro e ruas residenciais (FIGURA 20). São normalmente aplicadas em áreas com mais espaço disponível para sua instalação (FIGURA 21) dentro da faixa de plantio ou no meio-fio ao longo da rua. Canteiros centrais, rotatórias ou outras áreas de passagem não utilizadas são bons espaços para implementação dessa estratégia (NACTO, 2017).

Figura 19 - Valeta de biorretenção na faixa de mobiliário urbano



Fonte: Nacto, 2017.

Figura 20 - Vala de biorretenção em Portland



Fonte: Lancaster, 2024.

Figura 21 - Vala de biorretenção em via com declividade

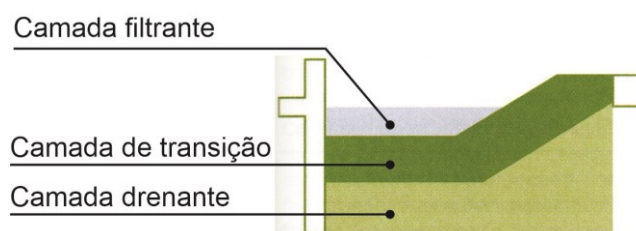


Fonte: Nacto, 2017.

2.2.3.5 Canteiro híbrido de biorretenção

Esquemáticamente representado na figura 22, canteiros híbridos de biorretenção são células que combinam as soluções de canteiro e vala de biorretenção apresentando um lado murado e uma lateral inclinada que aumenta tanto o espaço vegetado como a área de infiltração (NACTO, 2017).

Figura 22 - Representação esquemática de canteiro híbrido de biorretenção



Fonte: Adaptado pela autora com base em Nacto, 2017.

Sendo uma solução híbrida é indicada para contextos de baixa a moderada densidade e baixo tráfego; pode ser implementada em vias locais, coletoras ou peatonais, ruas principais de bairro e ruas residenciais. São normalmente construídos na faixa de plantio, assim como as valas de biorretenção, tornando-se opção quando não há espaço largo o suficiente para receber as suas laterais rampadas (FIGURA 23) (NACTO, 2017).

Figura 23 - Canteiro híbrido de biorretenção



Fonte: Nacto, 2017.

2.3 Aplicação de estratégias de gestão sustentável de águas urbanas em ruas

Diante dos esclarecimentos trazidos anteriormente, este item apresenta iniciativas onde a gestão sustentável das águas urbanas foi adotada como um dos princípios

norteadores para a mudança de paradigma almejada por tantas localidades, onde as funções da natureza passam a exercer um papel de colaboração ao enfrentamento das dificuldades que afligem as cidades ao invés de serem reconhecidas como parte do problema.

Foi nesse contexto de conciliação com a natureza que surgiu o Programa “Ruas Verdes” (*Green Streets*) em Portland, nos EUA, para controle de inundações (PORTLAND, c2024). Com uma abrangência significativa, o Programa iniciado como piloto em 2003, baseia-se, desde 2005, na multiplicação de áreas verdes pelo ambiente urbano com o foco em diminuir o impacto no sistema de esgoto causado pela excessiva quantidade de água recebida durante os períodos de chuva.

O Programa implementado pelo Escritório de Serviço Ambiental de Portland (*Portland Bureau of Environmental Services*) consiste basicamente em inserir áreas paisagísticas entre as ruas e as calçadas, na forma de jardins de chuva ou biovaletas (FIGURA 24), que usam plantas e solo para retardar, filtrar e limpar as águas pluviais antes de direcioná-las para o sistema de esgoto (PORTLAND, c2024).

Figura 24 - Biovaleta em rua de Portland



Fonte: Portland, c2024.

A escolha dos locais que se tornarão Ruas Verdes se dá a partir da necessidade em reduzir o escoamento de águas pluviais para o sistema de esgoto, além de proteger a qualidade da água em corpos d'água próximos e resguardar propriedades de refluxos de esgoto. Para tanto, considera-se a largura das faixas de plantio e porte das árvores existentes, além da existência de serviços subterrâneos e dos impactos em áreas de estacionamento (PORTLAND, c2024).

Destaca-se, no entanto, que quando há demanda para a implantação de uma Rua Verde, mas não se tem a presença de faixa de plantio, pode ocorrer a remoção de vagas de estacionamento, através de negociação com os proprietários de imóveis adjacentes, para que o meio-fio seja estendido abrindo espaço para a construção das áreas vegetadas (PORTLAND, c2024), como pode ser observado na figura 25.

Figura 25 - Jardins de chuva instalados em extensões do meio-fio da Rua Verde NE Siskiyou



Fonte: ASLA, c2017.

E, comprovando-se os benefícios dessas intervenções, de acordo com a *City Parks Alliance* (Aliança de Parques Municipais) de Washington (CITY PARKS ALLIANCE, c2024), as Ruas Verdes promovem redução dos picos de drenagem em taxas que variam de 80% a 94%, além de reduzirem os sólidos suspensos totais em 90%, os poluentes orgânicos/óleos em 90% e os metais pesados em mais de 90%.

Com enfoque semelhante ao adotado em Portland, foi criado na Filadélfia o “Cidade Verde, Águas Limpas” (*Green City, Clean Waters*), um plano de 25 anos que tem a intenção de promover a redução do volume de águas pluviais que vão para o sistema de esgoto a partir da aplicação de medidas de infraestrutura verde (FIGURA 26) (PHILADELPHIA, c2024). A iniciativa estruturada para ajudar a cidade a atender aos padrões estaduais e federais de qualidade da água, também foi idealizada para educar, envolver e inspirar os moradores da Filadélfia em relação à sustentabilidade.

Figura 26 - Biovaleta que recebe as águas pluviais da rua que são direcionadas para a calçada



Fonte: Philadelphia, c2024.

Iniciado em 2011, o plano já instalou mais de 2.800 instrumentos verdes em aproximadamente 800 locais da cidade e manteve mais de 2,7 milhões de galões de águas poluídas fora dos seus cursos d'água (PHILADELPHIA, c2024). E, além de promover benefícios ambientais através da colaboração para redução do dióxido de carbono, oferta de sombra para a população e suporte à biodiversidade, houve a criação de empregos locais e valorização dos imóveis nas localidades que receberam as intervenções, indicando benefícios econômicos vinculados ao plano proposto. Olhando para o terceiro pilar da sustentabilidade, os benefícios sociais agregados

relacionam-se à oferta de melhores locais para caminhadas e atividades ao ar livre, colaboração da comunidade e promoção da equidade social (PHILADELPHIA, c2024).

Já o Programa *Grey to Green*, concebido pelo *Sheffield City Council*, no Reino Unido, surgiu como uma estratégia de desenvolvimento ambiental e econômico. Partindo da necessidade em reconectar partes da cidade de Sheffield e responder ao impacto causado por enchentes que ocorreram no passado, foi proposto um sistema de drenagem em uma via de tráfego considerada como supérflua (FIGURA 27), promovendo conexão de parte da cidade com seus cursos d'água ao devolver as águas pluviais aos rios (SHEFFIELD, 2021).

Figura 27 - Sistema de drenagem sustentável implantado em via de tráfego subutilizada em Sheffield



Fonte: Sheffield, 2021.

De acordo com o *Sheffield City Council*, a essência para a construção de uma cidade sustentável e próspera está na colaboração. No caso do Programa *Grey to Green*, houve a união dos esforços da municipalidade, das universidades, das empresas e das comunidades locais (SHEFFIELD, 2021).

Sendo considerado o maior projeto de sistema de drenagem sustentável do Reino Unido, o *Grey to Green* teve seu início de implementação em 2016 e apresenta áreas vegetadas (FIGURA 28) compostas por jardins de chuva e biovaletas que capturam as águas pluviais que, por sua vez, são lentamente filtradas e liberadas para o sistema de esgoto que as direciona para os cursos d'água (DUNNETT, c2024).

Figura 28 - Biovaletas instaladas em extensão de declive da via em Sheffield



Fonte: Dunnett, c2024.

Outra localidade que se destaca pela aplicação de medidas de gestão sustentável de águas é a Região Metropolitana de Adelaide, ao sul da Austrália. Tendo o conceito do Desenho Urbano sensível à água (*Water Sensitive Urban Design – WSUD*) como direcionador das iniciativas, é possível encontrar ações desenvolvidas nas várias escalas urbanas, o que promove a existência de um sistema diverso, mas articulado (WSSA, c2024).

Considerando-se, porém, o olhar específico para a drenagem de águas pluviais em ruas, apresentam-se alguns exemplos de aplicação.

Sendo composto por doze trechos de jardins de chuva, o primeiro desses exemplos aqui expostos é a *Pollock Avenue* (FIGURA 29). Tais jardins caracterizam-se como fossos de árvores que recebem o escoamento de águas pluviais, tratam por meio de filtragem e absorção biológica de nutrientes (WSSA, c2024).

Figura 29 - Um dos jardins de chuva instalados na Pollock Avenue, na Região Metropolitana de Adelaide



Fonte: WSSA, c2024.

Outro exemplo são os poços de árvores (FIGURA 30), ou como denominado neste trabalho, as árvores para águas pluviais. Locadas em mais de 100 pontos da cidade de Adelaide, essas instalações recebem as águas das chuvas que são desviadas do meio-fio e da sarjeta possibilitando a infiltração no solo, promovendo redução nos picos de vazão de águas pluviais e manutenção da saúde das árvores.

Figura 30 - Poço de árvore em Adelaide



Fonte: WSSA, c2024.

Mais um exemplo desenvolvido na Região Metropolitana de Adelaide, na cidade de Unley, é o projeto paisagístico da *Randolph Avenue*. Nesse projeto houve a incorporação de canteiros de jardins de chuva e poços de infiltração ao longo da via (FIGURA 31) como forma de demonstrar iniciativas que podem ocorrer em ruas para melhorar a qualidade da água urbana e das águas costeiras de Adelaide.

Figura 31 - Canteiros com jardins de chuva na *Randolph Avenue*



Fonte: WSSA, c2024.

E, por fim, o projeto de jardim de chuva da *Florence Street*, também em Unley, incorpora três jardins de chuva (FIGURA 32) ao longo de 200 metros da via.

Figura 32 - Jardim de chuva na *Florence Street*, em Unley



Fonte: WSSA, c2024.

Interessante destacar que a escolha pelo local de implementação desses equipamentos paisagísticos ocorreu não apenas pelos problemas de inundação na área, mas por trata-se de uma rua com considerável circulação de pedestres e motoristas. Essa movimentação foi encarada como oportunidade para envolver e educar o público tanto sobre a qualidade das águas pluviais, como sobre biodiversidade (FIGURA 33).

Figura 33 - Informação educativa exposta no jardim de chuva



Fonte: WSSA, c2024.

No Brasil, embora existam iniciativas de implementação de estratégias de drenagem sustentável de águas pluviais em vias urbanas, as ocorrências são pontuais e não estão envolvidas ou contidas em abordagens sistêmicas, que consideram a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, e planos estratégicos de ação para a melhoria das condições das cidades.

Enfim, o que se observa nas iniciativas apresentadas é a importante relação criada entre instituições governamentais e sociedade para a construção de um novo modelo de ambiente urbano.

3 MODELAGEM PARAMÉTRICA

A modelagem paramétrica é um método computacional que consiste, basicamente, em relacionar elementos (objetos e sistemas) a partir de suas características (ou

atributos) que podem ser mensuráveis ou não. Através das variações possíveis entre essas relações, o modelo é construído ou modificado.

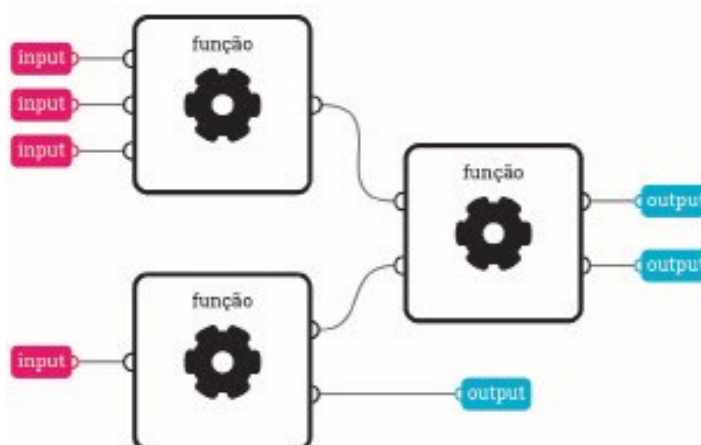
Aplicado ao projeto, a modelagem paramétrica pode ser definida como “um meio para gerar formas diversas e configurações de projeto a partir da mudança dos parâmetros de entrada daquele modelo” (TALEB; MUSLEH, 2015, p. 236).

Considera-se, então que o ponto-chave da modelagem paramétrica seja identificar os atributos exatos que impactam na performance do que se deseja analisar (JIA *et al.*, 2020).

No presente trabalho, a metodologia utilizada para a definição dos atributos a serem considerados na modelagem paramétrica proposta é o Pensamento Computacional. A partir de tal método, estruturas lógicas dos problemas que se pretende solucionar são identificadas podendo, assim, serem representadas por ferramentas computacionais, como o *Rhinoceros*, escolhido para o desenvolvimento desta pesquisa.

De acordo com Moura *et al.* (2018), esse *software* de modelagem, do tipo *Computer-Aided Design* (CAD), é capaz de lidar com muitos formatos de arquivo, o que facilita a importação de dados primários sobre o território onde se pretende trabalhar. Já o seu *plugin* de modelagem algorítmica, o *Grasshopper*, possibilita a construção de algoritmos “através de uma linguagem de sintaxe visual, na qual as funções são representadas por pequenas caixas e os vínculos de informação por linhas” (MOURA *et al.*, p. 12), como exemplificado na figura 34.

Figura 34 – Diagrama representando o esquema de funcionamento de uma sintaxe de linguagem de programação



Fonte: Moura *et al.*, 2018.

Acredita-se que a utilização da modelagem paramétrica para avaliação de possibilidades de implementação de estratégias sustentáveis de drenagem urbana em ruas possa promover resultados interessantes quanto à visualização, e consequente reflexão sobre a temática proposta, aos usuários do algoritmo desenvolvido.

A seguir, apresentam-se outras propostas desenvolvidas para o ambiente urbano nas quais a modelagem paramétrica foi utilizada como método para se alcançar os objetivos pretendidos.

3.1 Modelagem paramétrica aplicada no ambiente urbano

Embora o termo “modelagem paramétrica” nos remeta a formas desafiadoras e construções mirabolantes, seu conceito se relaciona a grandes possibilidades de análises e busca por soluções ótimas ao permitir que múltiplos fatores presentes em um ambiente possam ter suas interfaces representadas em um modelo de forma dinâmica para auxiliar nas tomadas de decisões. E isso pode ocorrer tanto na escala de um mobiliário, como na de um edifício ou mesmo na da cidade.

Segundo Taleb e Mesleh (2015, p. 236, tradução nossa),

Os benefícios que arquitetos e projetistas podem ter ao adotar metodologias como o projeto paramétrico é um aprimoramento do processo de projeto para lidar com a exigente crise global de energia e recursos que enfrentamos atualmente.

O trabalho apresentado por Taleb e Mesleh (2015) propõe uma investigação sobre o potencial de aplicação de processos de otimização de projetos paramétricos em processos convencionais de projetos urbanos com a intenção de gerar um desenho urbano mais sustentável a partir da computação (MENGES; AHLQUIST, 2011) ao permitir que a máquina exerça um papel mais ativo no processo de projetar.

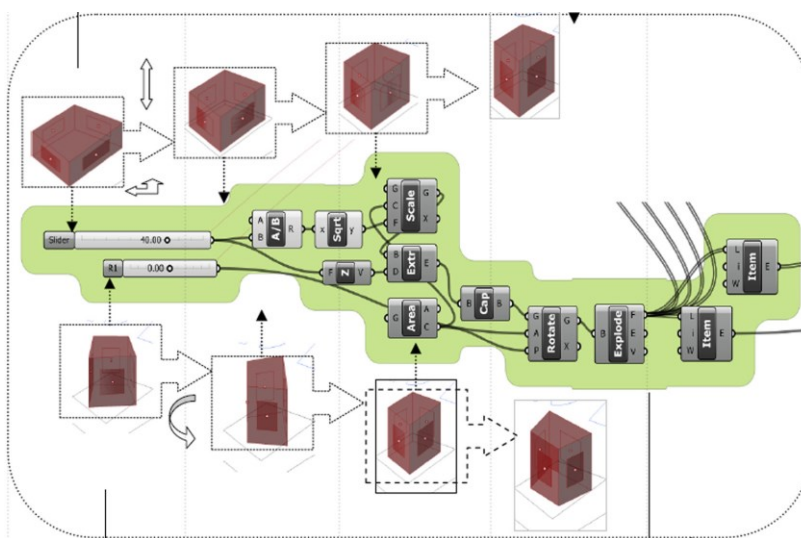
A base da modelo foi desenvolvida no *Rhinoceros* com o auxílio do seu *plugin* de modelagem algorítmica, o *Grasshopper* que, segundo Taleb e Mesleh (2015, p. 238, tradução nossa), “[.] é uma interface visual amigável que permite a criação de projeto algorítmico na forma de fluxograma com retorno em tempo real a partir da mudança de parâmetros.”

No entanto, diferentemente do presente trabalho, o foco de Taleb e Mesleh (2015) é a ventilação urbana, com especial interesse em cidades densas com verões muito quentes.

Portanto, além das ferramentas já citadas, os autores fazem uso do ANSYS CFX, um *software* de Fluido Dinâmica Computacional (CFD) extensamente utilizado, segundo Taleb e Musleh (2015), para avaliação de conforto externo e ventilação urbana.

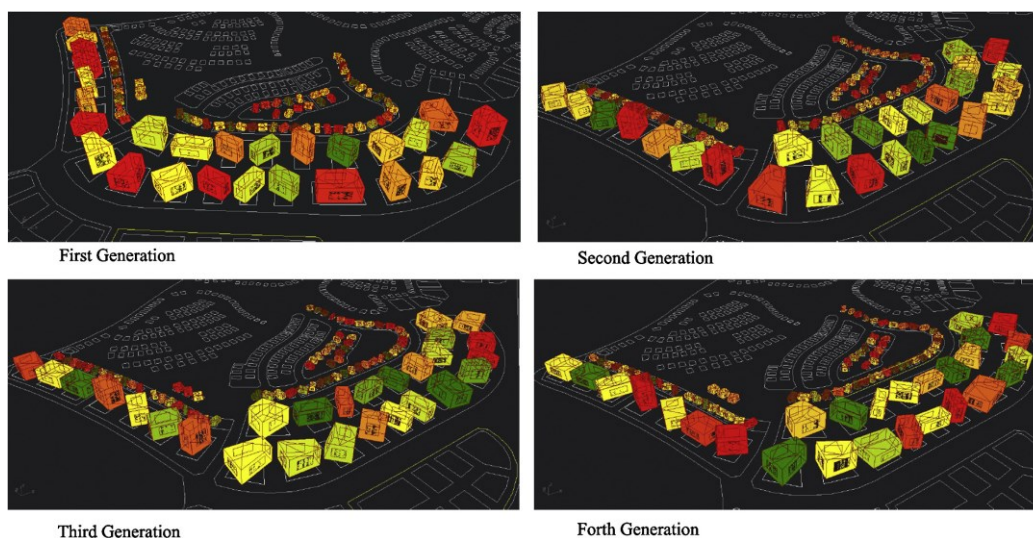
A modelagem proposta por eles busca encontrar o melhor arranjo urbano diante do clima dos Emirados Árabes. A partir da simulação estuda-se tanto a volumetria dos edifícios (FIGURA 35) como o seu posicionamento na malha urbana (FIGURA 36) e, com o uso da CFD, faz-se a análise da velocidade do vento nos arranjos urbanos propostos. Todas essas variações são trabalhadas no algoritmo e visualizadas no modelo.

Figura 35 - Processo de simulação da volumetria dos edifícios no Grasshopper



Fonte: Taleb e Musleh, 2015.

Figura 36 – Visualização da volumetria e arranjo urbano dos edifícios



Fonte: Taleb e Musleh, 2015.

Diante do experimento proposto, os autores concluem que para um urbanista a análise prática está diretamente relacionada a possibilidade de poder prever o comportamento de um projeto, além de proporcionar um “bom indicador de quão sustentáveis são os melhores arranjos, orientações, alturas e compactação urbana do projeto conceitual e leva o projeto daí para outras melhorias e desenvolvimentos” (TALEB; MUSLEH, 2015, p. 245, tradução nossa).

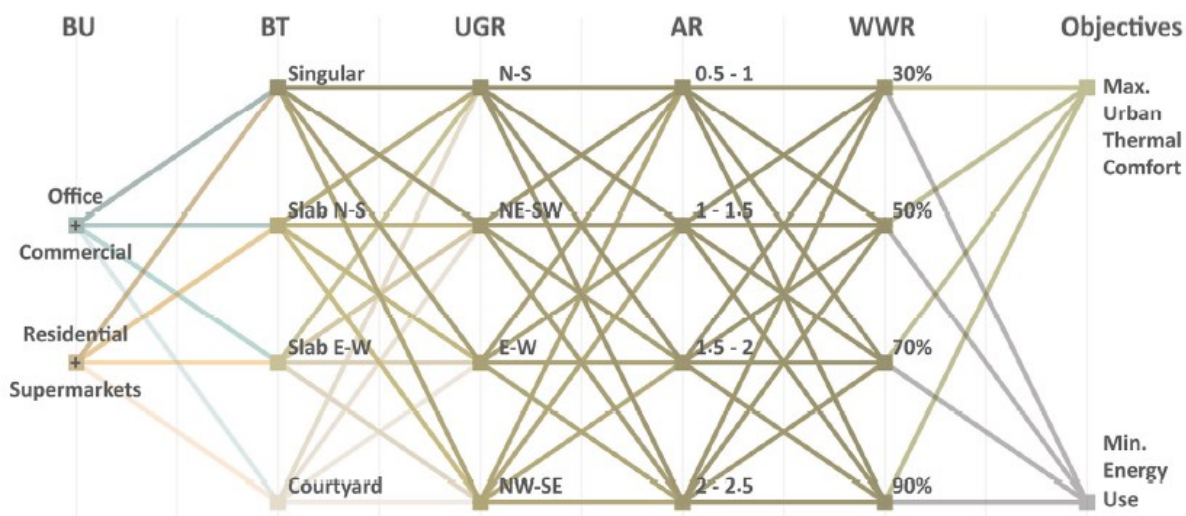
Ainda segundo os autores, as limitações mais comuns neste sistema são as do projetista quando, por exemplo, se negligencia uma entrada ou saída importante que possa afetar o desempenho do projeto, impactando a construção do processo de otimização, ou limitações de capacidade de processamento de um computador.

Abdollahzadeh e Bioria (2022) apresentam outro problema no contexto urbano com proposta de análise também a partir da utilização do *Rhinoceros* e do *Grasshopper*. Os autores abordam a relação das decisões de projetos de edifícios com o conforto térmico externo gerado, bem como com a possível demanda energética interna ocasionada por essas decisões. Assim, o objetivo da pesquisa é apresentar uma metodologia multiobjetivo orientada ao desempenho para investigar os impactos dos parâmetros de projeto, simultaneamente, no conforto térmico externo e no consumo de energia de edifícios.

A estratégia utilizada para a resolução de problemas é a multi-otimização, buscando-se encontrar a configuração ideal para um ambiente energeticamente eficiente e termicamente confortável. Assim, diferentes fatores de projeto são otimizados com base nos parâmetros ambientais de microclima urbano e uso de energia de edifícios.

A figura 37 ilustra os arranjos possíveis entre os parâmetros de projeto e os objetivos desejados. A análise começa na escolha do uso do edifício (BU – *Building Use*) que, no caso do estudo, poderia ser de serviços e comercial ou residencial e de supermercado. A partir dessa escolha, as conexões são feitas com a tipologia do edifício (BT – *Building Typology*), com a rotação da malha urbana (UGR – *Urban Grid Rotation*), com a relação entre altura dos prédios e largura das ruas (AR – *Aspect Ratio*) e com a razão janela/parede (WWR – *Window to Wall Ratio*), chegando aos dois objetivos desejados: máximo conforto térmico urbano e mínimo uso de energia (ABDOLLAHZADEH; BILORIA, 2022).

Figura 37 - Conjunto de parâmetros de projeto e objetivos



Fonte: Abdollahzadeh e Biloría, 2022, p. 4.

Como parte do procedimento metodológico, os autores definem um quarteirão urbano como limite de análise, dentro do qual deverão aparecer as relações entre os parâmetros acima citados.

Os autores concluem que a metodologia empregada oferece soluções de projeto que atendem aos objetivos desejados ao mesmo tempo em que propõe diretrizes que podem ser usadas por projetistas em estágios iniciais de planejamento.

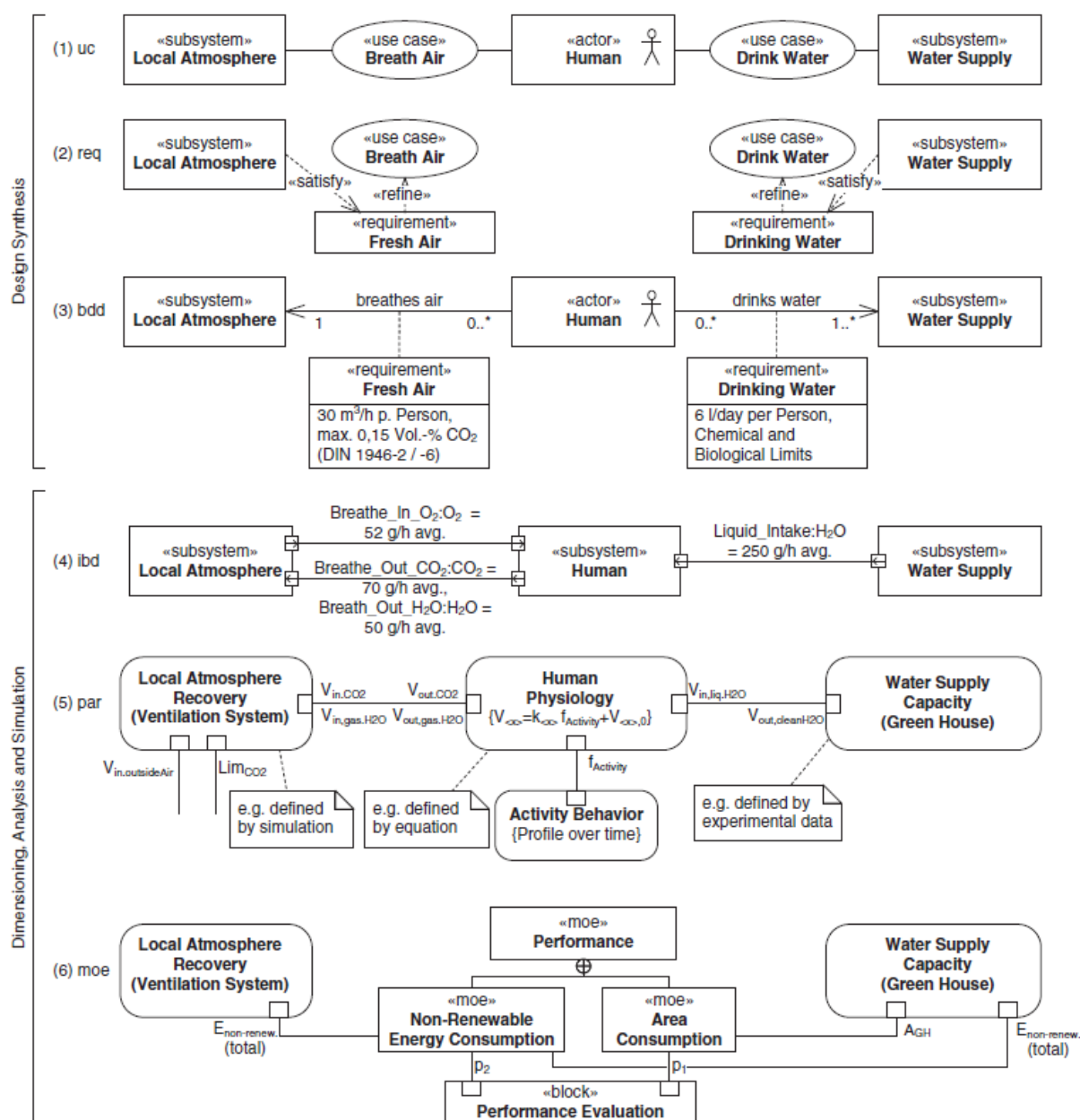
Assim como Abdollahzadeh e Biloría (2022), Geyer e Buchholz (2012) tratam das relações criadas entre fluxos de energia e recursos em edifícios e seu ambiente urbano.

No entanto, Geyer e Buchholz (2012) apresentam outra abordagem da modelagem paramétrica ao propor a Modelagem de Sistemas Paramétricos (*Parametric Systems Modeling* – PSM) a partir de uma metodologia baseada na Linguagem de Modelagem de Sistemas (*Systems Modeling Language* – SysML).

O trabalho desenvolvido por esses autores tem como objetivo explorar soluções sustentáveis inovadoras de projeto no nível de sistemas. Eles defendem que a prática de desenvolvimento de projetos baseada apenas na geometria do edifício resulta em decisões que não consideram a interdependência dos sistemas que compõe o espaço urbano e que, portanto, a modelagem de sistemas pode agir de forma complementar aos métodos que consideram apenas a geometria.

Para tanto, os autores propõem uma organização da relação entre os sistemas a partir de diagramas que representam a interação entre suas partes e entre eles. A figura 38 ilustra a abordagem de modelagem e análise de sistemas orientada ao projeto adotada na pesquisa de Geyer e Buchholz (2012), através de um sistema simples de abastecimento de água e ar.

Figura 38 - Diagrama ilustrando a abordagem de modelagem e análise de sistemas orientada ao projeto



Fonte: Geyer e Buchholz 2012, p. 73.

Os primeiros três diagramas representam visões orientadas ao projeto, servindo para registrar o raciocínio de projeto no processo de síntese do sistema; os outros três

diagramas representam visões direcionadas à análise do projeto, incluindo seu desempenho.

Em resumo, os seis tipos de diagrama fornecem uma estrutura para modelar sistemas paramétricos de maneira orientada ao projeto. Em contraste com as abordagens convencionais de modelagem de sistemas, essa organização não parte de uma determinada estrutura de sistema, mas se baseia no uso e nos requisitos impostos ao projeto. Portanto, ele apoia o desenvolvimento do sistema desde as fases iniciais do projeto (GEYER; BUCHHOLZ, 2022, p. 74, tradução nossa).

Segundo os autores, a importância da visão orientada ao projeto retratada pelos diagramas reside na representatividade do raciocínio usual de projeto. Além disso, a partir da aplicação do método proposto a um exemplo exposto no texto dos autores, os mesmos concluem que a Modelagem de Sistemas Paramétricos pode servir como ferramenta para modelar soluções inovadoras ao considerar-se as propriedades não geométricas do sistema (GEYER; BUCHHOLZ, 2012).

Já o trabalho apresentado por Jia e Zhang (2020) é de especial interesse para a presente pesquisa por tratar da relação entre a gestão sustentável de águas pluviais e o bem estar humano representado, mais especificamente, pelas interações recreativas possíveis em espaços verdes. Os autores argumentam que, ao se propor uma medida de gestão sustentável de águas urbanas em espaços verdes, desconsidera-se a função recreativa daquela área que, muitas vezes, passa a ser inacessível para as pessoas.

Eles partem de uma revisão bibliográfica sobre as principais medidas sustentáveis de gestão de águas pluviais buscando encontrar o que eles chamam de “relação negligenciada, mas importante, entre a organização espacial e a gestão das águas das chuvas” (JIA; ZHANG, 2020, p. 79, tradução nossa).

Outra análise interessante trazida pelos autores diz respeito à orientação para escolha de medidas de gestão sustentável de águas pluviais, inclusive em manuais técnicos, quando se considera a função urbana específica de onde a estratégia será implantada e não o padrão de espaço urbano, o que interfere diretamente na escala da intervenção que pode ser proposta para atender à determinada demanda.

Jia e Zhang (2020) defendem a ideia de que o padrão de espaço urbano deve se sobrepor à função urbana no momento de análise para definição de medidas a serem adotadas. A título de exemplo, os autores citam a forma de uma valeta vegetada que, sendo uma faixa, seria adequada para um espaço urbano com padrão linear, como

uma rua. Por outro lado, pântanos construídos exigem uma área de grande escala, ou seja, não são adequados para serem implantados em vias lineares e necessitam, portanto, estar combinados com equipamentos com funções urbanas de grande escala, como parques urbanos.

A investigação dos autores continua ao procurarem identificar o fator-chave do espaço verde capaz de promover o bem-estar humano.

Para tanto, Jia e Zhang (2020) propõem o desenvolvimento de uma modelagem paramétrica que explicita a relação proposta na sua investigação. Por outro lado, expõem o desafio de encontrar uma plataforma que simule, ao mesmo tempo, o comportamento dinâmico das águas pluviais e da movimentação humana ao questionarem o fato de os projetos de gestão de águas pluviais urbanas serem, majoritariamente, desenvolvidos por profissionais da engenharia hídrica e guiados por modelos hidrológicos (SWMM, MOUSE, MUSIC, MIKE URBAN). O cenário que se apresenta, então, é de simulações em uma dimensão, não sendo possível se obter a expressão visual do espaço, gerando “limitações em testar a influência cruzada entre gerenciamento de água de chuva e espaço e integração com outras disciplinas” (JIA; ZHANG, 2020, p. 81, tradução nossa).

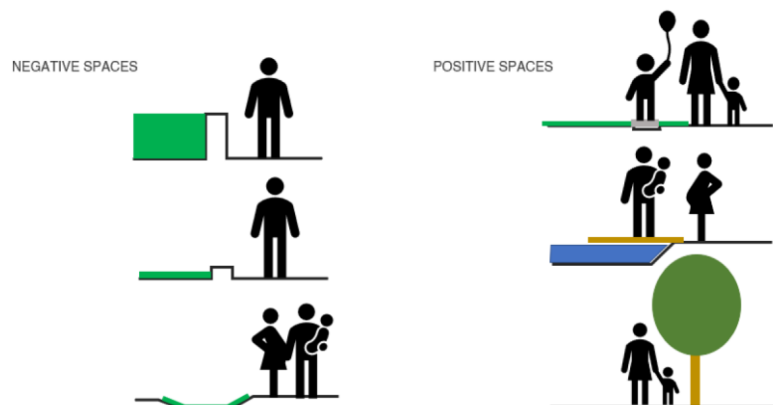
Para os autores, o ponto-chave é a identificação exata dos atributos que impactam na relação entre a gestão das águas pluviais e a atividade humana.

Para fazer face aos desafios propostos, Jia e Zhang (2020) apresentam a modelagem paramétrica desenvolvida no *Grasshopper*. Tal escolha se dá pelo fato de os autores considerarem que essa ferramenta é capaz de fornecer um ambiente espacial paramétrico que pode “simular todo o processo de movimento de escoamento no solo com impacto no local, bem como o movimento humano” simultaneamente (JIA; ZHANG, 2020, p. 84, tradução nossa).

Os autores ponderam ainda sobre a possibilidade de categorização do espaço oferecida pela análise espacial paramétrica. Nesse sentido, há o suporte para que o complexo ambiente espacial seja simplificado e representado em um modelo 3D.

Por exemplo, através da identificação das bordas dos parâmetros no modelo espacial, analisa-se se há uma relação interativa entre o espaço usado pelas pessoas e a área verde funcional, de modo a classificar os espaços positivos e negativos (JIA; ZHANG, 2020, p. 84, tradução nossa) (FIGURA 30).

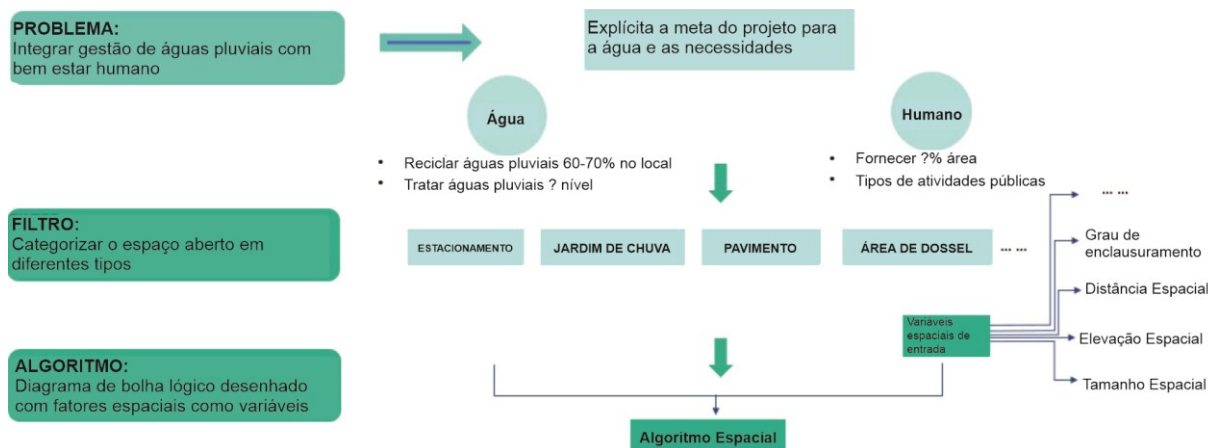
Figura 39 – Diagrama esquemático de classificação espacial



Fonte: Jia e Zhang, 2020, p. 84.

Para Jia e Zhang (2020), um dos benefícios da plataforma oferecida pelo *Grasshopper* está no fato de haver a possibilidade de visualização da saída de análise e do resultado de projeto em tempo real, permitindo que haja integração entre a análise espacial, o projeto e a simulação em um mesmo sistema, representado pelo diagrama esquemático na figura 40.

Figura 40 - Diagrama esquemático do fluxo de trabalho de integração de águas pluviais e bem-estar humano em um modelo paramétrico



Fonte: Adaptado pela autora, com base em Jia e Zhang, 2020, p. 85.

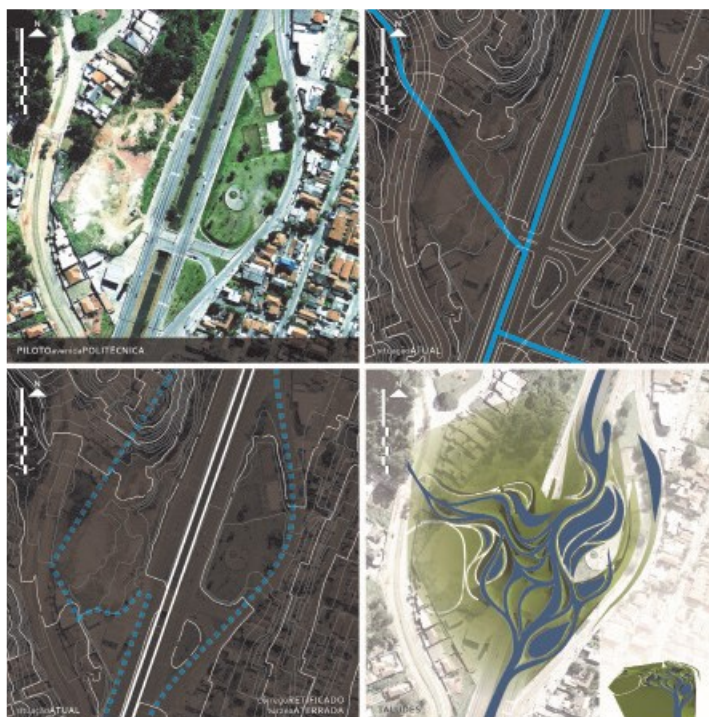
Por fim, os autores concluem que a grande vantagem do modelo espacial paramétrico 3D é poder “transferir os requisitos e limitações no espaço, a partir de diferentes disciplinas, em certas métricas espaciais referenciando suas teorias” (JIA; ZHANG, 2020, p. 84, tradução nossa). E, mais uma vez, por tratar-se de uma simplificação do complexo ambiente real, o modelo torna-se útil para apoiar os projetos em seus estágios iniciais, assim como defendem Abdollahzadeh e Bioria (2022) e Geyer e Buchholz (2012).

Tratando também das questões das águas urbanas, Moura *et al.* (2018) propõem um método para enfrentamento a partir de estratégias de infraestrutura verde.

Essas estratégias de infraestrutura verde têm se apresentado como uma resposta aos desafios das metrópoles contemporâneas, propondo soluções multifuncionais para o problema das águas urbanas, atuando não só na diminuição dos efeitos dos alagamentos, mas tendo também efeito benéfico na qualidade dessas águas (MOURA *et al.*, 2018, p. 11).

O trabalho apresentado por Moura *et al.* (2018) trata especificamente da questão dos reservatórios de retenção, ou piscinões. A proposta dos autores é criar um modelo computacional paramétrico que, entre outras coisas, seja capaz de fornecer uma resposta quanto à capacidade de reserva de água das formas geradas (FIGURA 41), pelo desenho proposto na própria modelagem, como alternativa aos tradicionais piscinões.

Figura 41 – Área de referência apresentada por Moura *et al.* e formas geradas pela modelagem para retenção de águas pluviais



Fonte: Moura *et al.*, 2018.

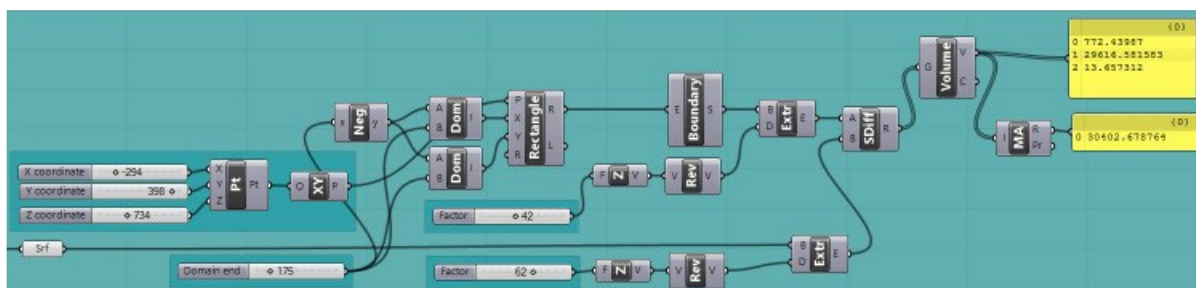
Enquanto a presente pesquisa propõe a utilização do Pensamento Computacional como parte do procedimento metodológico para enfrentar o problema que se deseja solucionar, Moura *et al.* (2018) utilizam a *Design Science Research* (DSR), que propõe que os problemas sejam organizados em classes. Ainda, segundo os autores, tal metodologia se assemelha ao tradicional pensamento tipológico por expor como condição fundamental o fato de o problema em questão dever “apresentar um grau de

similaridade razoável com os que o antecederam, de modo a não invalidar o conjunto de experiências passadas” (MOURA *et al.*, 2018, p. 12).

Para o desenvolvimento do sistema foi escolhida a mesma plataforma deste trabalho: o *Rhino* e seu plugin de modelagem algorítmica, o *Grasshopper*.

As figuras 42 e 43 representam, respectivamente, um trecho do algoritmo responsável pelo cálculo do volume de água retido na modelagem proposta e a intervenção do projetista a partir da proposição de um novo eixo de condução da água, com a possibilidade de análise do escoamento superficial e a demarcação das valas e morros gerados pelos meandros.

Figura 42 - Trecho do algoritmo responsável pelo cálculo do volume de retenção na geometria proposta



Fonte: Moura *et al.*, 2018.

Figura 43 - Intervenção do projetista



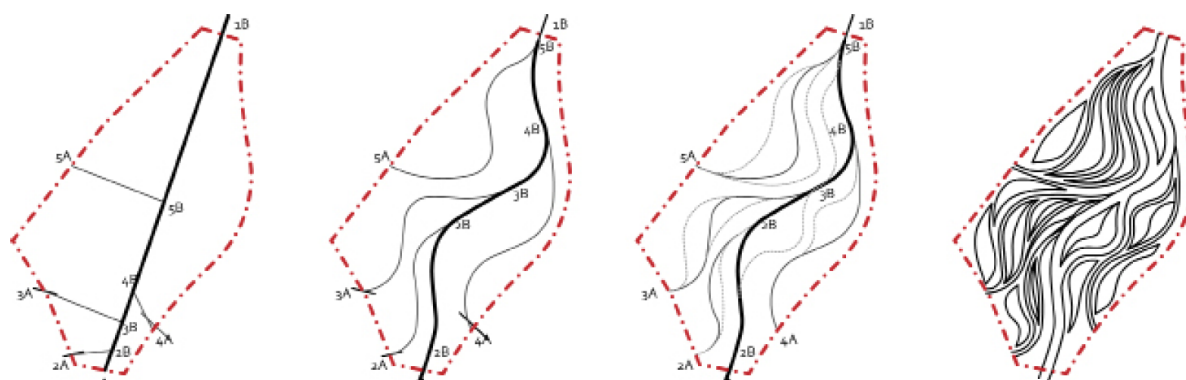
Fonte: Moura *et al.*, 2018.

Como premissa para o desenvolvimento da modelagem, foram esclarecidas quais as informações iniciais precisariam ser levantadas para a resolução do problema exposto. Define-se, então, os parâmetros, aquelas informações que são variáveis conforme cada situação. No caso apresentado, os parâmetros considerados foram: a poligonal 2D como delimitação da área de intervenção, as curvas de nível com vértices

em altura equivalente, os pontos de entrada e saída do sistema (segmentos de retas) e as cotas desses pontos.

É válido salientar que a definição de tais parâmetros faz parte de uma generalização proposta devido à complexidade das formas dos meandros geradas. Nesse processo foi realizada uma decomposição visando a restituição de padrões geométricos mais simples (FIGURA 44).

Figura 44 - Processo formal de simplificação e decomposição



Fonte: Moura *et al.*, 2018.

Então, a partir dos dados iniciais fornecidos, ou dados de entrada para a modelagem, os chamados *inputs*, o algoritmo gera a superfície topográfica utilizada para análise do escoamento superficial e declividade, atendendo ao objetivo de identificar pontos de interesse para o processo de projeto através de uma linguagem amigável.

Os autores concluem que a metodologia proposta atende ao desafio de calcular o volume armazenado nas formas geradas pela modelagem e ressaltam que a aplicação do “modelo algorítmico objetiva as etapas iniciais de projeto, quando estimativas céleres de armazenamento auxiliam diretamente a concepção” (MOURA *et al.*, 2018, p. 14).

A aplicação do método proposto se encaixa no desenvolvimento das fases iniciais de projeto pelo baixo grau de autonomia que esse tipo de algoritmo proporciona, como esclarecido por Moura *et al.* (2018). Segundo os autores, quanto maior a necessidade de interação humana na aplicação operacional do algoritmo, menor será seu grau de autonomia.

É de especial interesse notar que em todos os trabalhos aqui analisados, a aplicação da modelagem paramétrica beneficia a fase conceitual do processo de projetar,

ratificando a intenção do trabalho desenvolvido nesta pesquisa que propõe a criação de um algoritmo que possa ser aplicado em nível de Estudo Preliminar.

Por fim, diante das experiências expostas, entendeu-se que a modelagem paramétrica se apresenta como um método adequado para lidar com a questão da drenagem urbana.

4 METODOLOGIA

A metodologia apresentada nesta pesquisa resultou na construção de um algoritmo que dá suporte ao desenho de vias públicas urbanas contribuindo para a melhoria das condições de drenagem dos sistemas já existentes, a partir de recomendações para a aplicação de estratégias sustentáveis de gestão de águas pluviais com o objetivo de aliviar a pressão recebida em períodos de chuvas e promovendo, assim, melhor qualidade de vida e bem estar humano nos ambientes das cidades.

Para tanto, como forma de criar um repertório para sustentar as recomendações geradas pelo algoritmo, o reconhecimento de quais objetos do sistema “rua” impactam na drenagem pareceu ser fundamental, assim como a compreensão sobre a relação entre esses elementos e as soluções sustentáveis para drenagem possíveis de serem implementadas em vias urbanas. Assim, como parte desse procedimento, adotou-se o Pensamento Computacional (CUNY; SNYDER; WING, 2010; SHUTE; SUN; ASBELL-CLARKE, 2017; VICARI; MOREIRA; MENEZES, 2018; WING, 2006) como estratégia para a compreensão de tais pontos.

Considerando-se, então, o conhecimento sobre o funcionamento da via urbana como fundamental para o início do processo, partiu-se para o estudo desse grande sistema na busca por visualizar as possíveis conexões existentes entre os seus elementos através de modelos conceituais desenvolvidos com auxílio da plataforma digital Miro.

Após essa etapa, o segundo passo foi dado referindo-se à compreensão sobre quais são as características das vias urbanas capazes de influenciar a escolha por estratégias sustentáveis de drenagem.

O desafio nessa fase passou a ser a identificação dos limites, ou bordas, do grande sistema a ser analisado, explicitando o alcance do olhar para o objeto estudado e caracterizando, de fato, esta pesquisa. Essa identificação tornou-se interessante ao ser a definidora do caminho trilhado, ou seja, determinando a rota algorítmica traçada

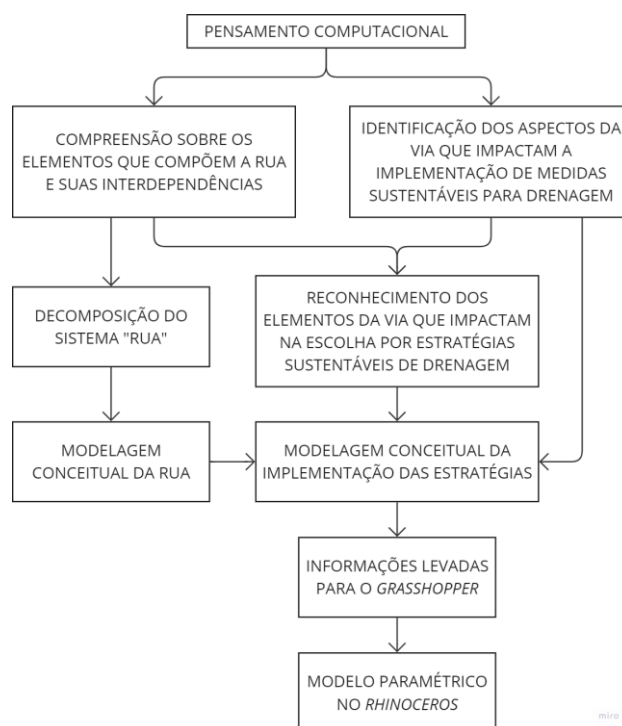
e delimitando o espaço da via contido em um quarteirão como área de ação do algoritmo.

Em seguida, concluiu-se outra etapa também com o auxílio do Miro. Com base no Guia Global de Desenho de Ruas (NACTO, 2018) e no *Urban Street Stormwater Guide* (NACTO, 2017), foram desenvolvidos modelos conceituais, mais uma vez ilustrados como diagramas, referentes a cada estratégia de drenagem sustentável, ou de infraestrutura verde, identificada como adequada para implementação em vias urbanas e que atendem às premissas tanto do Desenho Urbano sensível à água, como das Soluções baseadas na Natureza. Tais modelagens culminaram na indicação dos caminhos lógicos para implementação das medidas em ruas.

Assim, como uma síntese de todas as informações colhidas e reunindo os resultados obtidos nas modelagens conceituais, tornou-se possível realizar a proposta para o algoritmo.

Por fim, como ilustrado no fluxograma representativo da metodologia aplicada (FIGURA 45), as informações obtidas foram levadas para o *Grasshopper*, um *plugin* do *software* de modelagem *Rhinceros*, que permite a criação do que se pode chamar de “receitas de projetos”, descrevendo o passo a passo para a modelagem desejada.

Figura 45 - Fluxograma da metodologia aplicada para desenvolvimento do algoritmo



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

4.1 Pensamento Computacional

O Pensamento Computacional é uma metodologia que pode ser utilizada para resolução algorítmica de problemas complexos. Sendo composto pelas etapas apresentadas no quadro 6, sua aplicação permite que se aprenda a identificar as interações entre partes, ou estruturas existentes entre sistemas e objetos.

Quadro 6 - Etapas do Pensamento Computacional

Etapas do Pensamento Computacional	Descrição	Aplicação no trabalho
Decomposição	Desmembrar um problema ou sistema complexo em partes gerenciáveis, sendo que as partes menores não são peças aleatórias, mas elementos funcionais que compõem coletivamente todo o problema.	Decomposição do sistema "rua" em objetos que se relacionam
Abstração	Extrai a essência de um sistema (complexo) e se divide em três subcategorias: a. Coleta e análise de dados: coleta informações mais relevantes e importantes de várias fontes e entende as relações entre os conjuntos de dados multicamadas; b. Reconhecimento de padrões: identifica padrões/ regras que estão por trás da estrutura de dados; c. Modelagem: constrói modelos ou simulações para representar como um sistema opera e/ou como funcionará no futuro.	Identificação dos aspectos da via que impactam a implementação de estratégias sustentáveis de drenagem; Modelagem conceitual do sistema "rua"
Algoritmos	Desenha instruções lógicas e ordenadas para fornecer uma solução para um problema e essas instruções podem ser executadas por um humano ou computador. Divide-se em quatro subcategorias: a. Projeto de algoritmo: cria uma série de passos ordenados para resolver um problema; b. Paralelismo: realiza um certo número de passos ao mesmo tempo; c. Eficiência: desenha o menor número de etapas para resolver um problema, removendo etapas redundantes e desnecessárias; d. Automação: automatiza e executa o procedimento quando necessário para resolver problemas semelhantes.	Modelagem conceitual da implementação das estratégias Transferência da modelagem conceitual para o <i>Grasshopper</i>
Apuração	Detecta e identifica erros e, em seguida, os corrige quando uma solução não funciona como deveria.	Teste do algoritmo a partir de aplicações práticas
Interação	Repete os processos de design para refinar as soluções até que o resultado ideal seja alcançado.	Reparação de possíveis inadequações
Generalização	Transfere as habilidades de Pensamento Computacional para uma ampla gama de situações/ domínios para resolver problemas de maneira eficaz e eficiente.	Aplicação do modelo construído

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Nota: Informações obtidas em Shute, Sun e Asbell-Clarke, 2017, p. 153.

Deve-se esclarecer que as etapas de apuração, interação e generalização não foram aplicadas nesta pesquisa que, portanto, conclui-se com a etapa de algoritmos.

4.2 A rua

Dentre as diversas estruturas que compõem o ambiente urbano, a rua deve ser considerada para além do seu papel exercido na mobilidade. Mesmo levando-se em conta os diferentes contextos e culturas, sob a perspectiva do pedestre, as vias urbanas têm a função de promover não apenas a circulação de veículos, mercadorias e pessoas, mas, também, de estar, de contemplação, de lazer, de encontro, apresentando-se como importantes estruturas que interferem na qualidade de vida humana nas cidades (NACTO, 2018).

Ainda, de acordo com o Guia Global de Desenho de Ruas - GGDR (NACTO, 2018, p. 4), “uma rua é a unidade básica do espaço urbano por meio da qual as pessoas vivenciam a cidade” e, definida como um espaço público multifuncional, é muitas vezes erroneamente entendida como sendo apenas uma superfície por onde os automóveis transitam de um lado para o outro.

Já o Código de Trânsito Brasileiro - CTB (CTB, 1997, anexo I), define via como sendo a “superfície por onde transitam veículos, pessoas e animais, compreendendo a pista, a calçada, o acostamento, ilha e canteiro central”.

Diante de tais definições, buscou-se entendimento tanto sobre o funcionamento das vias urbanas, como sobre os elementos que as compõe, procurando-se explicitar as relações existentes entre eles.

Assim, o quadro 7 a seguir apresenta as definições das tipologias de ruas a partir do Guia Global de Ruas (NACTO, 2018).

Quadro 7 - Tipologias de ruas

(Continua)

Tipologias de ruas	Descrição	Subtipologias de ruas
Espaços prioritários de pedestres	Com importante papel na configuração das cidades, são espaços que incentivam a circulação de pessoas. Podem se caracterizar por instalações que convidam o estar ao ar livre, bem como por permitir o acesso a atividades comerciais em áreas com grande fluxo de tráfego a pé.	Ruas exclusivas de pedestres Vielas e becos Praças para pedestres

Quadro 7 – Tipologias de ruas

(Conclusão)

Tipologias de ruas	Descrição	Subtipologias de ruas
Ruas compartilhadas	São ambientes nos quais pedestres, ciclistas e veículos motorizados compartilham o mesmo espaço. No entanto, são locais onde as atividades a pé são priorizadas em relação à movimentação de veículos. Os meio-fios são removidos e não há demarcação de área específica para circulação de veículos. Em áreas comerciais, proporcionam vitalidade por permitir maior variedade de usos. Em áreas residenciais se apresentam como locais para encontros e fortalecimento de comunidades.	Ruas compartilhadas comerciais Ruas compartilhadas residenciais
Ruas de bairros	São os espaços das comunidades. Dão acesso a entrada de moradias, escolas, lojas, restaurantes, serviços e comércios locais. Ao mesmo tempo em que oferecem opções de mobilidade para conexão com outras partes da cidade, as ruas principais de bairro favorecem a chegada a essas atividades comerciais. As ruas residenciais se caracterizam por um tráfego de veículos mais calmo, realizado com velocidades mais baixas e convidando as pessoas a caminhar ou pedalar.	Ruas residenciais Ruas principais de bairro
Ruas grandes, avenidas e boulevares	As grandes vias desempenham um papel importante na circulação de pessoas entre bairros e na conexão com áreas centrais. Por normalmente serem ruas mais largas e com menos interrupções nos fluxos, apresentam condições para a criação de corredores multimodais. Podem acomodar uma variedade de atividades: comércio, espaço público de boa qualidade e ambientes sustentáveis. As ruas de transporte coletivo geralmente seguem eixos comerciais. As ruas grandes com transporte coletivo caracterizam-se por conectarem bairros entre si. As grandes avenidas são as mais amplas e rápidas vias das cidades e, normalmente, têm uma importância regional e não são integradas às suas localidades.	Ruas centrais de mão única Ruas centrais de mão dupla Ruas de transporte coletivo Ruas grandes com transporte coletivo Grandes avenidas

Fonte: Elaborado pela autora com base no Guia Global de Desenho de Ruas (NACTO, 2018), 2023.

Nota-se que as tipologias surgem concentradas em quatro grandes blocos que, por sua vez, são decompostos em subtipologias que se diferenciam pelos usos e atividades possíveis de serem desenvolvidas em cada uma delas. E, ao estabelecerem referências sobre os usos das vias, tais informações colaboram para a análise sobre as condições para implementação de medidas sustentáveis de drenagem urbana.

No entanto, apesar da relevância dessas nomenclaturas, observa-se que as mesmas não se adequam à realidade brasileira, visto que o CTB adota parâmetros diferentes para a diferenciação entre os tipos de via (CTB, 1997), a dizer:

- Via arterial: velocidade máxima de 60 km/h;
- Via coletora: velocidade máxima de 40 km/h;
- Via local: velocidade máxima de 30 km/h;
- Via peatonal: tráfego de pedestres.

Posto isso, estabeleceu-se que as nomenclaturas utilizadas no algoritmo construído são as adotadas pelo CTB, estando, porém, relacionadas aos tipos de uso trazidos pelo GGDR.

Sendo assim, o quadro 8 apresenta a relação estabelecida entre as nomenclaturas empregadas nesses dois documentos de referência:

Quadro 8 - Relação entre as tipologias de ruas do GGDR e do CTB

Tipologias de ruas GGDR	Subtipologias de ruas	Tipologias de ruas CBT			
		Arterial 60 km/h	Coletora 40 km/h	Local 30 km/h	Peatonal
Espaços Prioritários de pedestres	Ruas exclusivas de pedestres				•
	Vielas e becos				•
	Praças para pedestres				•
Ruas compartilhadas	Ruas compartilhadas comerciais			•	
	Ruas compartilhadas residenciais			•	
Ruas de bairro	Ruas residenciais			•	
	Ruas principais de bairro		•		
Ruas grandes, avenidas e boulevares	Ruas centrais de mão única		•		
	Ruas centrais de mão dupla		•		
	Ruas de transporte coletivo		•		
	Ruas grandes com transporte coletivo	•			
	Grandes avenidas	•			

Fonte: Elaborado pela autora com base no Guia Global de Desenho de Ruas (NACTO, 2018) e no Código Brasileiro de Trânsito (CTB, 1997), 2023.

Esclarecidas as terminologias utilizadas pelo algoritmo para as tipologias de vias, segue-se para o reconhecimento dos componentes que formam o sistema “rua”.

Para tanto, adotou-se a seguinte categorização para os objetos que, segundo esta pesquisa, compõem a via:

- **Sistema:** caracteriza o conjunto de componentes, incluindo as infraestruturas e atividades possíveis de serem nele desenvolvidas;
- **Estrutura básica** (componentes): identifica as partes que compõem determinado sistema;

- **Infraestrutura possível:** identifica serviços de infraestrutura possíveis de acontecer naquele sistema;
- **Atividade possível:** identifica as atividades relacionadas ao uso dos espaços que caracterizam o sistema;
- **Tipologia:** classifica o sistema a partir de algum parâmetro definido, no caso, tipos de uso e tráfego;
- **Borda:** define o limite do sistema analisado.

Sendo representadas graficamente, a figura 46 mostra a legenda dessas categorias. Como pode ser observado, cada uma delas está identificada por um *post-it* de cor específica e, a partir dessa definição, a decomposição do sistema “rua” é também representado nas figuras a seguir.

Figura 46 - Legenda das categorias de objetos que compõem o sistema “rua”



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Começando pela figura 47, expõe-se tanto a estrutura básica que compõem a rua, como suas possíveis tipologias.

Figura 47 - Decomposição e possíveis tipologias da estrutura urbana “rua”



Fonte: Elaborado pela autora com base no Guia Global de Desenho de Ruas (NACTO, 2018), 2023.

Sequencialmente, aumentou-se a resolução de análise e tanto a calçada (FIGURA 48) como o leito viário (FIGURA 49), representados na figura 47 como componentes, passam a ser analisados também como sistemas, na intenção de entender o funcionamento mais detalhado de cada um deles.

Figura 48 - Decomposição do sistema “calçada”



Fonte: Elaborado pela autora com base no Guia Global de Desenho de Ruas (NACTO, 2018), 2023.

Figura 49 - Decomposição do sistema “leito viário”



Fonte: Elaborado pela autora com base no Guia Global de Desenho de Ruas (NACTO, 2018), 2023.

Neste momento, a primeira observação a ser feita refere-se à divisão dessas estruturas em “zonas” ou “faixas” definidas de acordo com o uso proposto para cada um desses trechos, também com base no GGDR (NACTO, 2018). Além disso, os limites, ou bordas, do que seria definido como calçada ou leito viário podem ser claramente identificados.

Seguindo a mesma lógica de refinar o entendimento sobre os sistemas, cada “faixa” ou “zona” identificada como componente da calçada ou do leito viário passa a ser

considerada também como sistema, permitindo que seja possível compreender o que acontece em cada um desses percursos.

Sendo assim, as próximas figuras apresentam as descrições das faixas e zonas da calçada (FIGURAS 50, 51 e 52) e do leito viário (FIGURAS 53 e 54) a partir de dois pontos de vista: os elementos que definem essas partes fisicamente e as infraestruturas e atividades possíveis de ocorrerem em cada uma delas.

Ainda como parte do procedimento metodológico, cada trecho descrito a seguir está relacionado a um ou mais ícones gráficos que representam suas funcionalidades. Pretende-se, com essa representação, facilitar a identificação do que diferencia uma tipologia de via da outra a partir dos diversos usos possíveis em seus percursos.

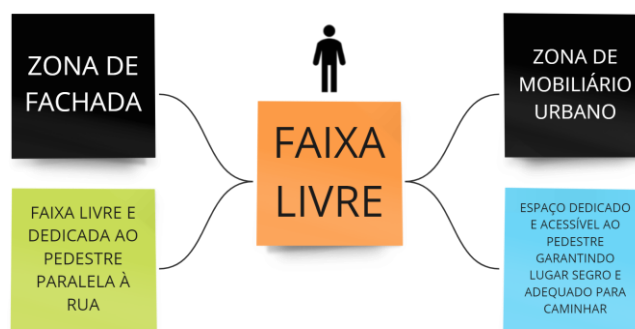
Com apoio das informações contidas no GGDR (NACTO, 2018), a figura 50 traz, então, a identificação do que seria a Zona de fachada. Da mesma forma, a figura 51 representa a Faixa livre e a figura 52, a Zona de mobiliário urbano, ambos ilustrando o que pode acontecer em uma calçada.

Figura 50 - Descrição da Zona de fachada da calçada



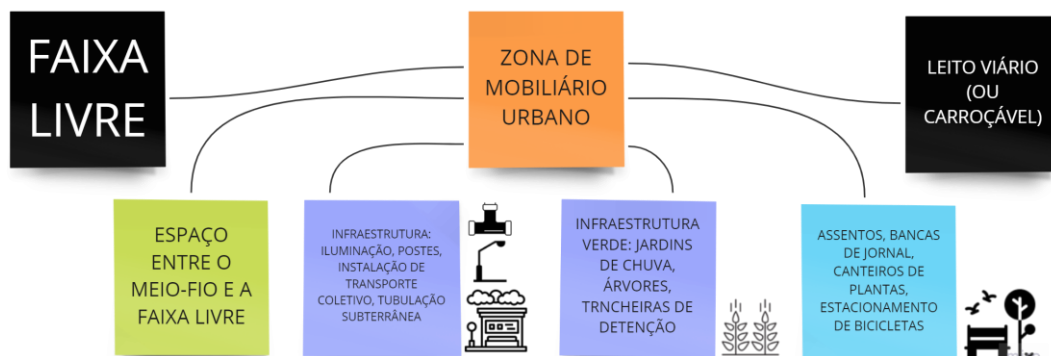
Fonte: Elaborado pela autora com base no Guia Global de Desenho de Ruas (NACTO, 2018), 2023.

Figura 51 - Descrição da Faixa livre da calçada



Fonte: Elaborado pela autora com base no Guia Global de Desenho de Ruas (NACTO, 2018), 2023.

Figura 52 – Descrição da Zona de mobiliário urbano da calçada



Fonte: Elaborado pela autora com base no Guia Global de Desenho de Ruas (NACTO, 2018), 2023.

A mesma análise é feita para as faixas que compõem o leito viário. Assim, a figura 53 apresenta a descrição da Faixa de rolamento e a figura 54 descreve as Faixas auxiliares que, por sua vez, estão contidas no que se denomina como Zona de amortecimento, espaço caracterizado por estar imediatamente após a calçada, separando-a do leito carroçável. Deve-se esclarecer, no entanto, que a presença desse espaço em uma via está condicionada à tipologia da mesma. Significa dizer que, por exemplo, em vielas e becos, onde o tráfego, principalmente de veículos, é restrito, não há uma Zona de amortecimento.

Figura 53 – Descrição da Faixa de rolamento do leito viário



Fonte: Elaborado pela autora com base no Guia Global de Desenho de Ruas (NACTO, 2018), 2023.

Figura 54 - Descrição dos possíveis usos para as Faixas auxiliares do leito viário



Fonte: Elaborado pela autora com base no Guia Global de Desenho de Ruas (NACTO, 2018), 2023.

Por fim, o esclarecimento sobre o que diferencia fisicamente as tipologias de ruas pareceu ser relevante para o desenvolvimento desta pesquisa, tendo em vista que as características específicas de cada ambiente, além de impactarem no sistema de drenagem existente, estão entre os fatores que determinam a possibilidade de instalação de uma ou outra estratégia de drenagem urbana sustentável.

Sendo assim, as próximas figuras representam, além da relação existente entre as tipologias de ruas definidas pelo GGDR (NACTO, 2018) e pelo CTB (CTB, 1997), os usos possíveis de serem desenvolvidos em cada uma das tipologias.

Para tanto, foi estabelecida uma cor para cada tipo de rua (FIGURA 55), segundo o CTB. Em seguida, vinculou-se as subtipologias definidas pelo GGDR ao CTB relacionando cada uma delas à cor correspondente. Para a visualização dos possíveis usos, empregou-se ícones gráficos representativos das funções exercidas em cada faixa, ou zona, da via, sendo possível identificar as características relacionadas à utilização desses espaços públicos.

Figura 55 - Legenda para a classificação das tipologias de ruas



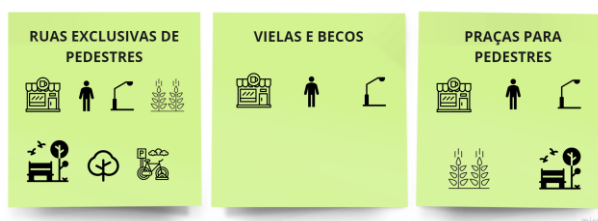
Fonte: Elaborado pela autora com base no Código Brasileiro de Trânsito (CTB, 1997), 2023.

Com isso, encontraram-se indícios de quais tipologias de vias são boas candidatas a receber uma estratégia para gestão sustentável da água, visto que a presença de determinado espaço, bem como suas possibilidades de usos, pode promover condição favorável para a implementação de medidas alternativas de drenagem.

Assim, as figuras a seguir (FIGURAS 56, 57, 58 e 59) trazem as subtipologias das ruas, os usos que as compõem e sua classificação de acordo com o Código Brasileiro de Trânsito (CTB, 1997).

O que é notável nessa organização é a percepção de que apenas vielas e becos (FIGURA 56), possivelmente, são subtipologias que não favorecem a instalação de medidas, simultaneamente, de Desenho Urbano sensível à água e SbN pelo fato de não disponibilizarem espaço físico suficiente para tal.

Figura 56 - Subtipologias de “Espaços prioritários de pedestres”



Fonte: Elaborado pela autora com base no Guia Global de Desenho de Ruas (NACTO, 2018), 2023.

Figura 57 - Subtipologias de “Ruas compartilhadas”



Fonte: Elaborado pela autora com base no Guia Global de Desenho de Ruas (NACTO, 2018), 2023.

Figura 58 - Subtipologias de “Ruas de bairros”



Fonte: Elaborado pela autora com base no Guia Global de Desenho de Ruas (NACTO, 2018), 2023.

Figura 59 - Subtipologias de “Ruas grandes, avenidas e boulevares”



Fonte: Elaborado pela autora com base no Guia Global de Desenho de Ruas (NACTO, 2018), 2023.

Tendo o levantamento das atividades e usos possíveis em cada tipologia, a demanda foi por reconhecer quais aspectos das vias influenciam na escolha de medidas sustentáveis de drenagem urbana.

4.2.1 Aspectos da rua considerados como impactantes na escolha de sistemas sustentáveis para drenagem urbana

Aparentemente, o que mais impacta na possibilidade de implementação de estratégias sustentáveis de drenagem urbana, levando-se em conta apenas as questões físicas, ou seja, desconsiderando-se burocracias, investimentos etc., é a existência de espaço disponível diante do uso de cada via.

Em fase de Estudo Preliminar, até mesmo o material com o qual a via é revestida parece ser irrelevante para a tomada de decisão sobre a implementação de estratégias de drenagem urbana sustentáveis, principalmente ao considerar-se a impermeabilização como uma característica inerente de ruas urbanizadas (BALLARD *et al.*, 2015; NACTO, 2017; NACTO, 2018). Assim, esse não é um critério levado em conta no algoritmo desenvolvido.

Considerando-se o tipo de circulação desenvolvida na via, como dito anteriormente, é desejável que haja a realização de um diagnóstico de mobilidade, pois não há a intenção de se propor modificações neste sentido e entende-se que adaptações podem ser feitas para que as ruas possam receber estratégias sustentáveis de drenagem sem passarem por mudanças relacionadas à mobilidade.

Já a declividade pode ser determinante sobre o número de medidas a serem instaladas na via. De acordo com o *Urban Street Stormwater Guide* (NACTO, 2017), em ruas com declividade maior do que 5%, recomenda-se que sejam realizadas intervenções de menor porte, porém, em maior número: “em ruas mais íngremes,

células mais curtas com bermas frequentes podem ajudar a retardar e armazenar temporariamente o escoamento antes da infiltração” (NACTO, 2017, p. 23, tradução nossa).

Enfatizando-se novamente o foco em Estudos Preliminares, deve-se esclarecer que o método proposto neste trabalho não considera a análise de regiões sujeitas a risco geológico, principalmente os que se referem à movimentação de massa de solo. Para tais casos, sugere-se que estudos mais aprofundados sejam realizados para apoiar a tomada de decisão sobre possíveis alternativas que colaborem com o sistema de drenagem.

Diante do exposto, considerou-se importante a compreensão sobre o que seria o espaço disponível necessário para a implementação das estratégias sustentáveis de drenagem. Assim, tornou-se imprescindível o conhecimento prévio sobre a existência de componentes da via que podem ter impacto na construção das estratégias, como postes, árvores, acessos a edificações, pontos de parada de ônibus, faixas de travessias, entre outros. Posteriormente, notou-se, inclusive, que tais considerações formam o conjunto de informações básicas que alimentam tanto as modelagens conceituais das estratégias apresentadas no próximo item, como, consequentemente, os *inputs* do algoritmo desenvolvido.

Dentro desse contexto, pode-se dizer que as larguras das calçadas são determinantes para a implementação de qualquer uma das estratégias aqui propostas. Mas, considerando-se as realidades das vias nos municípios brasileiros, que nem sempre se apresentam nas condições ideais indicadas por manuais e normas técnicas, propõe-se que a simples existência da Faixa livre para pedestres e da Faixa de mobiliário urbano, independentemente das suas larguras, seja suficiente para permitir a análise sobre a possibilidade de implementação de medidas sustentáveis de drenagem nas calçadas.

No entanto, para certas estratégias, como vala de infiltração e canteiro híbrido de biorretenção, por demandarem maior área física, uma largura mínima de calçada é exigida, como pode ser visto mais adiante no desenvolvimento das modelagens conceituais e do próprio algoritmo.

Nessas condições, dois espaços que podem ser destacados nas vias urbanas são os canteiros centrais e rotatórias que, normalmente, são subutilizados e têm potencial para receber tais soluções.

Outro destaque é a existência da Faixa auxiliar no leito carroçável (faixa logo após a calçada), considerado como um espaço promissor para a implementação das medidas propostas. As faixas de estacionamento são regiões de especial interesse, bem como áreas ocupadas por *parklets* que, muitas vezes, também são espaços subutilizados e merecem um olhar cuidadoso sobre seu uso. No entanto, faixas de caminhada ou faixas ocupadas por estrutura cicloviária não são espaços adequados para a aplicação das estratégias consideradas no presente trabalho.

Outro aspecto que pode interferir na escolha das estratégias, mas que não impede que a opção por elas seja feita, é a infraestrutura subterrânea. A sua existência em algum trecho da via direciona, mas não elimina, a possibilidade de aplicação de medidas sustentáveis de drenagem.

4.3 Modelagem conceitual

Neste momento, enfatiza-se, novamente, que este trabalho pretendeu criar uma ferramenta que colabore com o processo de desenvolvimento de projetos de melhoria de vias urbanas na fase de Estudo Preliminar.

Diante disso e de todo o exposto anteriormente, como uma síntese das informações colhidas neste estudo, a montagem para o algoritmo proposto partiu do roteiro a seguir que direciona a execução das modelagens conceituais das estratégias sustentáveis de drenagem:

- 1 Modelar a via identificando tipologia e componentes:
 - a. Qual a tipologia?
 - b. Tem faixa carroçável?
 - c. Tem calçada? Dos dois lados?
 - d. Tem canteiro central?
 - e. Tem vias transversais? Ou é um trecho sem saída?
- 2 Detalhar componentes:

- a. Definir limites do trecho de via analisada
 - i. Qual o comprimento do trecho da via (quarteirão)?
 - ii. Quais as larguras das vias transversais?
- b. Detalhamento calçadas
 - i. Quais as larguras totais das calçadas?
 - ii. As calçadas têm faixas livres para pedestres? Quais as larguras?
 - iii. Há acessos/entradas para as edificações? Quantos acessos na quadra? Qual a distância média entre eles?
 - iv. Há postes? Quantos na quadra? Qual a distância média entre eles?
 - v. Há pontos/abrigos de ônibus?
 - vi. Há infraestrutura subterrânea na calçada?
 - vii. Há banca de jornal na calçada?
 - viii. Há árvores na calçada? Quantas árvores? Qual a distância média entre elas?
- c. Detalhamento leito carroçável
 - i. Qual o número de faixas carroçáveis?
 - ii. A via tem mão única ou mão dupla?
 - iii. Qual a largura do canteiro central?
 - iv. Há ponto/abrigo de ônibus no canteiro central?
 - v. Há infraestrutura de transporte coletivo (faixa exclusiva)?
 - vi. Há infraestrutura cicloviária?
 - vii. Há *parklets*?
 - viii. Há elementos para gestão de águas pluviais (boca de lobo/bueiros? Quantos no quarteirão?
 - ix. Há suportes para bicicletas?
 - x. Há estação de compartilhamento de bicicletas?

- xi. Há faixa de estacionamento de veículos?
- xii. Há faixa de caminhada?
- xiii. Há faixas de travessia?
- xiv. Há área de plantio?
- xv. Há área de carga e descarga?
- xvi. Há infraestrutura subterrânea?

3 Característica do terreno

- a. Há declividade?

4 Equações

- a. Solução na calçada
- b. Solução no leito carroçável
- c. Solução de retenção
 - i. Canteiro biofiltrante
- d. Solução de retenção + infiltração
 - i. Árvores de águas pluviais
 - ii. Canteiro de biorretenção
 - iii. Canteiro híbrido de biorretenção
 - iv. Vala de biorretenção

A partir desse roteiro, foram desenvolvidas as modelagens conceituais referentes às estratégias de gestão sustentável de águas pluviais urbanas consideradas neste estudo. Tais modelagens são apresentadas nos diagramas expostos a seguir, referentes ao item 4 do roteiro, denominado “Equações”.

Além disso, com a organização dessas informações, tornou-se possível sugerir os *inputs* considerados na modelagem, o que direcionou a construção da base inicial do algoritmo proposto e permitiu que a abstração representativa do trecho de rua a ser analisado pelo usuário fosse visualizada.

Através da orientação do roteiro e do desenvolvimento das modelagens conceituais, obteve-se as informações necessárias para serem levadas, enfim, ao *Grasshopper*.

E, como informação inicial para a compreensão dos caminhos propostos a seguir, apresenta-se, na figura 60, a legenda das ações sugeridas nas modelagens conceituais que são posteriormente executadas pelo algoritmo:

Figura 60 - Legenda das ações geradas no algoritmo

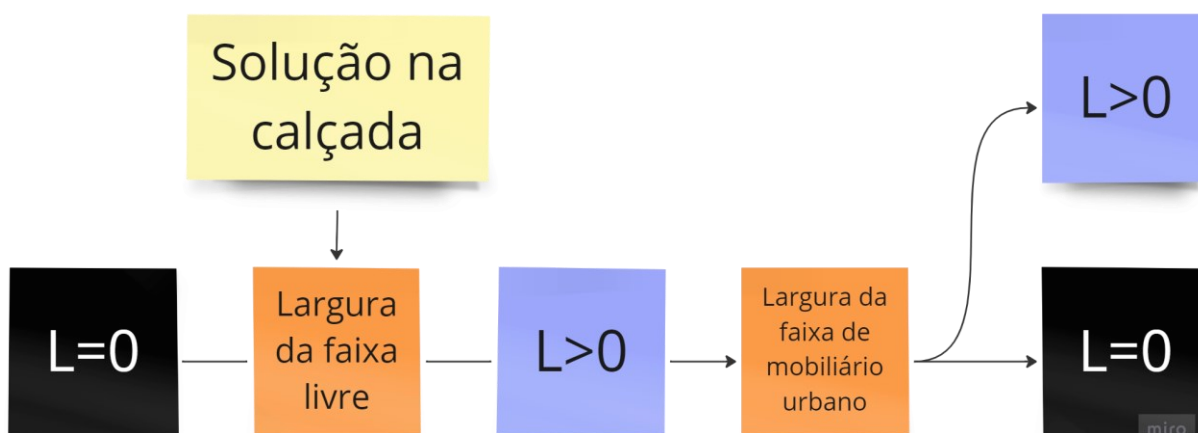


Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

A primeira ação, “informação fornecida pelo usuário” representada pelos *post-its* de cor laranja, origina-se nas respostas obtidas a partir de perguntas que o algoritmo irá propor ao usuário, baseadas no roteiro apresentado acima. A cada resposta dada, uma outra ação é proposta. Havendo a possibilidade de dar sequência, segue-se para o *post-it* azul. Porém, caso a informação dada não seja adequada para a implementação das estratégias desejadas, a ação é bloqueada, o que está representado pelo *post-it* preto.

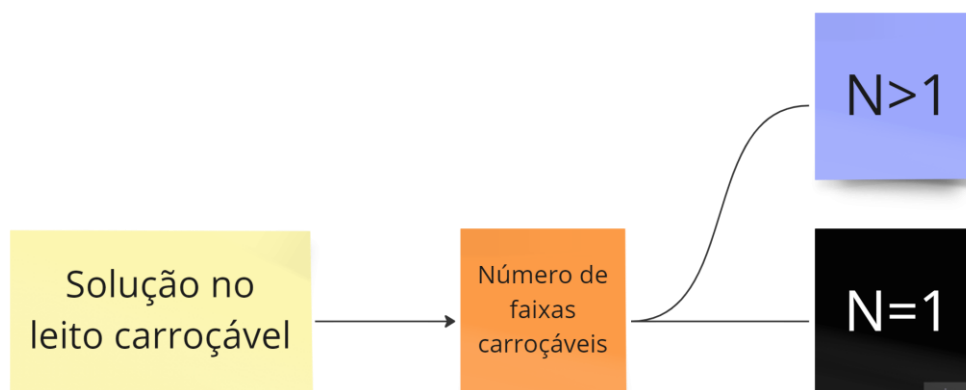
Os dois primeiros modelos ilustram quais são as informações básicas para que uma medida possa ser aplicada na calçada (FIGURA 61) ou no leito carroçável (FIGURA 62).

Figura 61 – Proposta de algoritmo com informações iniciais para que uma estratégia possa ser implementada em calçadas



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Figura 62 – Proposta de algoritmo com informações iniciais para que uma estratégia possa ser implementada no leito carroçável da via



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Segue-se, então, para os modelos representativos dos caminhos que poderiam levar a implementação das estratégias que promovem apenas retenção, ilustradas pela cor verde clara, ou retenção e infiltração simultaneamente, ilustradas pela cor verde escura (FIGURA 63).

Figura 63 - Cores representativas para soluções de retenção e soluções de retenção e infiltração



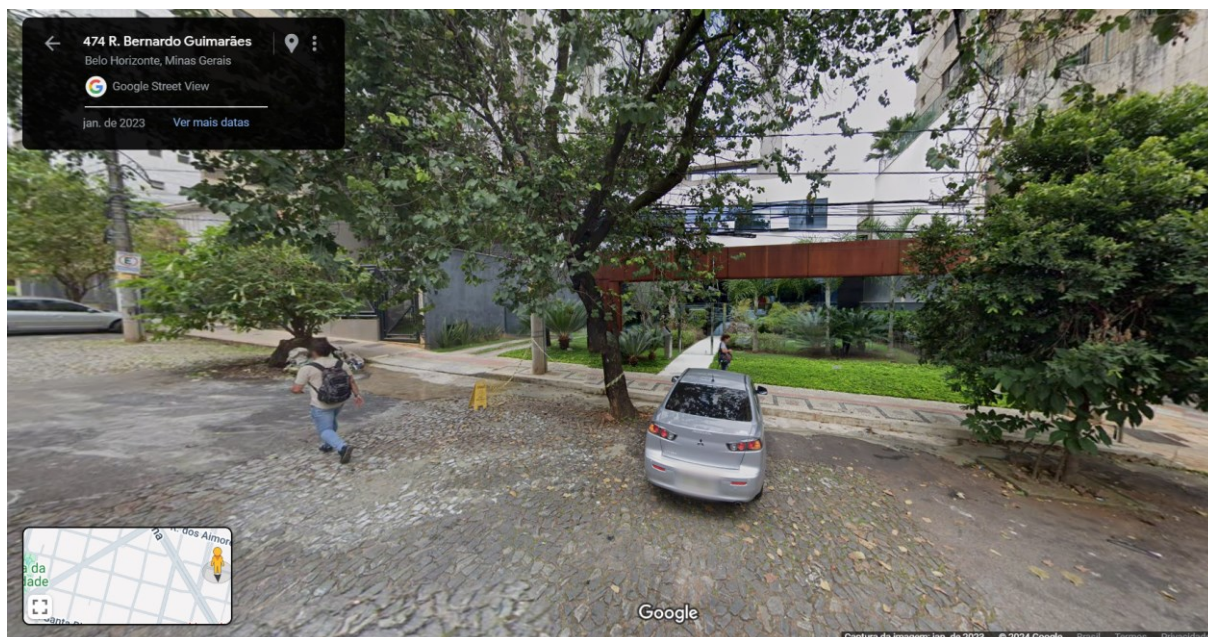
Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Diante dessas premissas, as próximas figuras trazem as propostas para os algoritmos de cada estratégia.

A primeira a ser apresentada refere-se às árvores para águas pluviais (FIGURA 65). Nota-se que é a única medida com proposta apenas para calçada. No entanto, essa é uma solução que pode ser aplicada em combinação com outras, ocorrendo tanto em canteiros como em valas de biorretenção.

Deve-se esclarecer, com isso, que o fato de o algoritmo não propor essa medida em trechos do leito carroçável, não significa que tal solução não possa ocorrer nos limites entre calçada e sarjeta, por exemplo. Nota-se, inclusive, que, embora seja menos comum, há a ocorrência de árvores em trechos de ruas fora das calçadas, como na rua Bernardo Guimarães, em Belo Horizonte, MG (FIGURA 64).

Figura 64 - Árvores no leito carroçável da rua Bernardo Guimarães em Belo Horizonte, MG



Fonte: Google Maps, 2024.

Para todas as outras estratégias há modelagens referentes à implementação tanto em calçadas como no leito carroçável (FIGURAS 66 a 73).

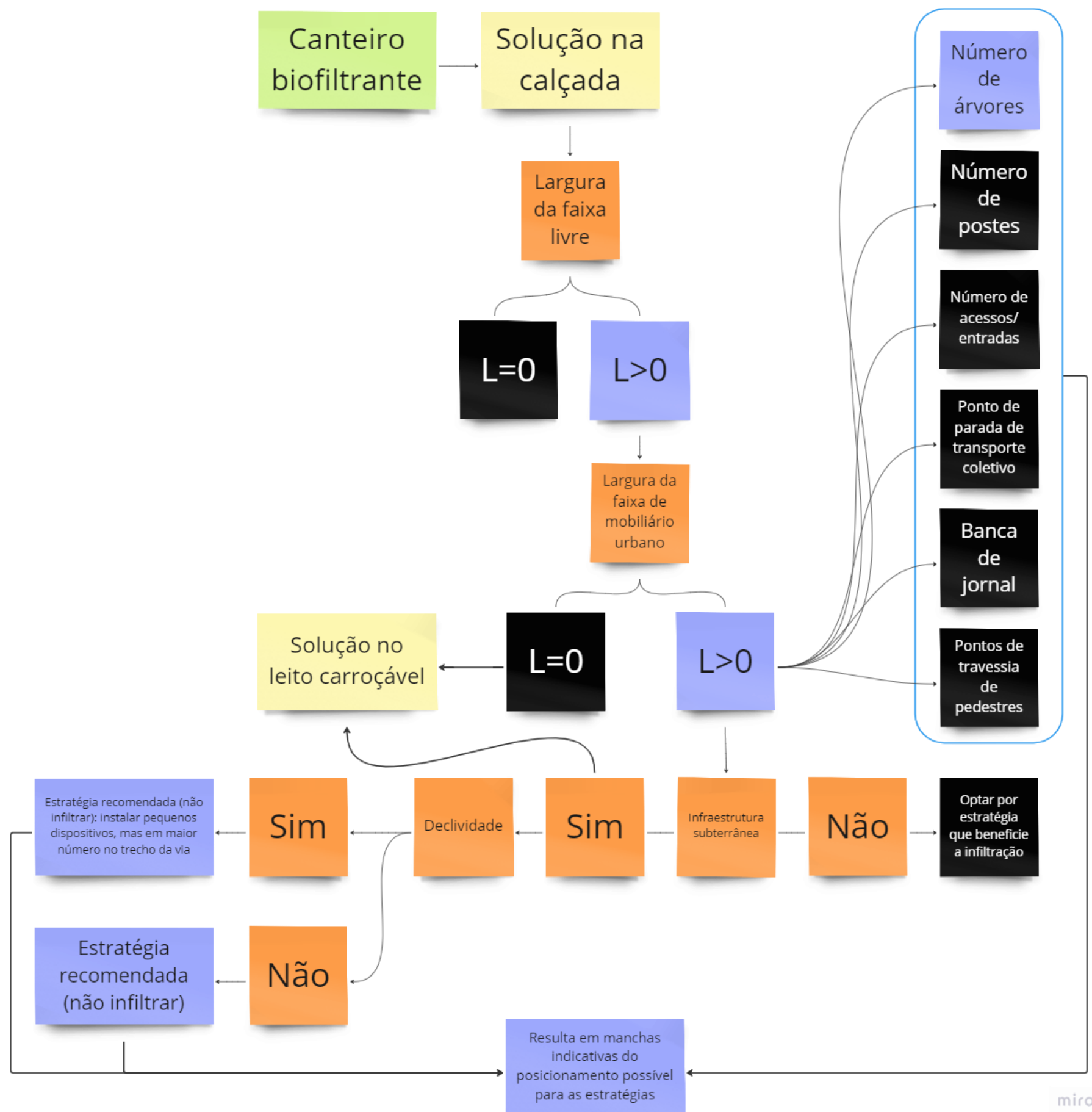
Assim, as figuras 66 e 67 representam as modelagens conceituais dos canteiros biofiltrantes ocorrendo, respectivamente, em calçadas e no leito carroçável de vias urbanas.

Sequencialmente, as figuras 68 e 69 referem-se às modelagens das valas de biorretenção, seguindo a mesma ordem, sendo a primeira representando a estratégia em calçadas e a segunda no leito carroçável.

Da mesma forma, seguem as figuras 70 e 71, ilustrando as modelagens dos canteiros de biorretenção.

E, por fim, apresenta-se as modelagens conceituais dos canteiros híbridos de biorretenção, ilustradas pelas figuras 72 e 73.

Figura 66 - Diagrama da modelagem conceitual de algoritmo para a implementação de canteiros biofiltrantes em calçadas



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Figura 67 - Diagrama da modelagem conceitual de algoritmo para a implementação de canteiros biofiltrantes no leito carroçável da via

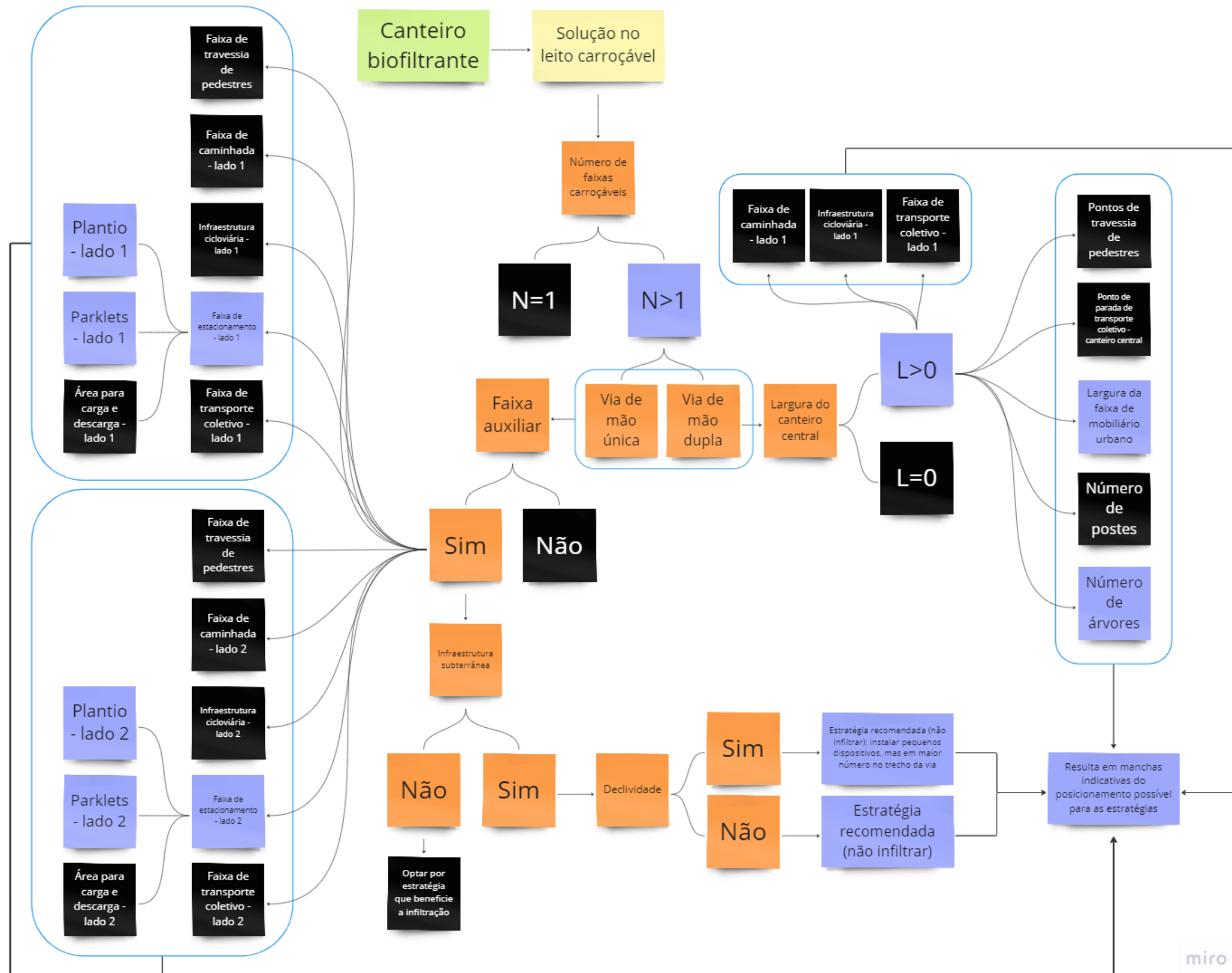


Figura 68 - Diagrama da modelagem conceitual de algoritmo para a implementação de vala de biorretenção em calçadas

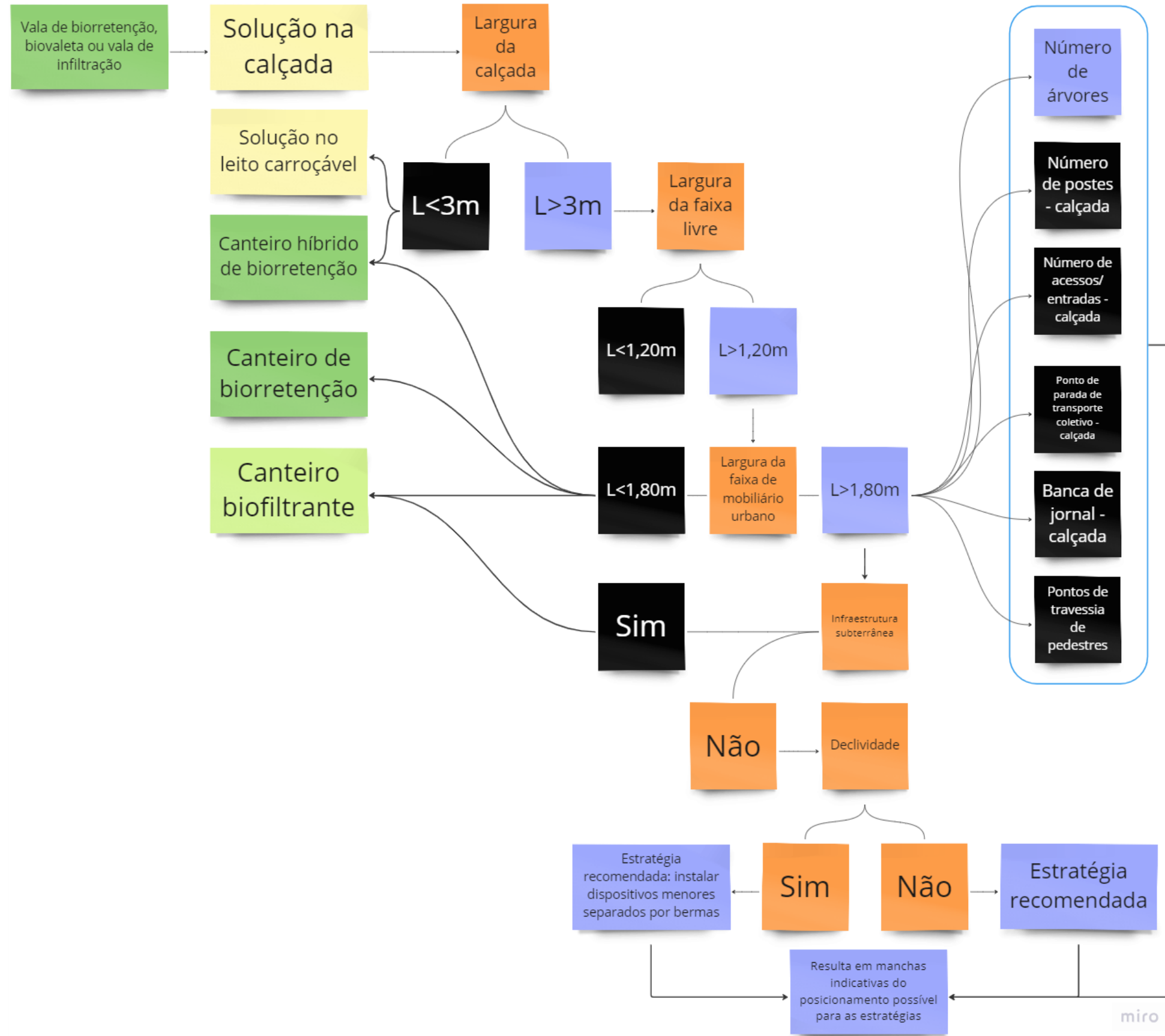


Figura 69 - Diagrama da modelagem conceitual de algoritmo para a implementação de vala de biorretenção no leito carroçável das vias

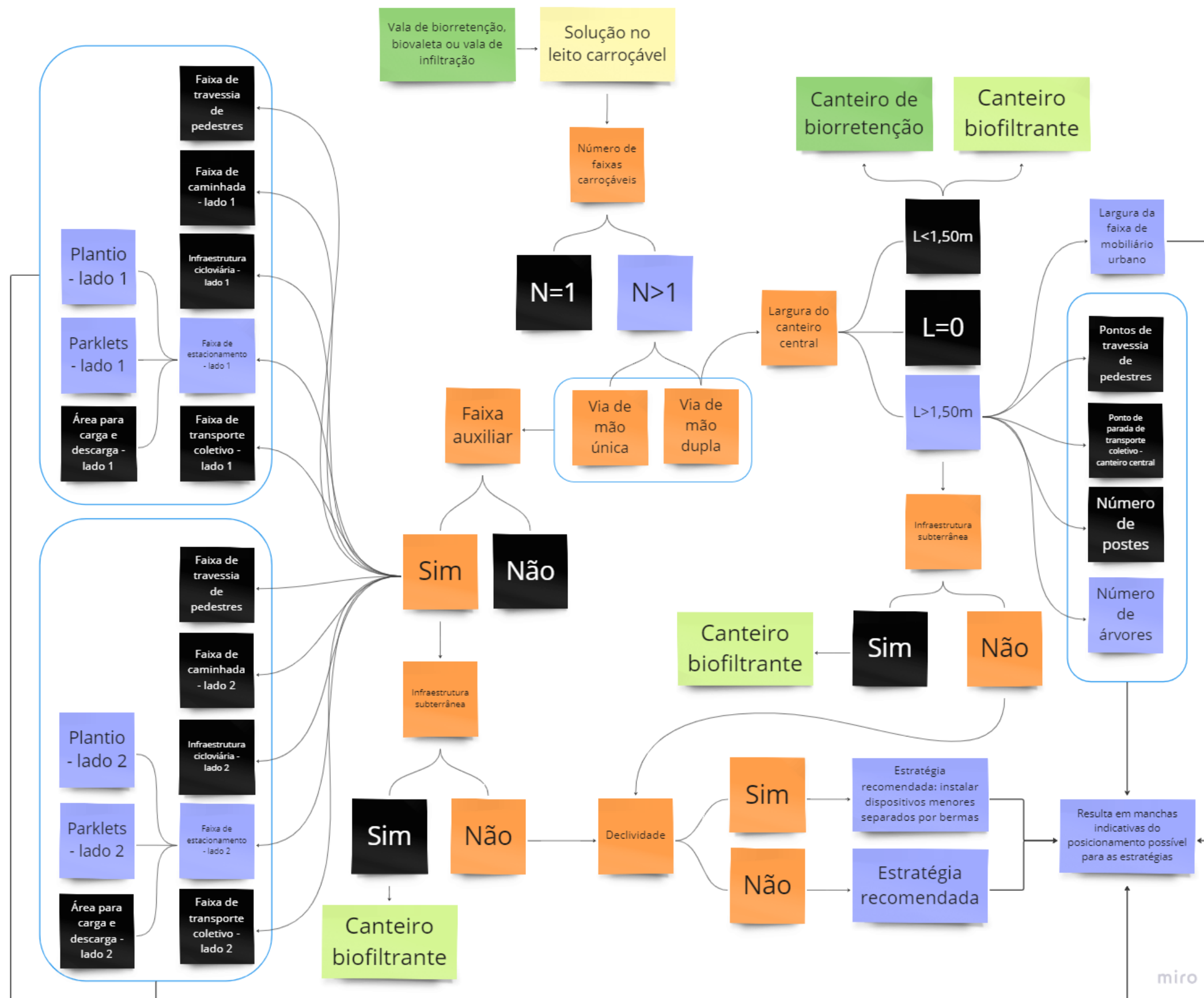
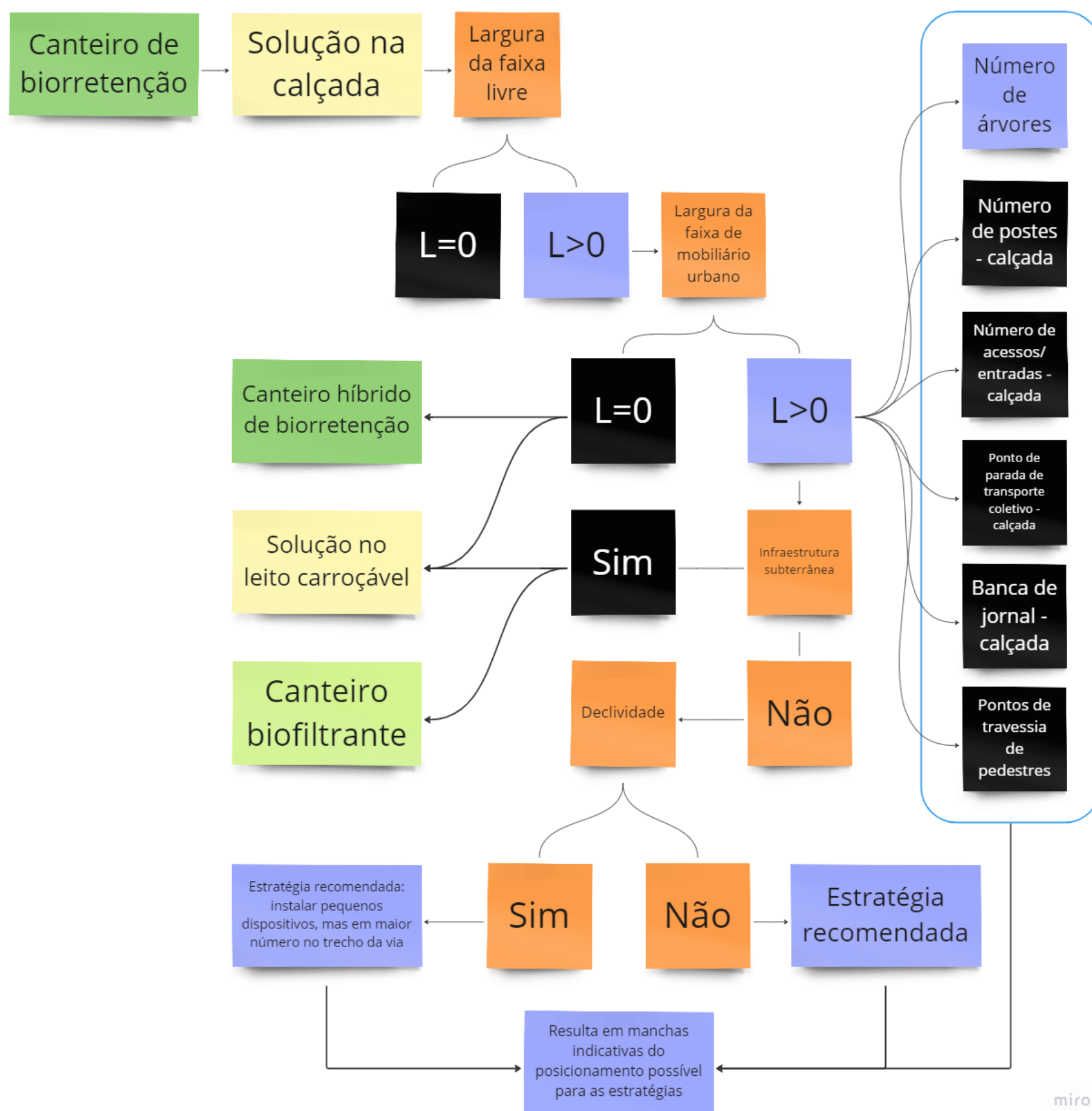
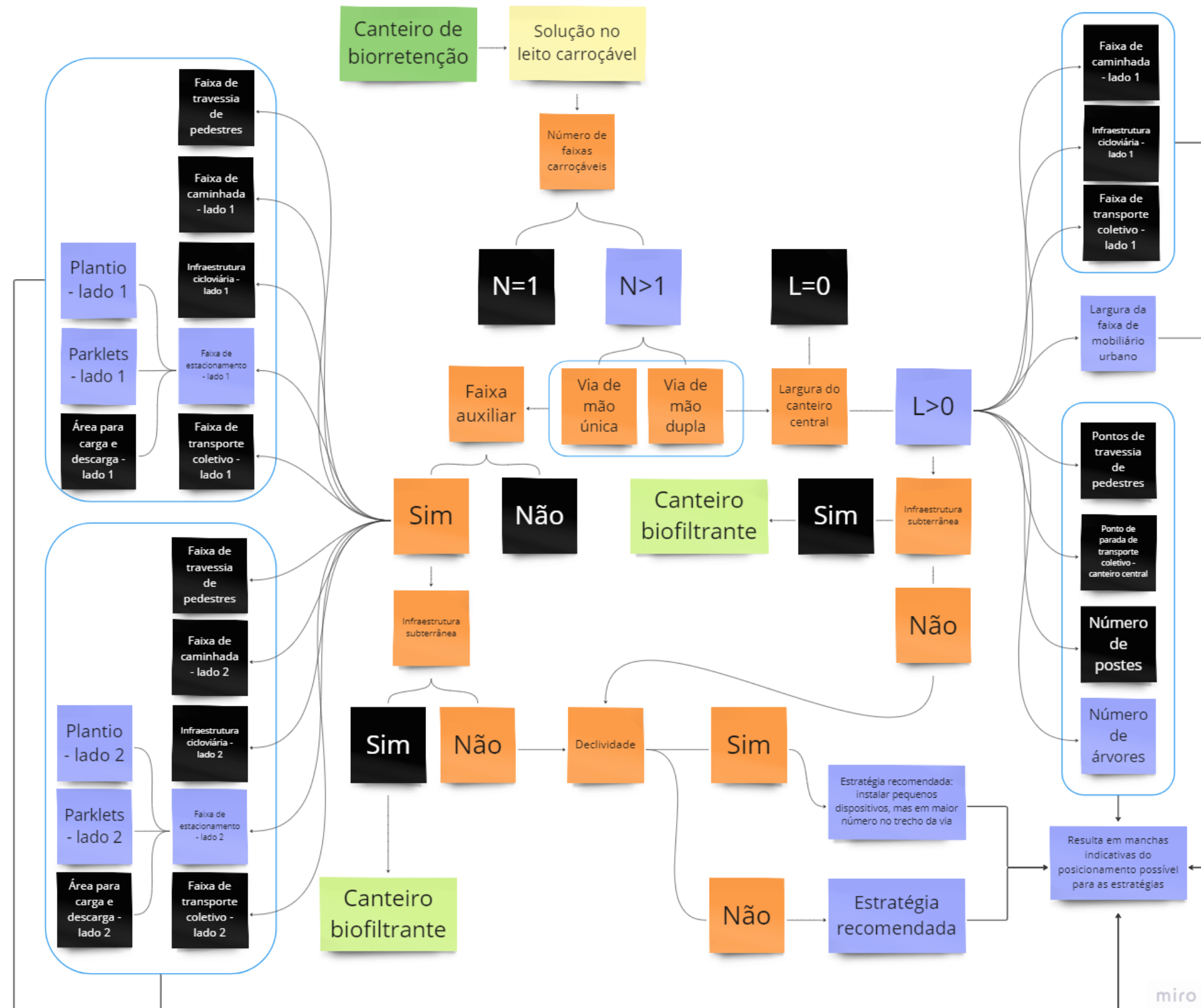


Figura 70 - Diagrama da modelagem conceitual de algoritmo para a implementação de canteiro de biorretenção em calçadas



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Figura 71 - Diagrama da modelagem conceitual de algoritmo para a implementação de canteiro de biorretenção no leito carroçável das vias



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Figura 72 - Diagrama da modelagem conceitual de algoritmo para a implementação de canteiro híbrido de biorretenção em calçadas

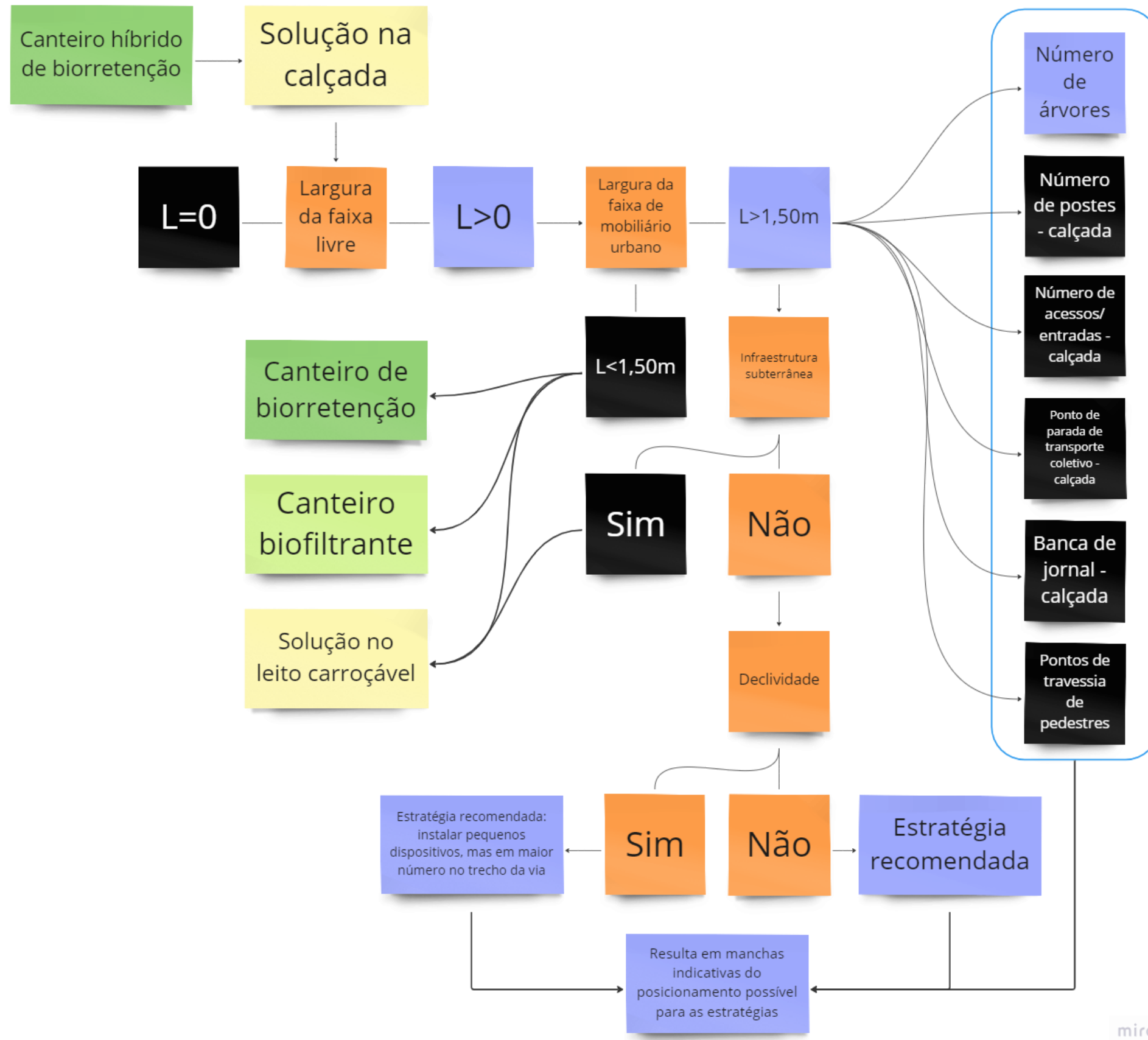
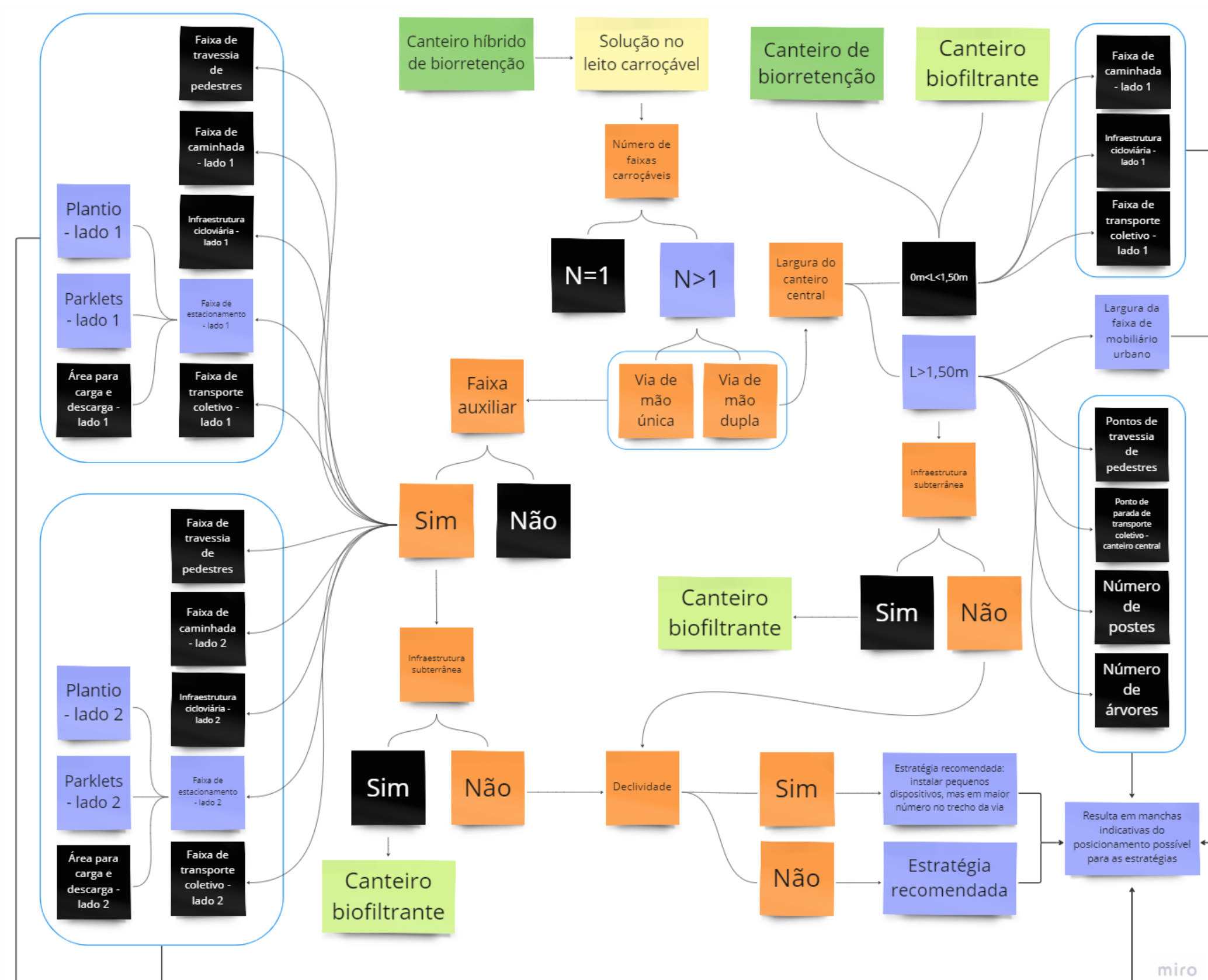


Figura 73 - Diagrama da modelagem conceitual de algoritmo para a implementação de canteiro híbrido de biorretenção no leito carroçável das vias



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

5 O ALGORITMO

Finalmente, após todo o processo de reconhecimento da rua como um sistema e das possíveis interferências que suas partes poderiam ocasionar na implementação de estratégias sustentáveis de drenagem de águas pluviais urbanas, a construção do algoritmo, objetivo almejado por este trabalho, começa a ser concretizada.

O primeiro passo foi a definição de quais são as informações de entrada, os *inputs*.

Assim, como forma de organização, o desenvolvimento do modelo se deu por partes, ou em grupos, e, como uma evolução do roteiro apresentado anteriormente para a execução dos modelos conceituais, tem-se a seguinte sequência de grupos de *inputs*:

1. Construção do modelo básico;
2. Solução em exibição;
3. Detalhamento da calçada da esquerda;
4. Detalhamento do leito carroçável da esquerda;
5. Detalhamento do leito carroçável do centro;
6. Detalhamento da calçada canteiro central;
7. Detalhamento do leito carroçável da direita;
8. Detalhamento da calçada da direita.

Seguindo em frente, alguns esclarecimentos devem ser feitos sobre os parâmetros adotados e torna-se importante dizer que suas variações são definidas por uma união entre informações obtidas na literatura sobre desenho de ruas e de impressões resultantes de observação de vias urbanas.

Primeiramente, deve-se explicar que classificação das vias de acordo com a tipologia teve como base as larguras das ruas, considerando-se o número possível de faixas de rolagem. Assim sendo, com base em Farr (2013) e no CTB (1997), o quadro 9 apresenta as tipologias de vias utilizadas no algoritmo e as dimensões que as definem.

Quadro 9 - Descrição das tipologias de vias consideradas no algoritmo

Tipologia	Nº de faixas	Largura	Descrição	Canteiro central
ARTERIAL 1	2	2 x 3,6 m = 7,2 m	Via de mão dupla com 1 faixa em cada sentido	Sim
ARTERIAL 2	4	4 x 3,6 m = 14,4 m	Via de mão dupla com 2 faixas em cada sentido	Sim
ARTERIAL 3	6	6 x 3,6 m = 21,6 m	Via de mão dupla com 3 faixas em cada sentido	Sim
COLETORA 1	2	2 x 3,5 m = 7,0 m	Via simples de mão dupla	Opcional
COLETORA 2	4	4 x 3,5 m = 14,0 m	Via de mão dupla com 2 faixas em cada sentido	Opcional
LOCAL 1	1	1 x 3,0 m = 3,0 m	Via simples com 1 faixa	Não
LOCAL 2	2	2 x 3,0 m = 6,0 m	Via simples com 2 faixas	Não
PEATONAL 1	1	1 x 2,5 m = 2,5 m	Via simples com 1 faixa	Não
PEATONAL 2	3	3 x 2,5 m = 7,5 m	Via simples com 1 faixa e 2 de acesso às edificações	Não

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Já sobre as faixas que compõem as calçadas, embora a NBR 9050/2015 defina a largura mínima da faixa livre como 1,20m (ABNT, 2015), ao considerar-se a aplicabilidade do algoritmo a ser proposto em ruas existentes sugere-se observar, em princípio, a simples existência de Faixa livre e Faixa de mobiliário urbano, sem exigência de largura mínima, como dito anteriormente. Mais uma vez, deve-se esclarecer que essa escolha tem por objetivo tentar adequar as considerações feitas sobre desenho de ruas urbanas às condições das vias encontradas nos municípios brasileiros, ou seja, vias já construídas que, nem sempre, atendem às dimensões mínimas exigidas em manuais e normas técnicas. Recomenda-se então que, havendo as faixas que compõem a calçada, analise-se a possibilidade de aplicação das estratégias.

Continuando para os detalhamentos das partes da via, algumas características são consideradas e as definições de seus limites (dimensões máximas e mínimas e quantidade de ocorrências no quarteirão modelado) são dadas da seguinte forma:

- **Ocupação típica:** representa uma abstração do que seria o gabarito da ocupação predominante no quarteirão analisado. Essa característica não impacta na implementação da solução, mas tem o papel de colaborar para a

visualização da região analisada. As opções oferecidas são térreo, baixo, médio e alto.

- **Comprimento do quarteirão:** variação definida entre 50m e 200m. Entende-se que esse possa ser um limite adequado para a análise proposta. No entanto, após testar o algoritmo, tal variação pode passar por atualizações.
- **Declividade:** tratando-se de uma abstração, há a possibilidade de se extrapolar a representação da declividade variando entre 0% e 30% para que a visualização do que pode ocorrer em vias inclinadas seja clara.
- **Largura da faixa auxiliar:** limites definidos com base em Farr (2013). Variam entre 2,10m e 2,50m. Seus usos possíveis são oferecidos com base no Guia Global de Desenho de Ruas (NACTO, 2018).
- **Largura do canteiro central:** com variação entre 0m e 3m, considera a possibilidade de poder receber estratégias que necessitam de espaços mais largos para sua aplicação.
- **Nº acessos às edificações:** com limites definidos entre 0 e 12, também são passíveis de modificação após aplicação experimental do algoritmo.
- **Paradas de ônibus:** caso o usuário indique a existência de parada de ônibus na quadra analisada, uma unidade é exibida na calçada escolhida.
- **Áreas de plantio:** com variação possível definida pela autora entre 0 e 5 unidades por quarteirão.
- **Postes:** com variação possível definida pela autora entre 0 e 5 unidades por quarteirão.
- **Árvores:** com variação possível definida pela autora entre 0 e 10 unidades por quarteirão.
- **Parklets:** com variação possível definida pela autora entre 0 e 2 unidades por quarteirão.
- **Área carga e descarga:** assim como a parada de ônibus, caso o usuário indique a existência de área para carga e descarga, uma unidade com dimensões de uma vaga para veículo é exibida no modelo.

- **Travessia de pedestres:** indicando a existência de ponto de travessia para pedestres, o usuário tem a possibilidade de indicar sua localização próxima às esquinas ou no centro do quarteirão.

Expondo-se as variações possíveis acima, é relevante deixar claro que todos os limites são passíveis de atualizações após aplicação experimental do algoritmo.

Diante de tais esclarecimentos, apresenta-se, no quadro 10 a seguir, quais dados de entrada, ou *inputs*, são considerados na construção de cada grupo do algoritmo.

Quadro 10 - *Inputs* considerados no modelo

(Continua)

Grupo	Input	Variações
1. Modelo Básico	Via transversal 1	VERDADEIRO FALSO
	Tipologia da via transversal 1	ARTERIAL 1 = 7,2 m ARTERIAL 2 = 14,4 m ARTERAIL 3 = 21,6 m COLETORA 1 = 7 m COLETORA 2 = 14 m LOCAL 1 = 3 m LOCAL 2 = 6 m PEATONAL 1 = 2,5 m PEATONAL 2 = 7,5 m
	Rotatória - via transversal 1	VERDADEIRO FALSO
	Calçada esquerda	VERDADEIRO FALSO
	Largura faixa livre - esquerda	0 a 2 m
	Largura faixa mobiliário urbano - esquerda	0 a 2 m
	Ocupação típica - gabarito (para os dois lados da via)	TÉRREO = 1 x 3 m = 3 m BAIXO = 3 x 3 m = 9 m MÉDIO = 6 x 3 m = 18 m ALTO = 10 x 3 m = 30 m
	Comprimento do quarteirão	50 a 200 m
	Declividade da via principal	0 a 30%
	Tipologia da via principal	ARTERIAL 1 = 7,2 m ARTERIAL 2 = 14,4 m ARTERAIL 3 = 21,6 m COLETORA 1 = 7 m COLETORA 2 = 14 m

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Quadro 10 - *Inputs* considerados no modelo

(Continua)

Grupo	Input	Variações
2. Solução		LOCAL 1 = 3 m LOCAL 2 = 6 m PEATONAL 1 = 2,5 m PEATONAL 2 = 7,5 m
	Faixa auxiliar - esquerda	VERDADEIRO FALSO
	Largura faixa auxiliar - esquerda	2,10 a 2,50 m
	Canteiro central	VERDADEIRO FALSO
	Largura canteiro central	0 a 3 m
	Faixa auxiliar - direita	VERDADEIRO FALSO
	Largura faixa auxiliar - direita	2,10 a 2,50 m
	Calçada direita	VERDADEIRO FALSO
	Largura faixa livre - direita	0 a 2 m
	Largura faixa mobiliário urbano - direita	0 a 2 m
	Via transversal 2	VERDADEIRO FALSO
	Tipologia via transversal 2	ARTERIAL 1 = 7,2 m ARTERIAL 2 = 14,4 m ARTERAIL 3 = 21,6 m COLETORA 1 = 7 m COLETORA 2 = 14 m LOCAL 1 = 3 m LOCAL 2 = 6 m PEATONAL 1 = 2,5 m PEATONAL 2 = 7,5 m
	Rotatória - via transversal 2	VERDADEIRO FALSO
	Árvores para águas pluviais	
	Canteiro biofiltrante	
	Vala de infiltração	Escolha simples
	Canteiro de biorretenção	
	Canteiro híbrido de biorretenção	

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Quadro 10 - *Inputs* considerados no modelo

(Continua)

Grupo	Input	Variações
3. Detalhamento calçada - esquerda	Acessos para edificações	0 a 12
	Parada de ônibus	VERDADEIRO FALSO
	Área de plantio	0 a 5
	Postes	0 a 5
	Árvores	0 a 10
	Infraestrutura subterrânea	VERDADEIRO FALSO
4. Detalhamento leito carroçável - esquerda	Área carga e descarga	VERDADEIRO FALSO
	Uso de faixa auxiliar	Estacionamento Estrutura ciclovária Faixa de caminhada
	Faixa exclusiva transporte coletivo - esquerda	VERDADEIRO FALSO
	Faixa exclusiva transporte coletivo - à esquerda do canteiro central	VERDADEIRO FALSO
	Infraestrutura subterrânea sob faixa auxiliar esquerda	VERDADEIRO FALSO
	Parklets	0 a 2
5. Detalhamento leito carroçável - centro	Travessia de pedestres - esquina	VERDADEIRO FALSO
	Travessia de pedestres - central	VERDADEIRO FALSO
6. Detalhamento calçada - canteiro	Infraestrutura subterrânea	VERDADEIRO FALSO
	Parada de ônibus	VERDADEIRO FALSO
	Lados da faixa de caminhada ou estrutura ciclovária	0 a 2
	Postes	0 a 5
	Árvores	0 a 10

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Quadro 10 - *Inputs* considerados no modelo

(Conclusão)

Grupo	Input	Variações
7. Detalhamento leito carroçável - direita	Área carga e descarga	VERDADEIRO FALSO
	Uso da faixa auxiliar	Estacionamento Estrutura cicloviária Faixa de caminhada
	Faixa exclusiva de transporte coletivo - direita	VERDADEIRO FALSO
	Faixa exclusiva de transporte coletivo - à direita do canteiro central	VERDADEIRO FALSO
	Infraestrutura subterrânea sob faixa auxiliar da direita	VERDADEIRO FALSO
	Parklets	0 a 2
8. Detalhamento calçada - direita	Acessos para edificações	0 a 12
	Parada de ônibus	VERDADEIRO FALSO
	Área de plantio	0 a 5
	Postes	0 a 5
	Árvores	0 a 10
	Infraestrutura subterrânea	VERDADEIRO FALSO

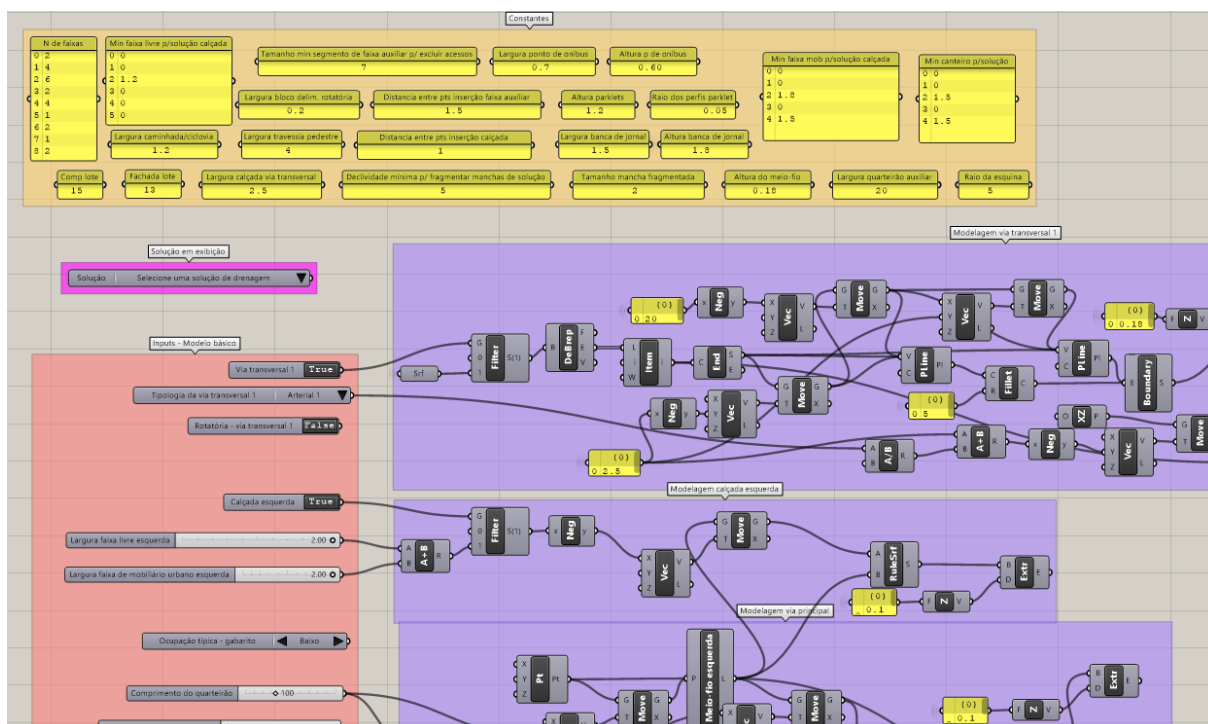
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Dadas as informações iniciais, parte-se para a construção do modelo de fato.

5.1 *Grasshopper*: interface para materialização visual de conceitos

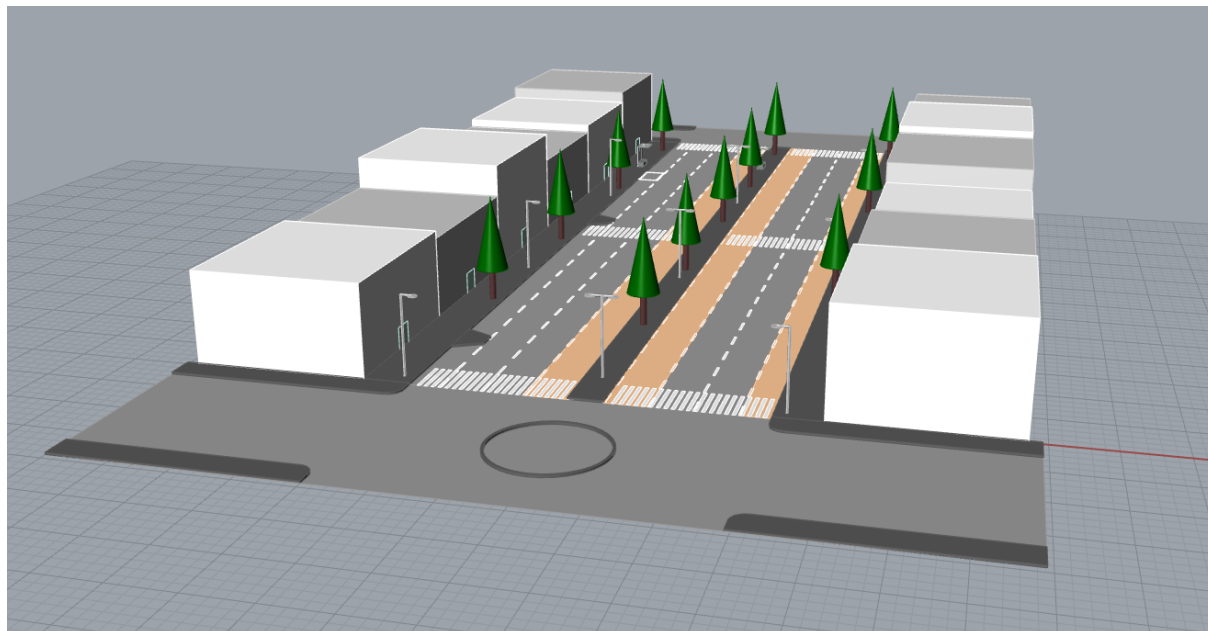
O processo de construção do algoritmo no *Grasshopper* apresenta complexidades para sua visualização (FIGURA 74), por isso, propõe-se a representação do seu desenvolvimento através de fluxogramas que indicam a sequência de ações geradas no *software* que, por fim, resulta no modelo (FIGURA 75) utilizado para avaliar as possibilidades de implementação de estratégias sustentáveis de drenagem de águas pluviais em vias urbanas.

Figura 74 - Trecho do algoritmo desenvolvido no *Grasshopper*



Fonte: Elabora pela autora, 2024.

Figura 75 - Modelo gerado no *Rhinceros* a partir das instruções do *Grasshopper*



Fonte: Elabora pela autora, 2024.

Com a descrição da construção do algoritmo apresentada a seguir, pretende-se expor a interdependência existente entre os componentes que formam a via urbana e, ao mesmo tempo, exibir um meio de resolução de problemas que tem como base as

possíveis relações existentes entre os elementos que compõe uma determinada proposta de solução, ou de projeto.

E, com a intenção de proporcionar melhor entendimento sobre o processo de montagem do algoritmo, mais uma vez, propõe-se que o mesmo seja descrito através da sua decomposição em partes, ou grupos, que se relacionam.

Assim sendo, partindo-se da legenda apresentada na figura 76, a sequência de ações é representada nos fluxogramas divididos da seguinte maneira:

- Parte 1. Modelagem da via principal (FIGURA 77);
- Parte 2. Modelagem das calçadas (FIGURA 78);
- Parte 3. Detalhamento das calçadas (FIGURA 79);
- Parte 4. Prédios e acessos (FIGURA 80);
- Parte 5. Modelagem da via transversal 1 (FIGURA 81);
- Parte 6. Modelagem da rotatória na via transversal 1 (FIGURA 82);
- Parte 7. Modelagem da via transversal 2 (FIGURA 83);
- Parte 8. Modelagem da rotatória na via transversal 2 (FIGURA 84);
- Parte 9. Divisão das faixas carroçáveis e separação de acordo com o uso (FIGURA 85);
- Parte 10. Detalhamento do leito carroçável (FIGURA 86);
- Parte 11. Detalhamento do canteiro central (FIGURA 87);
- Parte 12. Modelagem de travessia de pedestres (FIGURA 88);
- Parte 13. Manchas indicativas de solução na calçada (FIGURA 89);
- Parte 14. Criação das geometrias das manchas sem os acessos (áreas correspondentes aos acessos dos edifícios) e definição de pontos de inserção de componentes urbanos na calçada (FIGURA 90);
- Parte 15. Subtração das áreas dos componentes urbanos nas manchas de solução na calçada (FIGURA 91);
- Parte 16. Manchas de solução da faixa auxiliar (FIGURA 92);

Parte 17. Definição de regiões para vaga de carga e descarga, *parklets* e áreas de plantio na faixa auxiliar (FIGURA 93);

Parte 18. Posicionamento da vaga de carga e descarga na faixa auxiliar (FIGURA 94);

Parte 19. Posicionamento dos *parklets* e áreas de plantio na faixa auxiliar (FIGURA 95);

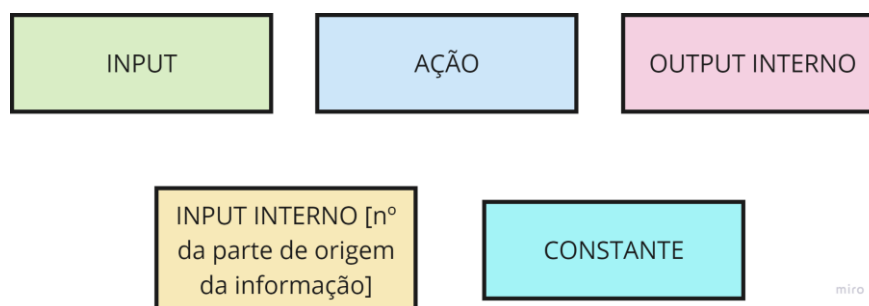
Parte 20. Manchas indicativas de solução no canteiro central (FIGURA 96);

Parte 21. Inserção dos equipamentos urbanos no canteiro central (FIGURA 97).

Esclarece-se, ainda, o significado de cada item da legenda a seguir (FIGURA 76):

- INPUT: informação fornecida pelo usuário para efetivação das ações;
- AÇÃO: trata-se de um processo interno. É a instrução que se deseja que seja realizada naquele determinado ponto de desenvolvimento do modelo;
- OUTPUT INTERNO: dados resultantes das ações internas que alimentam outras ações nos outros grupos;
- INPUT INTERNO: dados recebidos de outro grupo;
- CONSTANTE: valores invariáveis que colaboram para a construção básica do modelo.

Figura 76 - Legenda para construção dos fluxogramas representativos do algoritmo proposto

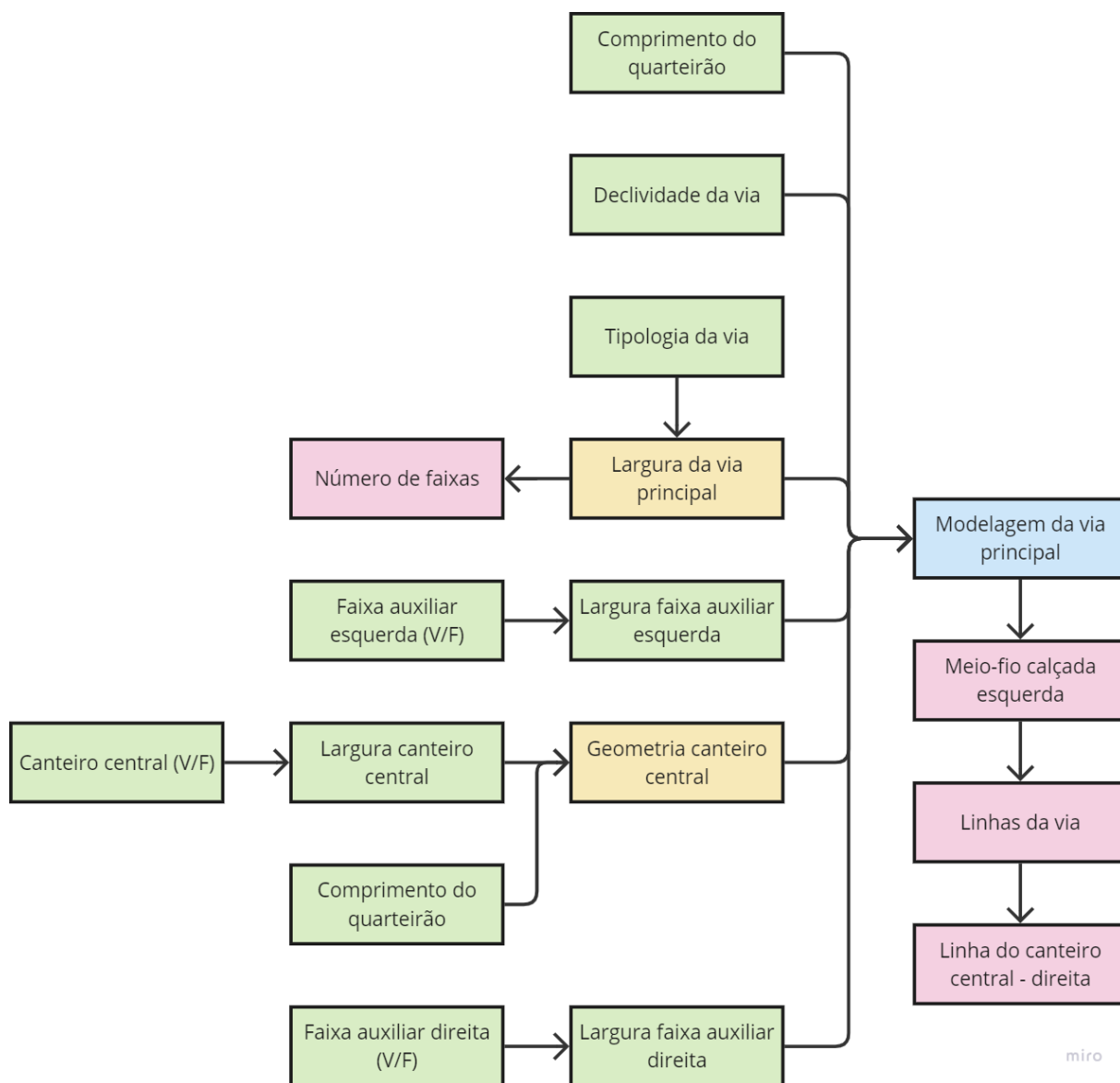


Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Como pode ser observado, cada um desses itens é representado por uma caixa colorida sendo que cada cor indica a atividade em ocorrência naquele determinado ponto de desenvolvimento do modelo.

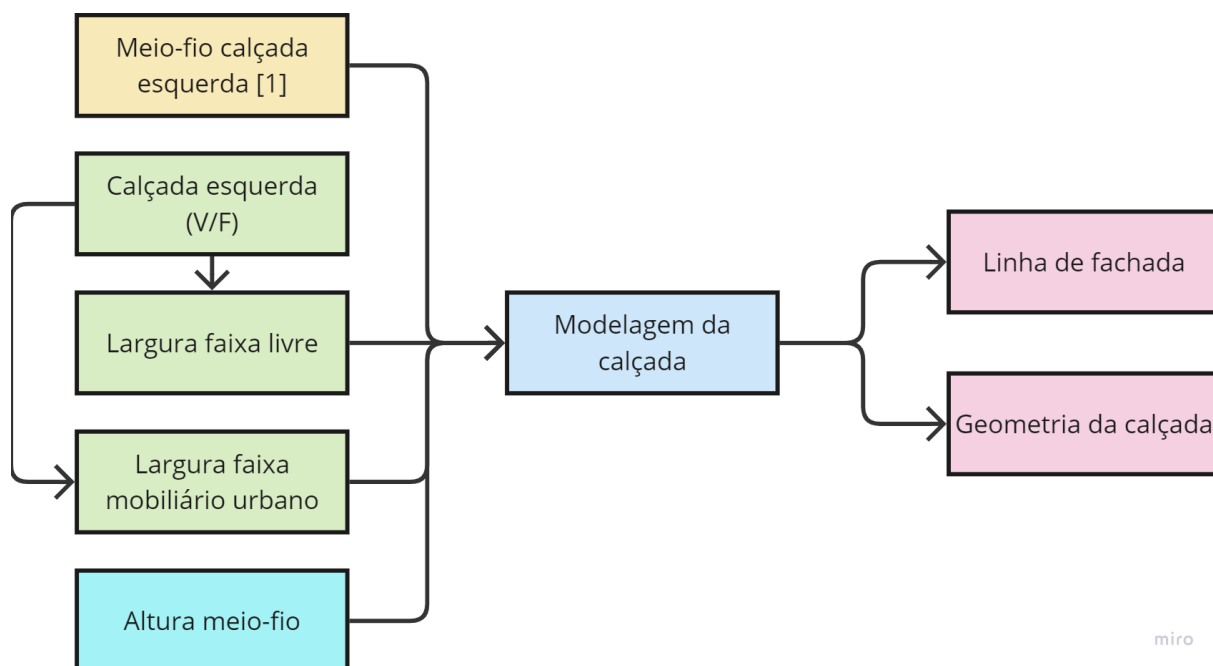
Postos esses esclarecimentos, segue-se para a apresentação dos fluxogramas.

Figura 77 – Parte 1. Modelagem da via principal



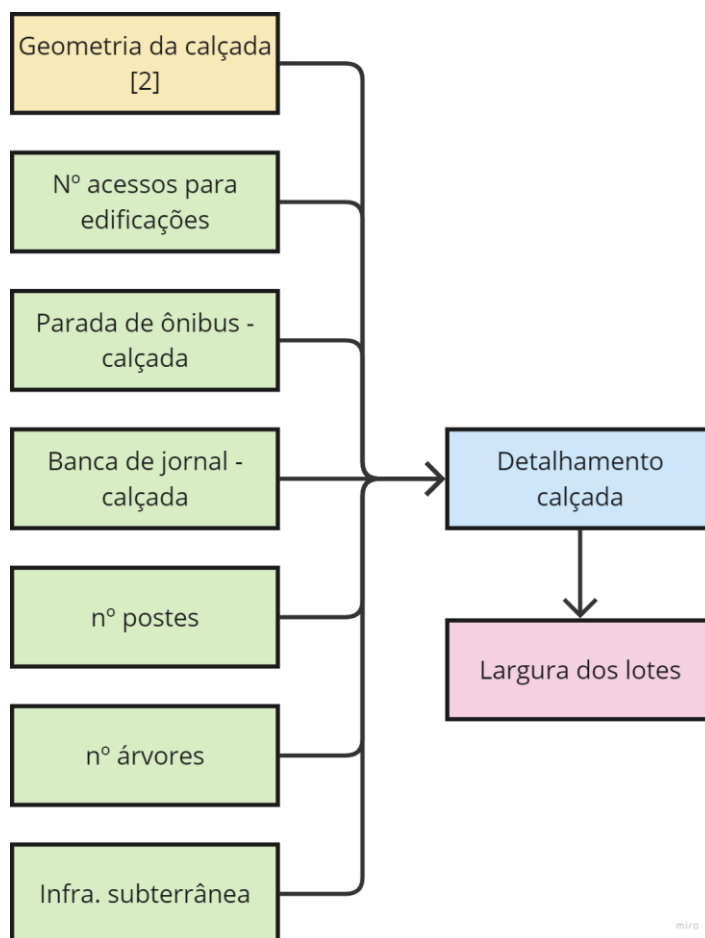
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 78 – Parte 2. Modelagem das calçadas



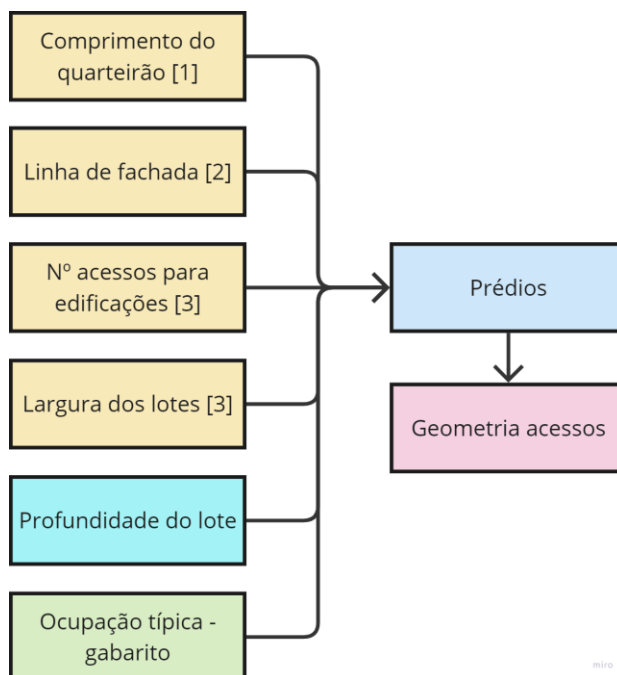
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 79 - Parte 3. Detalhamento das calçadas



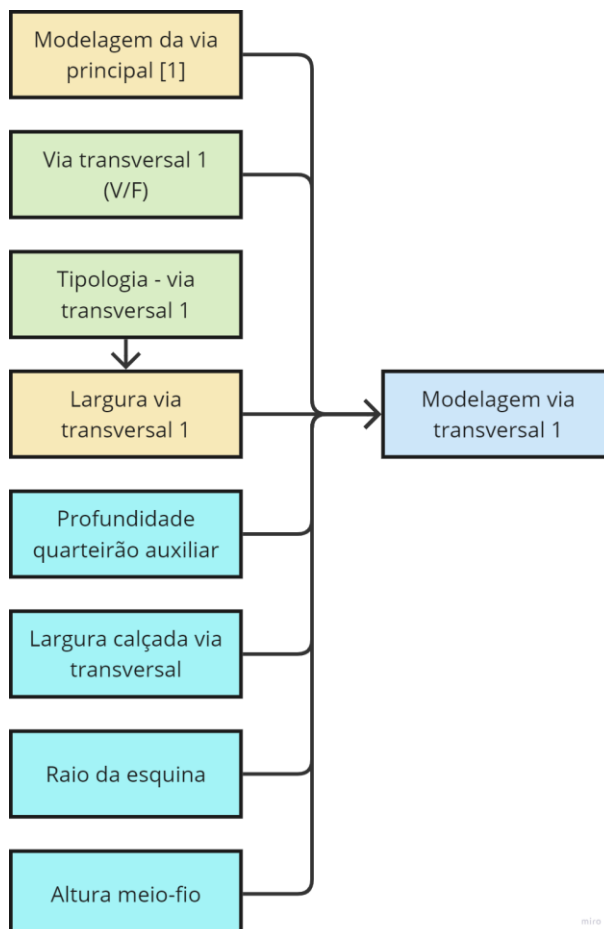
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 80 - Parte 4. Prédios e acessos



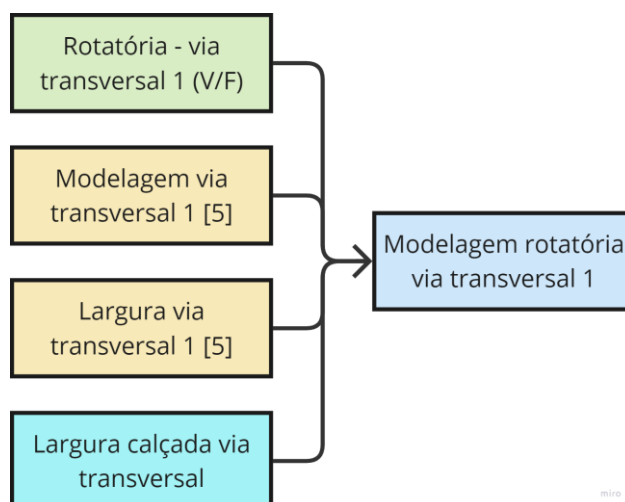
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 81 - Parte 5. Modelagem da via transversal 1



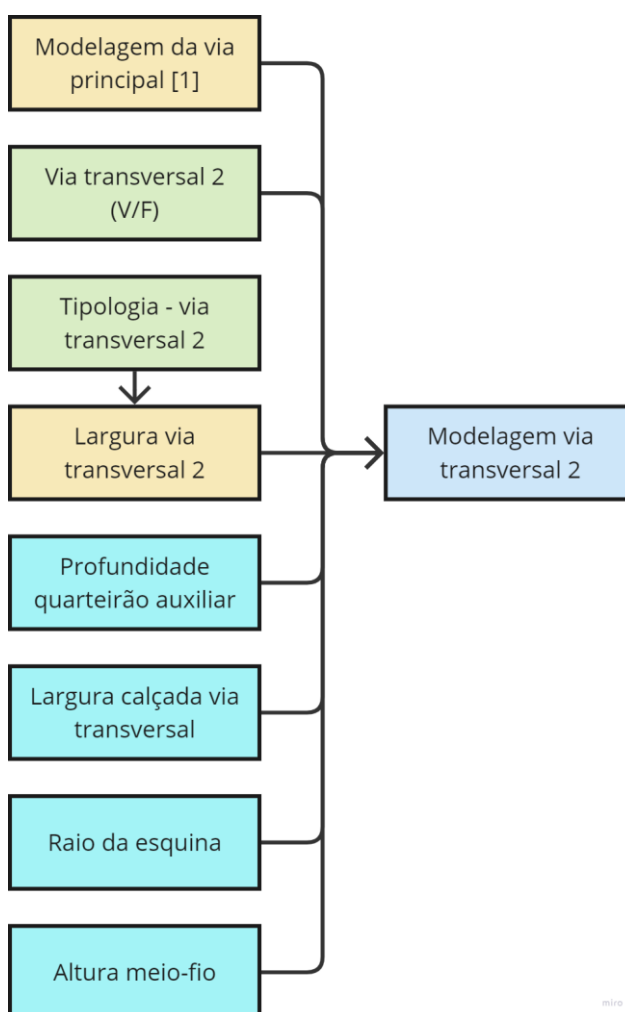
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 82 - Parte 6. Modelagem da rotatória na via transversal 1



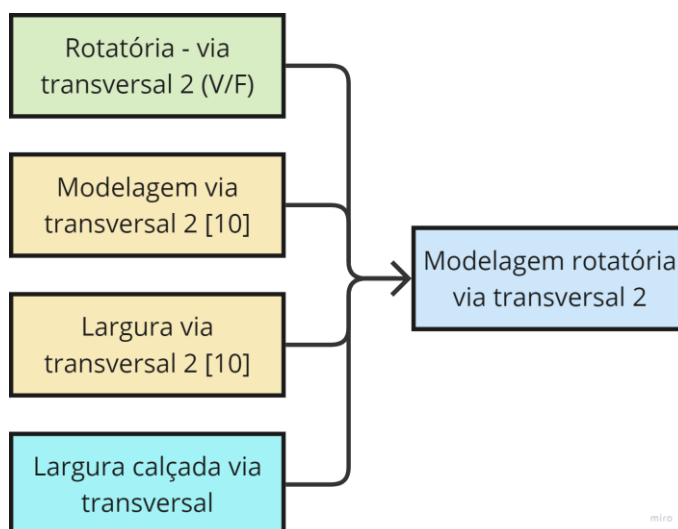
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 83 - Parte 7. Modelagem da via transversal 2



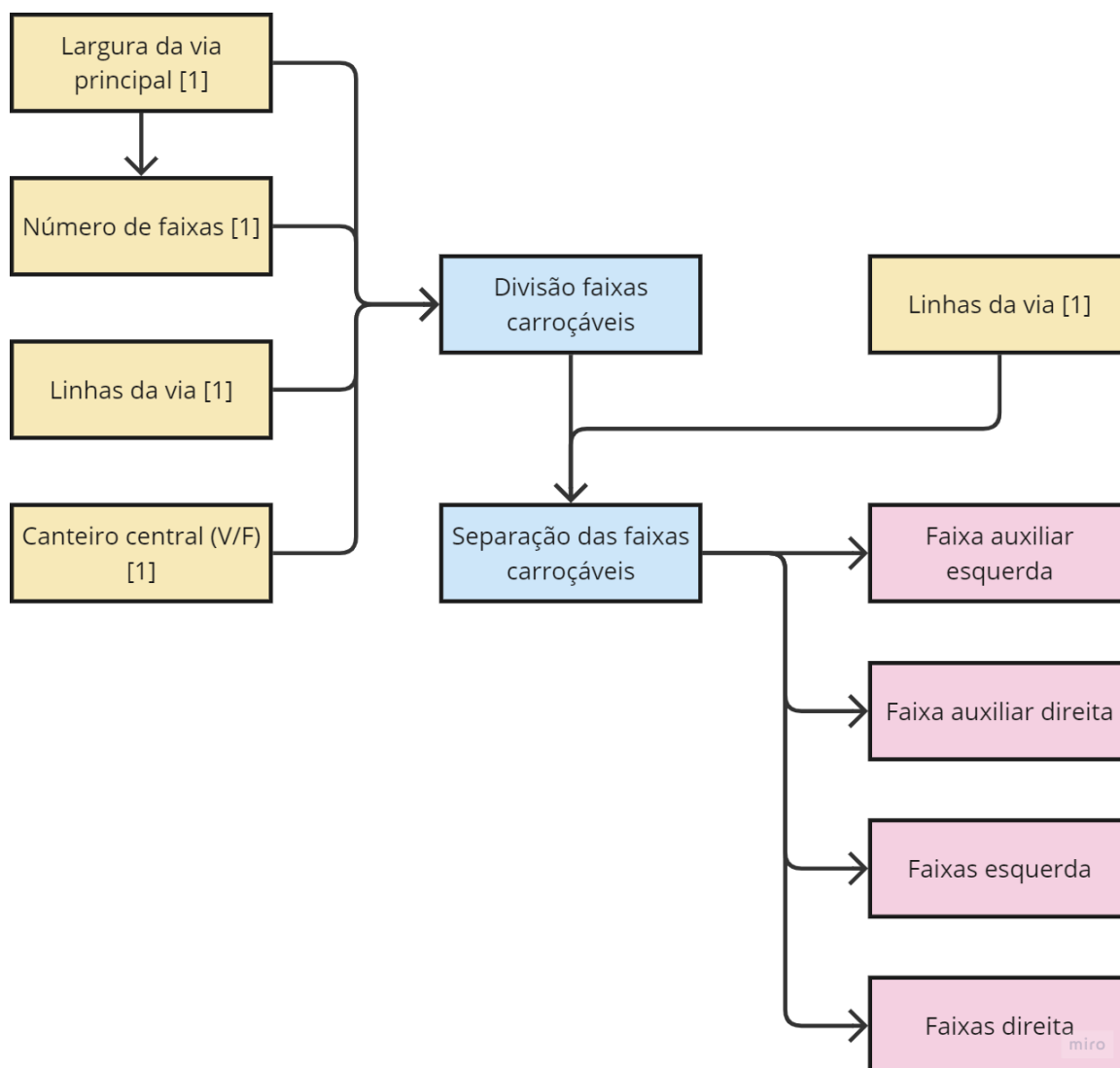
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 84 - Parte 8. Modelagem da rotatória na via transversal 2



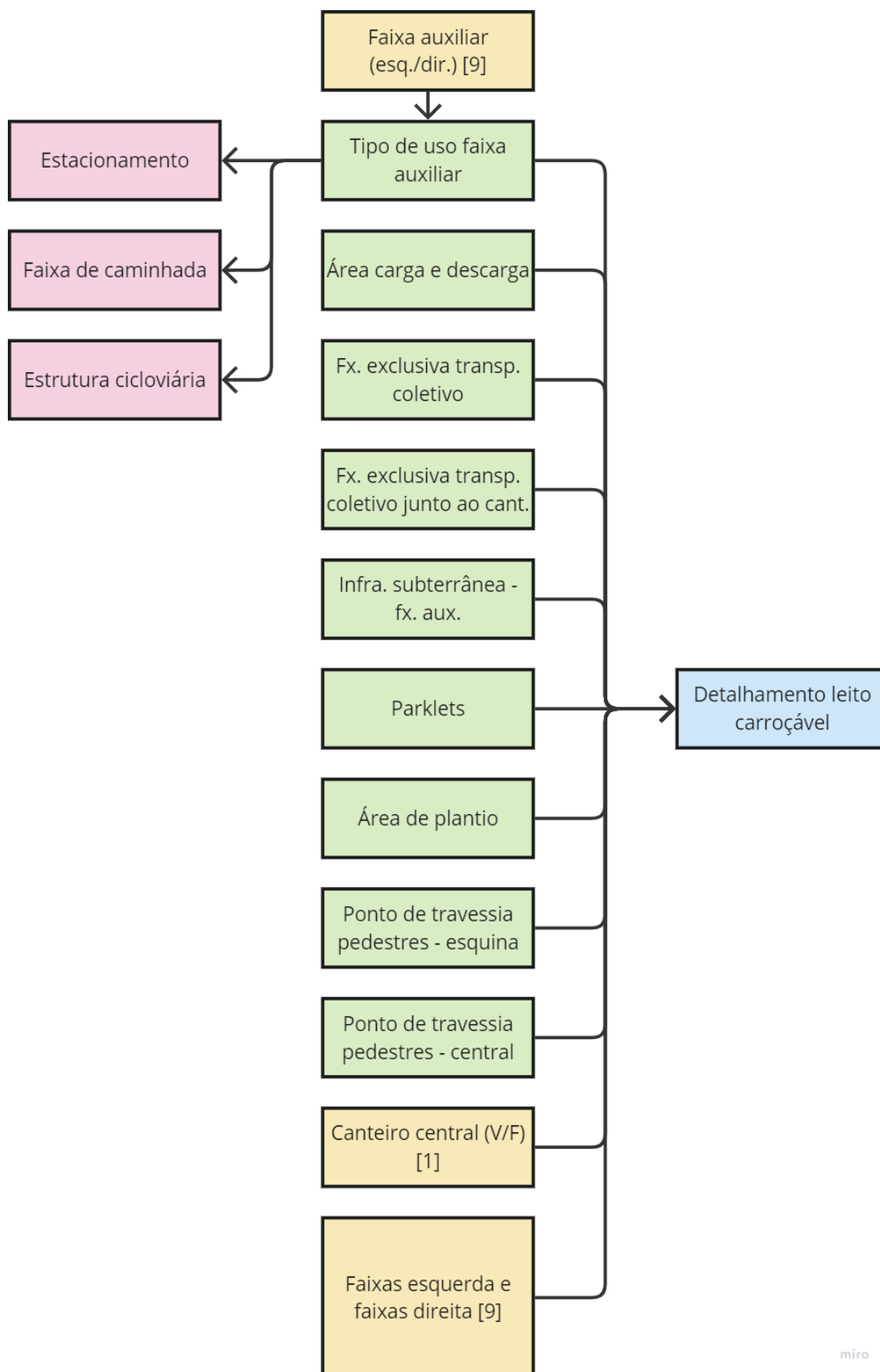
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 85 - Parte 9. Divisão das faixas carroçáveis e separação de acordo com o uso



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

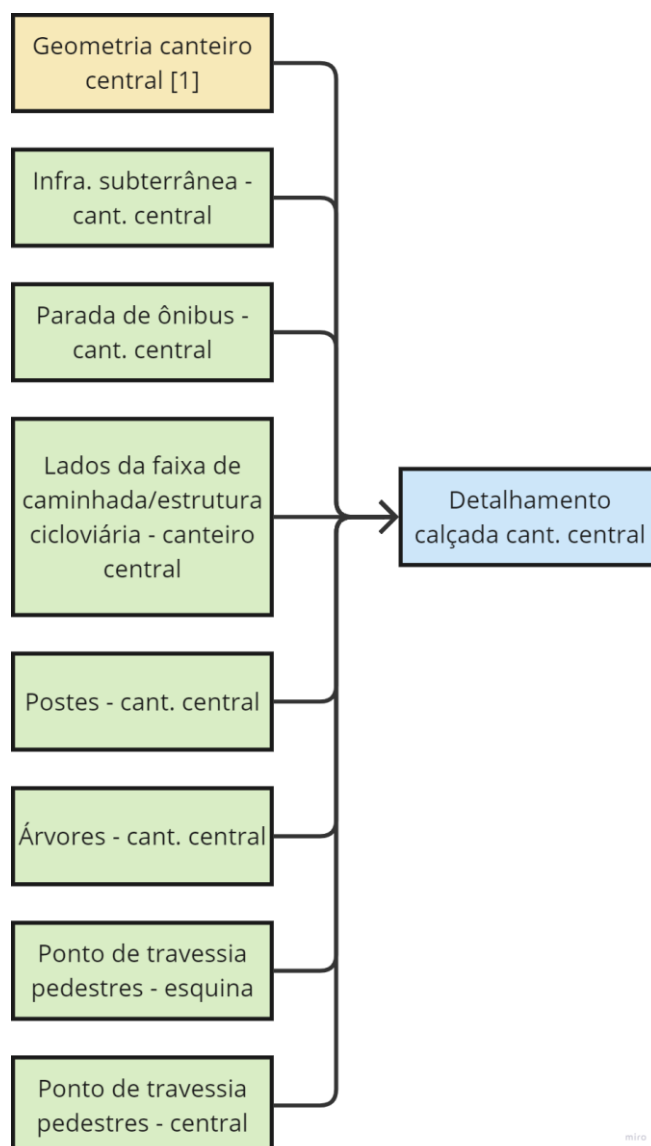
Figura 86 - Parte 10. Detalhamento do leito carroçável



miro

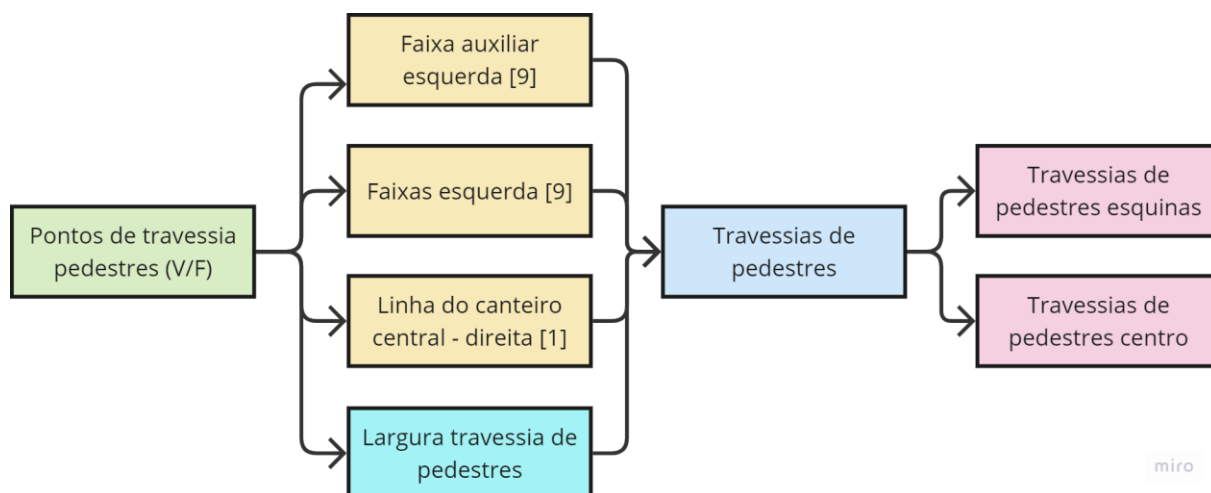
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 87 - Parte 11. Detalhamento do canteiro central



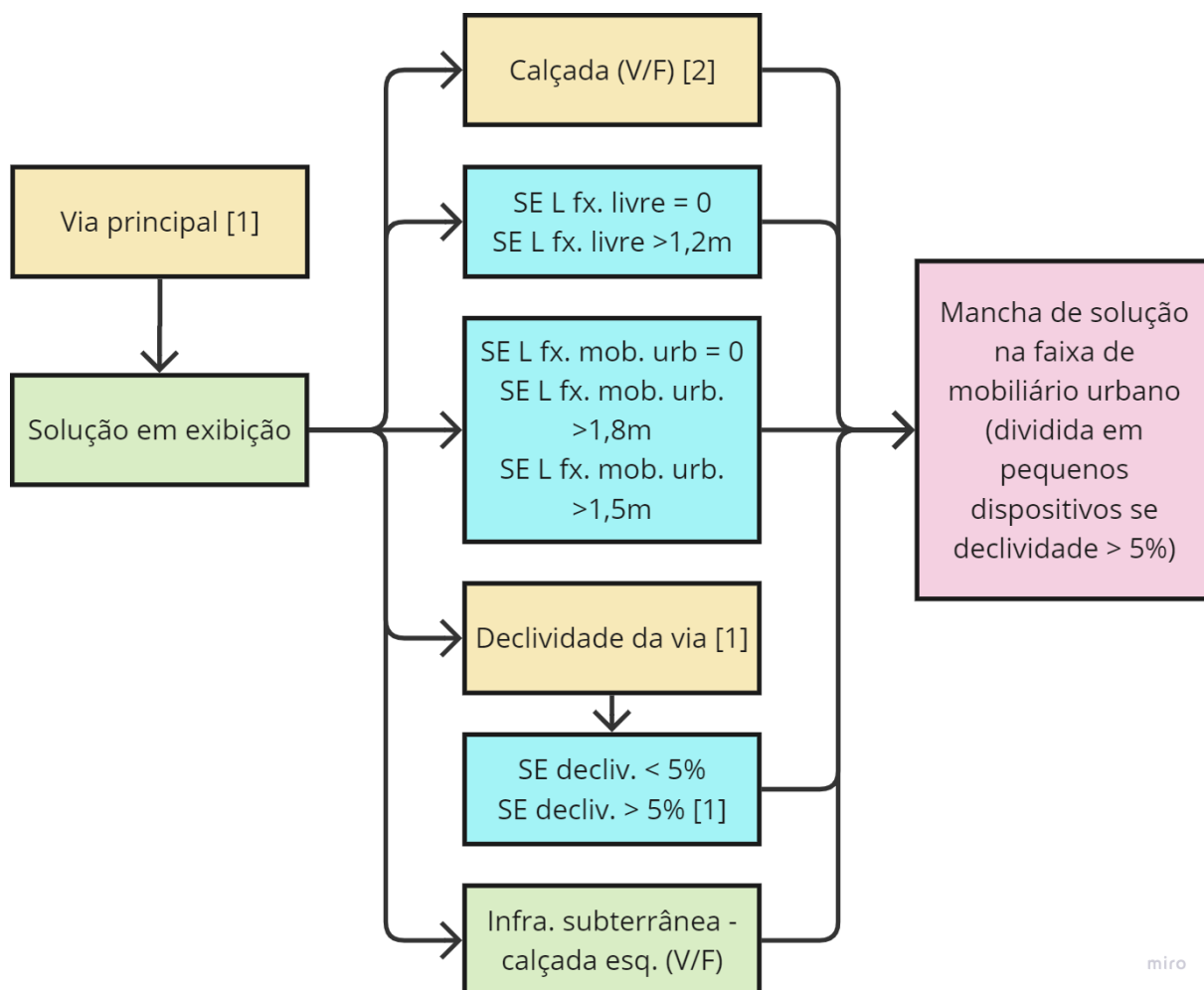
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 88 - Parte 12. Modelagem de travessia de pedestres



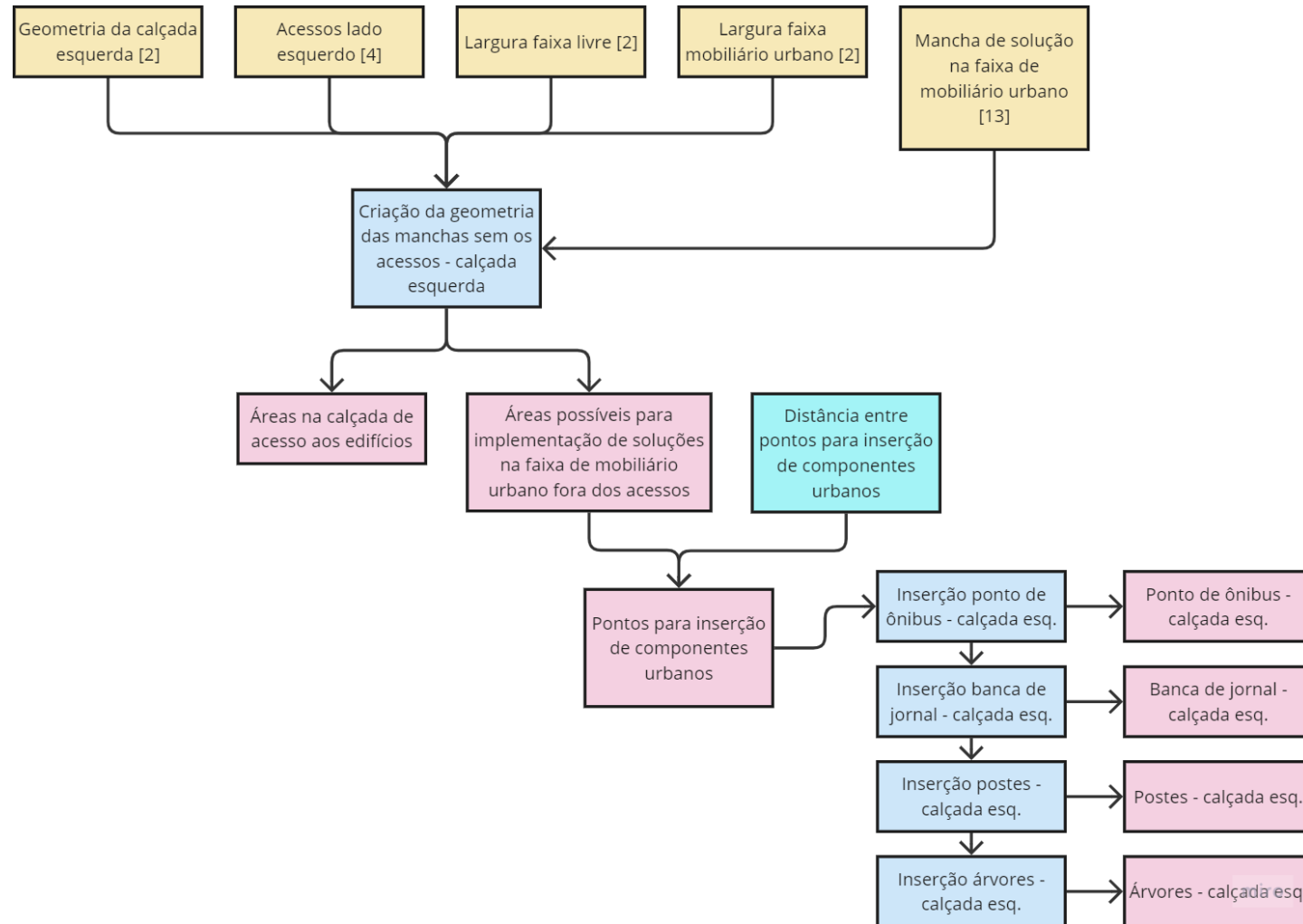
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 89 - Parte 13. Manchas indicativas de solução na calçada



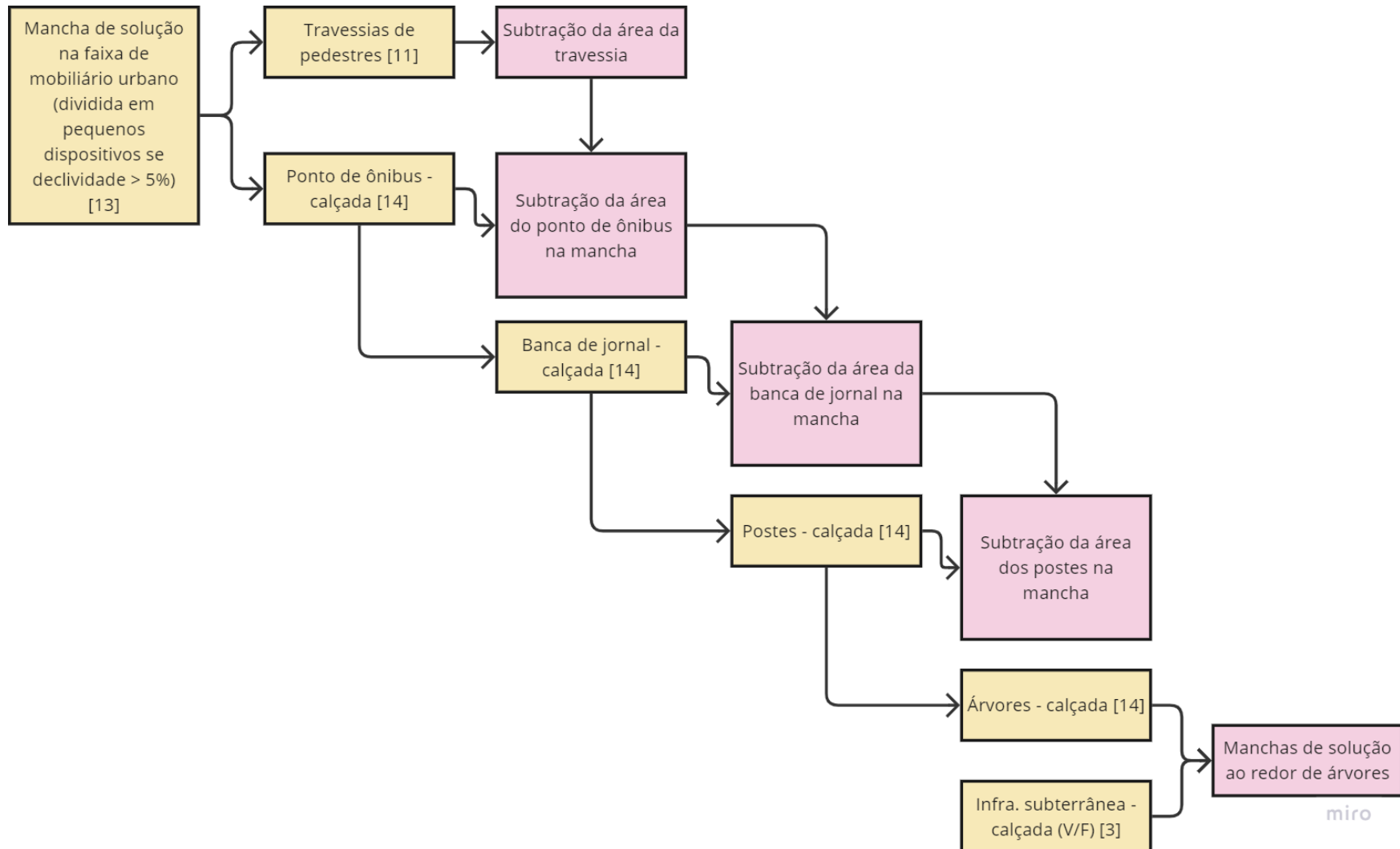
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 90 - Parte 14. Criação das geometrias das manchas sem os acessos e definição de pontos de inserção de componentes urbanos na calçada



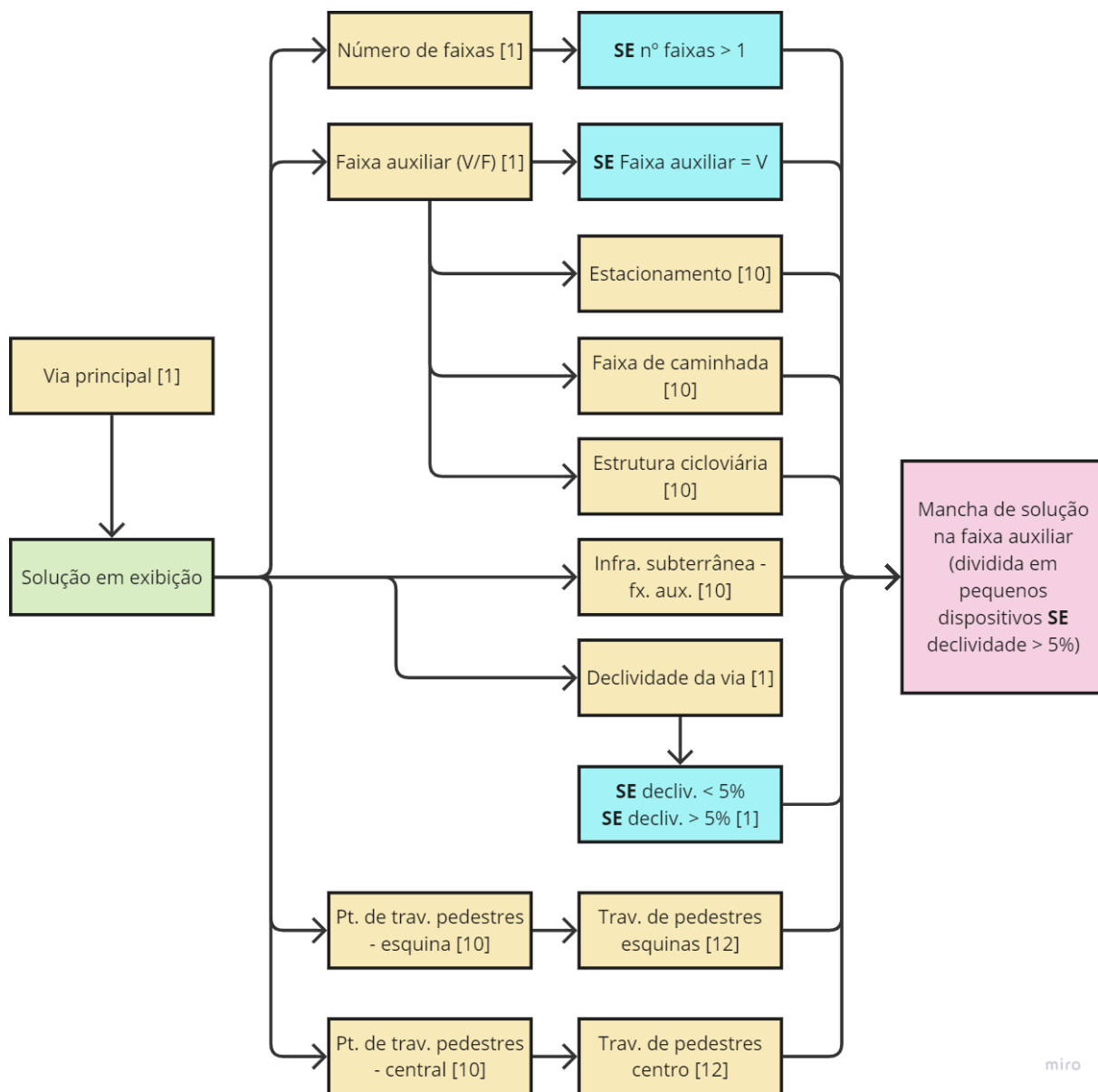
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 91 - Parte 15. Subtração das áreas dos componentes urbanos nas manchas de solução na calçada



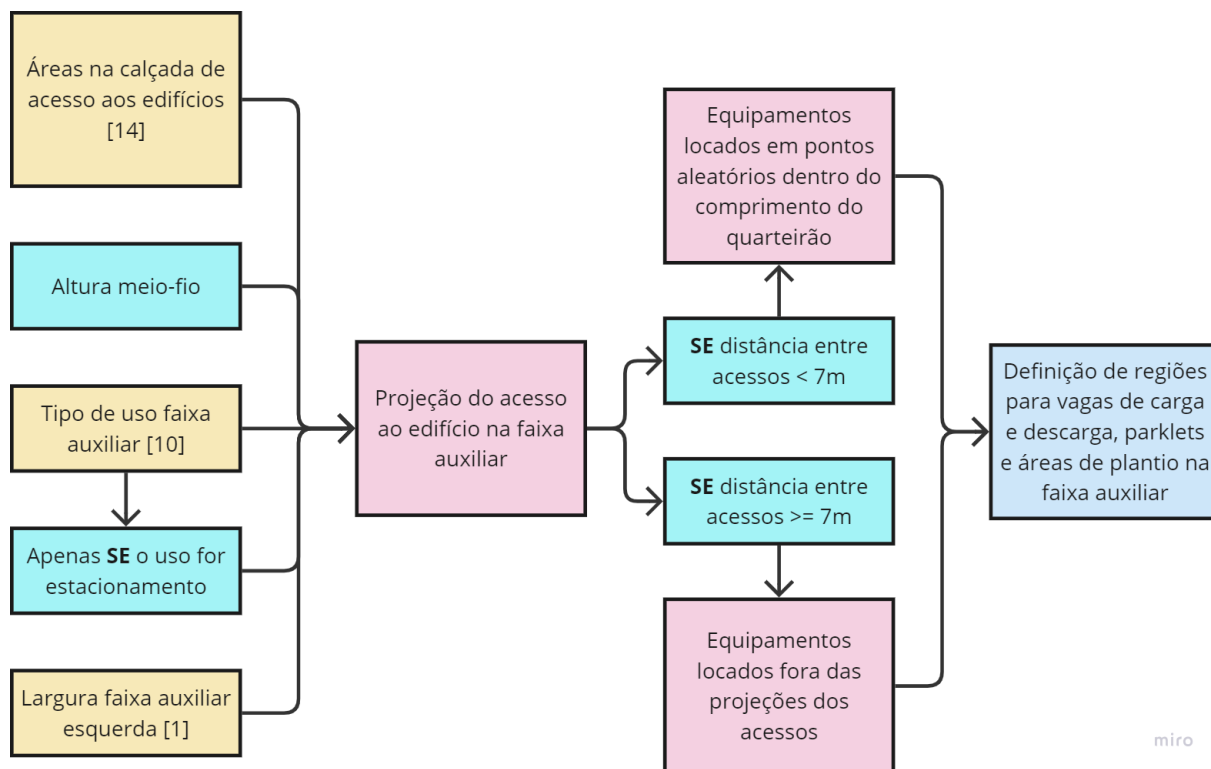
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 92 - Parte 16. Manchas de solução da faixa auxiliar



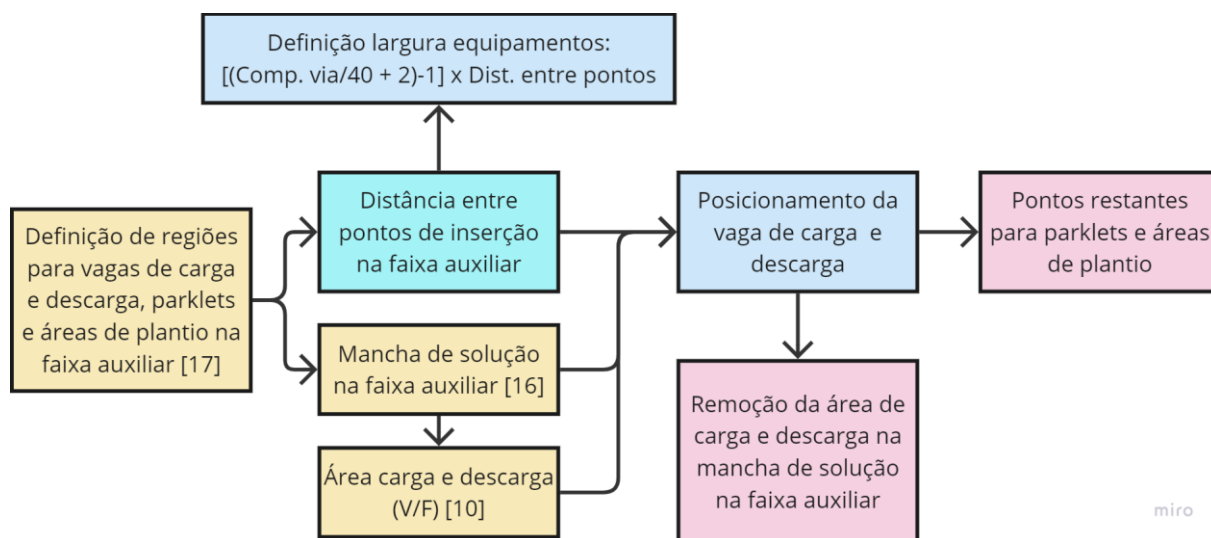
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 93 - Parte 17. Definição de regiões para vaga de carga e descarga, *parklets* e áreas de plantio na faixa auxiliar



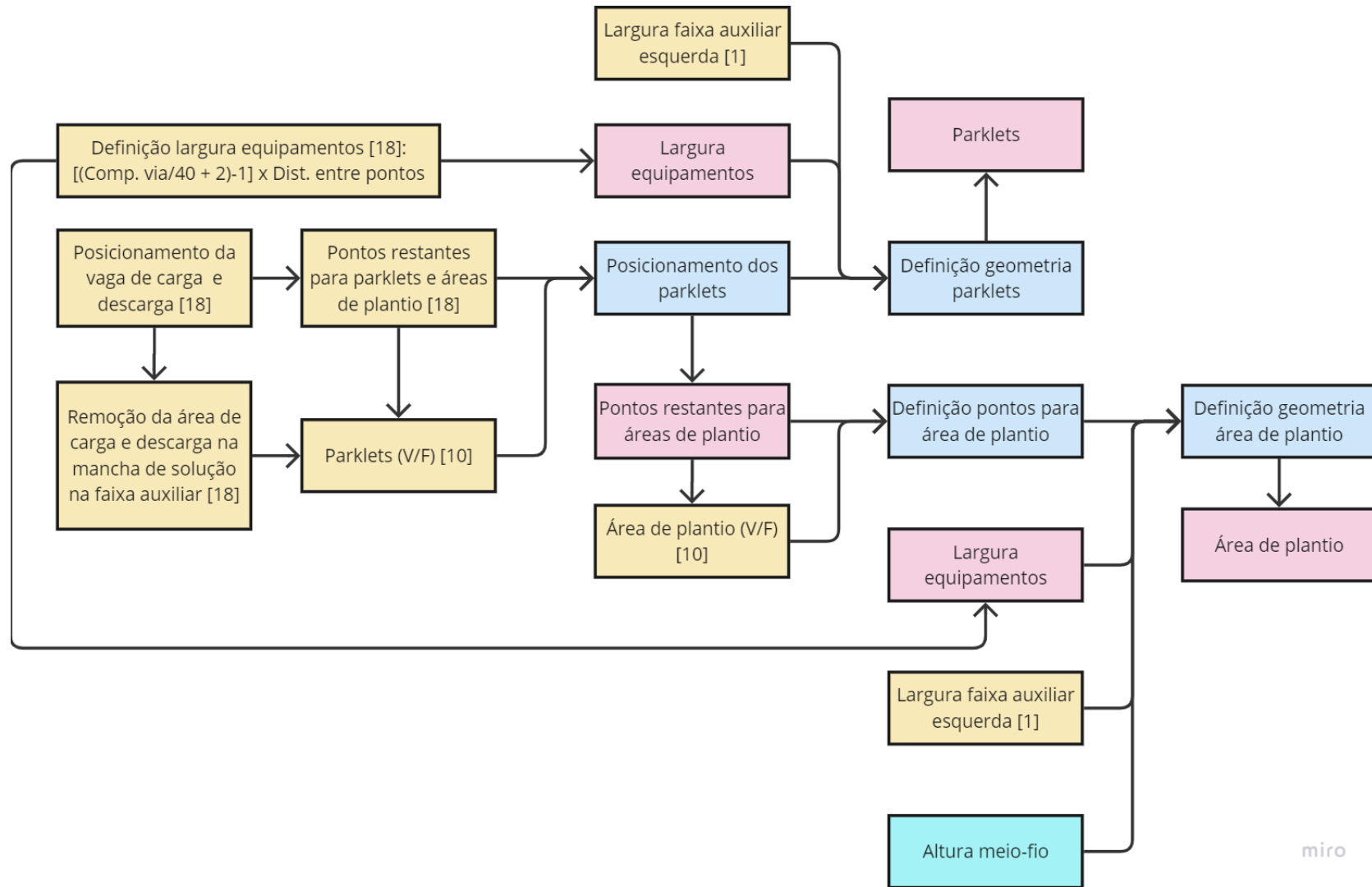
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 94 - Parte 18. Posicionamento da vaga de carga e descarga na faixa auxiliar



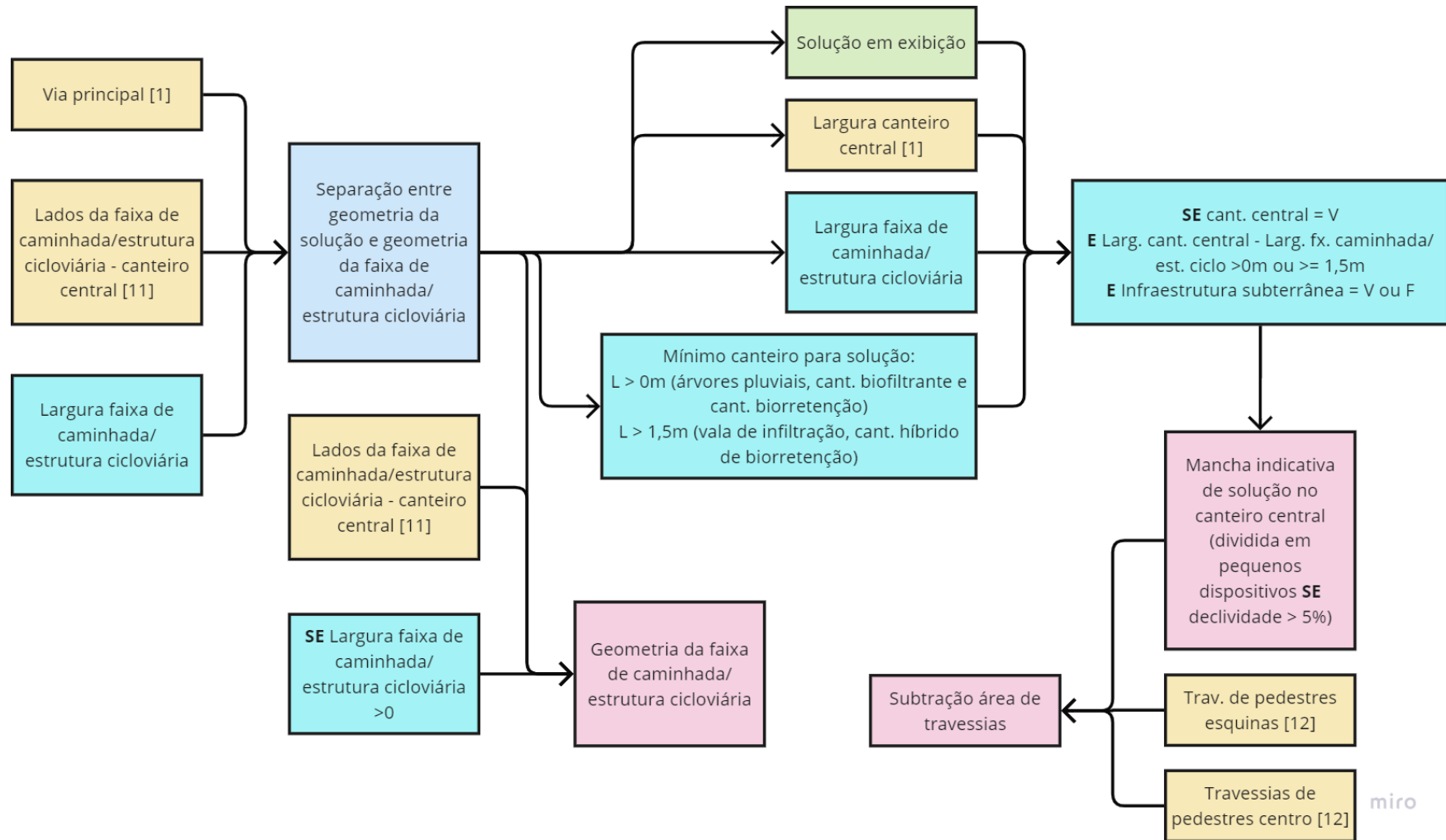
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 95 - Parte 19. Posicionamento dos *parklets* e áreas de plantio na faixa auxiliar



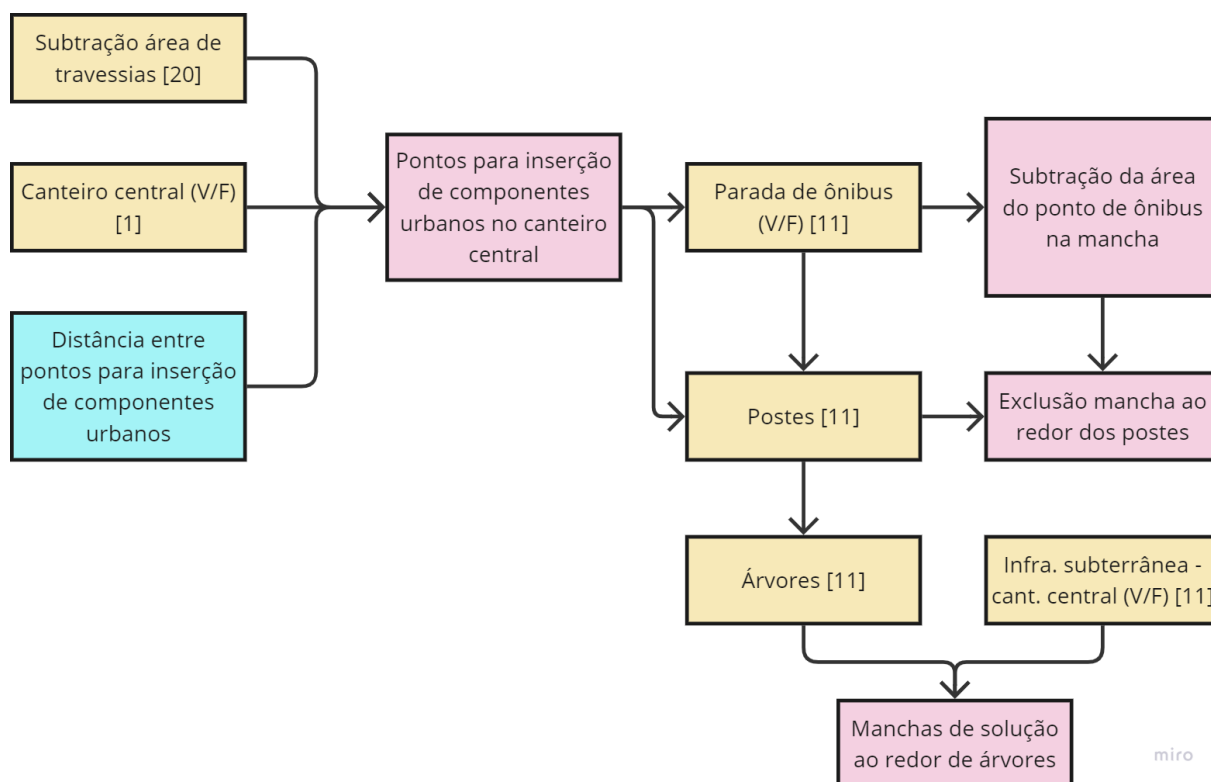
Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 96 - Parte 20. Manchas indicativas de solução no canteiro central



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 97 - Parte 21. Inserção dos equipamentos urbanos no canteiro central



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Construído o algoritmo e, com isso, a possibilidade de abstração de trecho de via, torna-se necessário informar como sua utilização pode ocorrer.

O item a seguir apresenta essa orientação.

5.2 Usabilidade do algoritmo

O primeiro passo para a utilização do algoritmo é a elaboração de uma lista de informações iniciais que devem ser coletadas sobre a via que se deseja analisar. Essas informações alimentarão as instruções e serão base para a abstração que resulta na modelagem da rua.

Assim, considerando-se os *inputs* solicitados ao usuário que manipula o modelo, os seguintes dados devem ser previamente levantados:

- Comprimento do quarteirão;
- Declividade aproximada da via;
- Número de acessos a edificações;
- Presença de faixa livre para circulação de pedestres nas calçadas;

- Largura de faixa de mobiliário urbano nas calçadas;
- Presença de parada de ônibus nas calçadas ou canteiro central;
- Presença de banca de jornal nas calçadas;
- Número de postes nas calçadas e canteiro central, se houver;
- Número de árvores nas calçadas e canteiro central, se houver;
- Tipologia da via principal: número de faixas carroçáveis;
- Tipo de uso da faixa auxiliar, se houver: estacionamento, faixa de caminhada, estrutura cicloviária;
- Presença de travessia de pedestres nas esquinas e no centro do quarteirão;
- Presença de vaga de carga e descarga na faixa auxiliar;
- Presença de *parklets* na faixa auxiliar;
- Presença de áreas de plantio na faixa de mobiliário urbano;
- Presença de faixa exclusiva de ônibus junto às calçadas ou junto ao canteiro central;
- Presença de canteiro central;
- Largura do canteiro central;
- Presença de faixa de caminhada ou estrutura cicloviária junto ao canteiro central;
- Presença de infraestrutura subterrânea nas calçadas, canteiro central ou faixas auxiliares da via;
- Presença de rotatórias nas extremidades do quarteirão analisado.

Com tais informações em mãos, o próximo passo é o acesso ao *Shape Diver*, uma plataforma *online* que permite que o modelo gerado no *Rhinoceros* e *Grasshopper* seja acessível a qualquer usuário através do *QR Code* disponível na figura 98 ou pelo seguinte link: <https://www.shapediver.com/app/m/drenagemurbanasustentavel>.

Figura 98 - QR Code para acesso ao modelo na plataforma *Shape Diver*

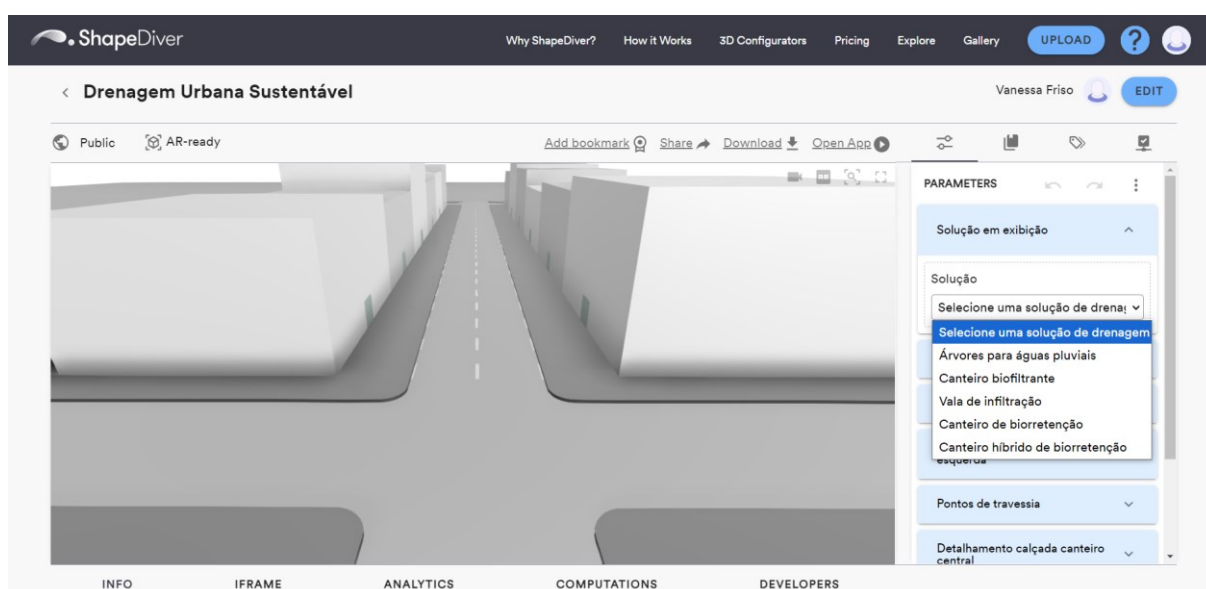


Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Essa ferramenta possibilita que o modelo seja acessado sem grandes dificuldades, permitindo compartilhamento com maior número de usuários, o que colabora para que a consideração sobre a aplicação de estratégias sustentáveis de drenagem urbana em ruas seja propagada.

Apresentando-se, então, o modelo, a figura 99 traz a imagem inicial ao se acessá-lo no *Shape Diver*. Observa-se que na lateral direita da tela estão os parâmetros passíveis de variações. Embora não haja uma ordem obrigatória entre eles para se iniciar a manipulação do modelo, sugere-se que o primeiro a ser selecionado seja a solução de drenagem que se deseja avaliar. Nota-se, inclusive, que algumas características da via já aparecem no modelo inicial, como número de faixas e acessos aos edifícios. No entanto, mesmo esses parâmetros podem ser modificados.

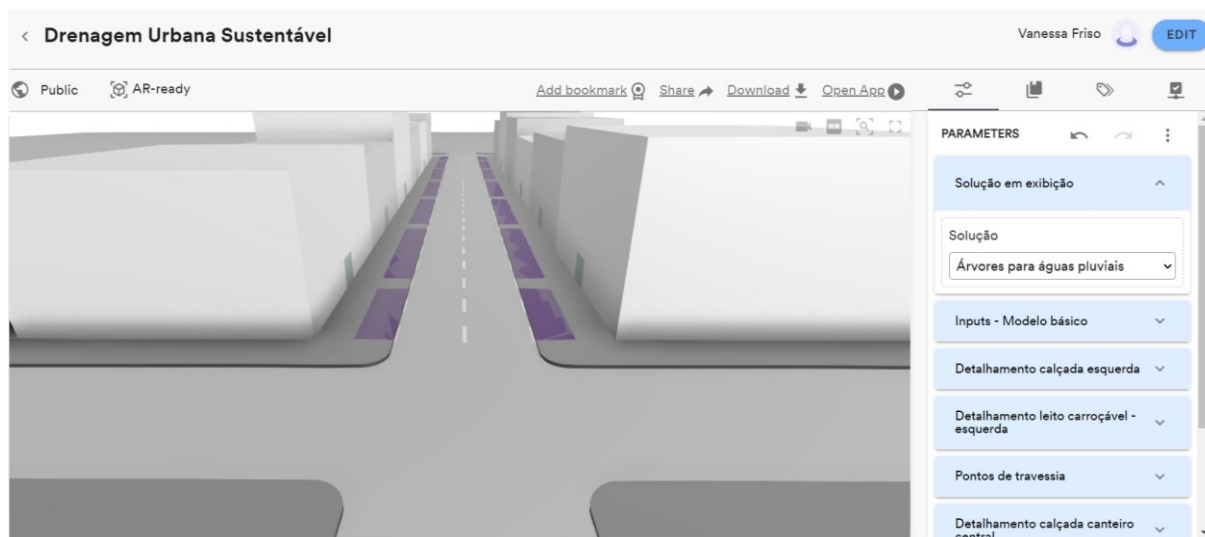
Figura 99 - Tela inicial ao acessar o modelo no *Shape Diver*



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Sequencialmente, ao selecionar uma das opções de solução de drenagem sustentável, o usuário já observa as primeiras indicações de possíveis áreas para sua aplicação a partir de manchas coloridas (FIGURA 100).

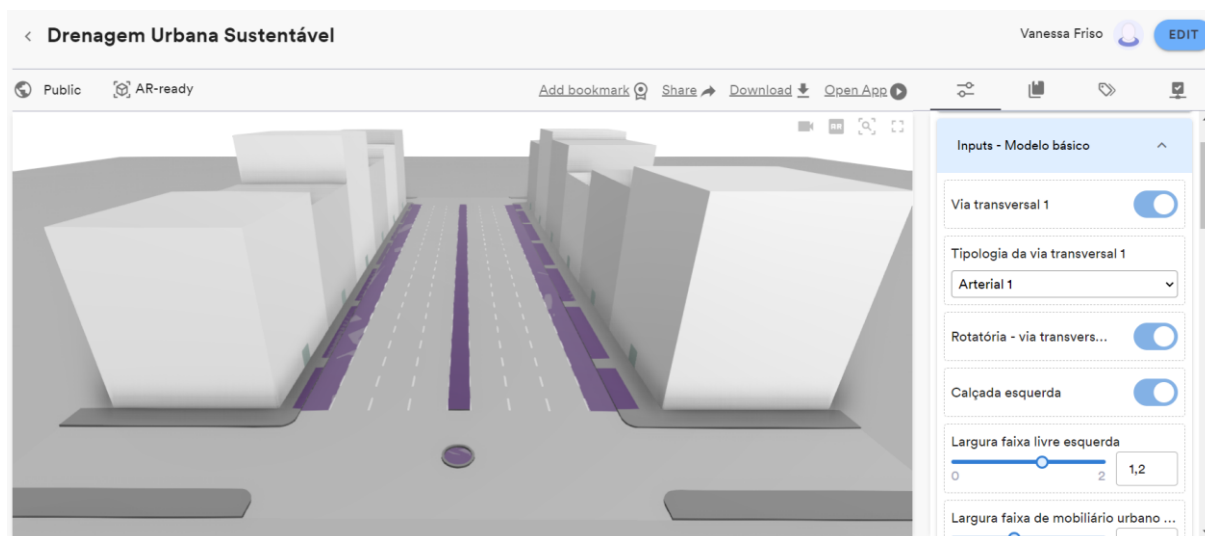
Figura 100 - Modelo com as indicações iniciais de locais para implementação da medida selecionada



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Depois, alterando-se os inputs para a configuração do modelo básico, a abstração com as características específicas do quarteirão onde se pretende instalar as estratégias começa a se materializar, assim como novas manchas começam a surgir (FIGURA 101).

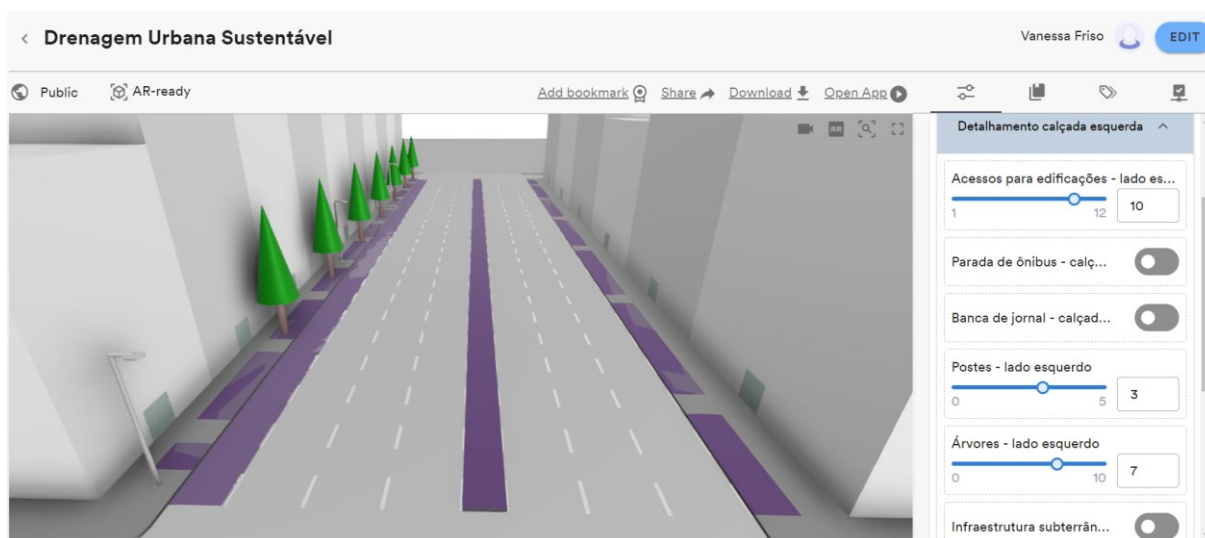
Figura 101 - Modelo sendo modificado a partir das características do quarteirão a ser analisado



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

No passo seguinte é possível alterar as características da calçada esquerda, inclusive modificando o número de acessos às edificações (FIGURA 102). Aparecem também os equipamentos como pontos de ônibus e bancas de jornal, postes e árvores.

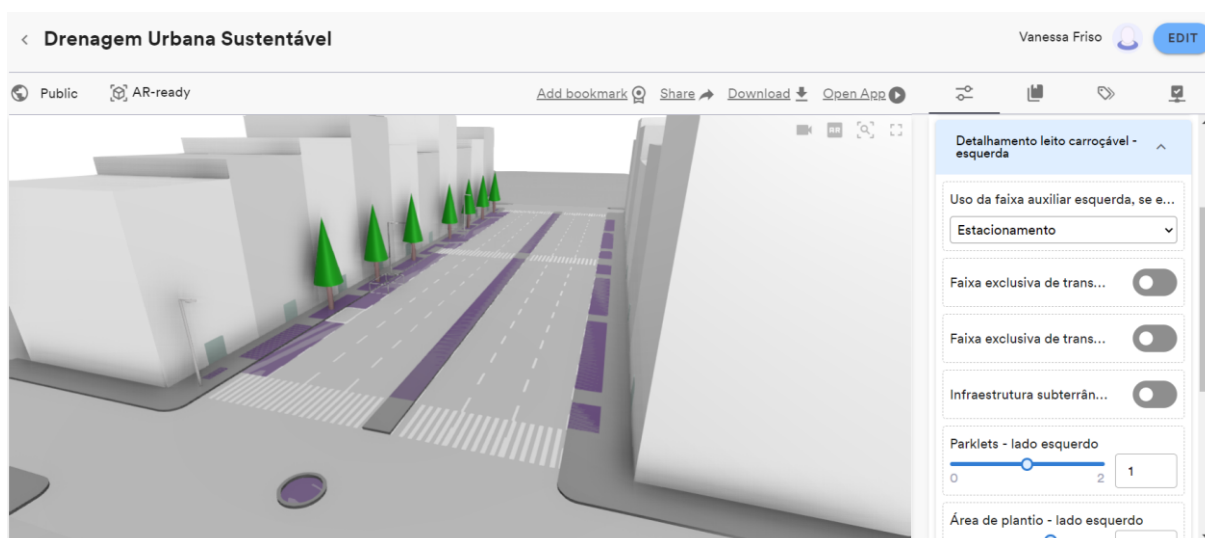
Figura 102 - Inserção das características da calçada esquerda no modelo



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Na próxima etapa, as mudanças começam a acontecer no leito carroçável. Eventuais usos específicos para as faixas de rolagem (faixa exclusiva para transporte coletivo, por exemplo), assim como faixas de travessia de pedestres podem ser adicionadas (FIGURA 103).

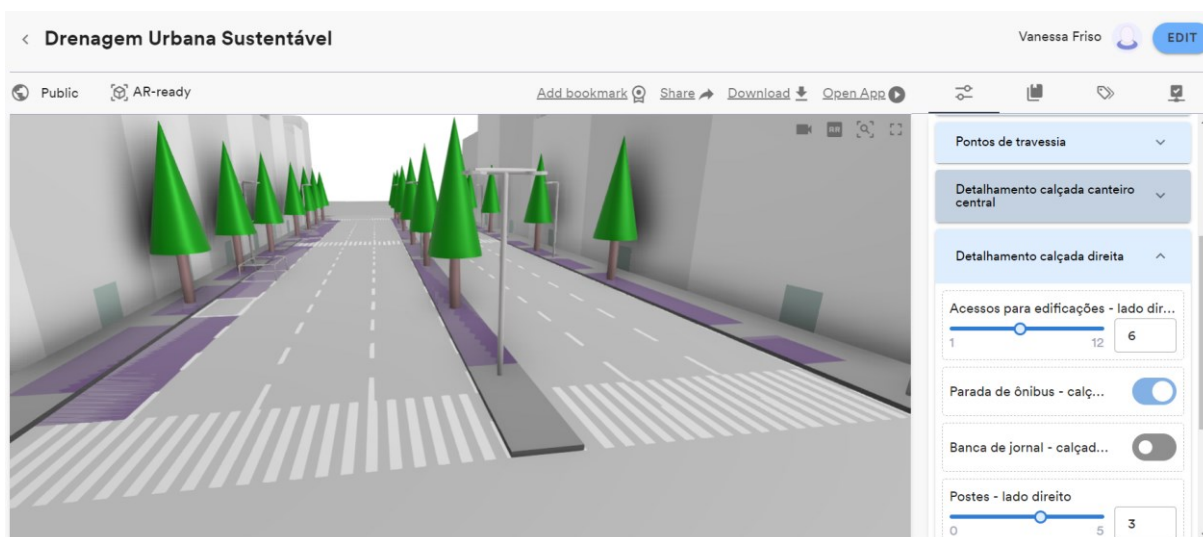
Figura 103 - Caracterização do leito carroçável esquerdo e indicação das faixas para travessia de pedestres



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Na sequência, insere-se as características do canteiro central e da calçada direita (FIGURA 104). Novamente, é possível indicar número de acessos às edificações, postes, árvores, existência de banca de jornal e ponto de ônibus. No canteiro central há a possibilidade de indicação de faixa de caminhada, ou estrutura ciclovária, assim como número de postes e árvores.

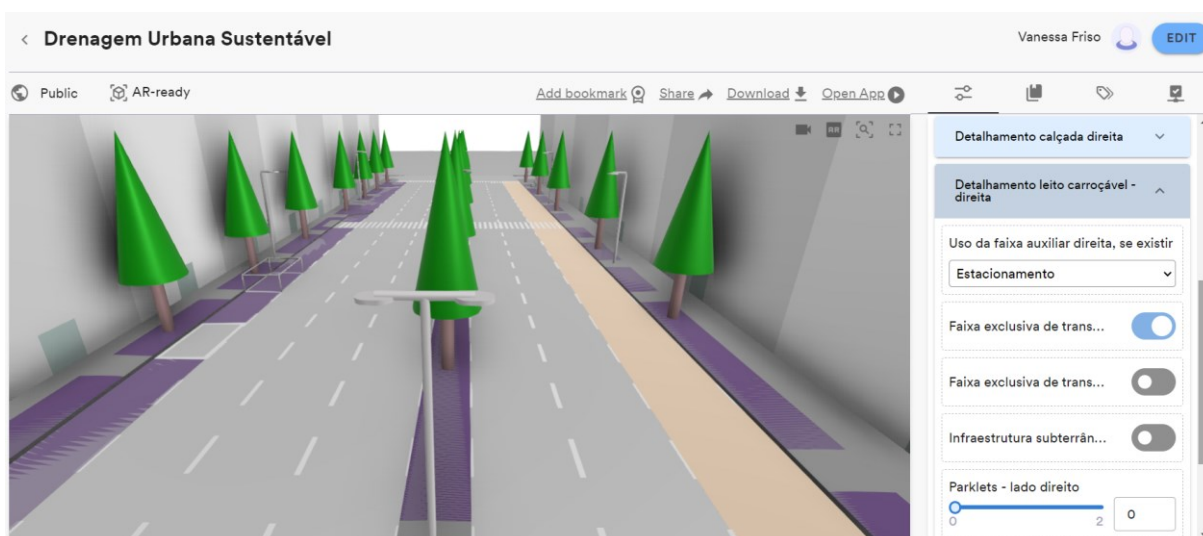
Figura 104 - Caracterização do canteiro central e da calçada direita



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

O último passo para a caracterização do modelo refere-se às informações sobre o leito carroçável do lado direito (FIGURA 105). Mais uma vez, é possível indicar usos específicos para as faixas de rolagem, assim como a existência de *parklets*, vaga de carga e descarga e áreas de plantio.

Figura 105 - Caracterização do leito carroçável direito



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Por fim, tem-se a representação do quarteirão e as manchas indicativas dos locais possíveis para a instalação das estratégias sustentáveis de drenagem (FIGURA 106).

Figura 106 - Visão geral do modelo completo com as manchas indicando os possíveis locais para implementação da solução de drenagem escolhida.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do atual cenário climático, que vem se apresentando com tantas mudanças desafiadoras para a humanidade, tratar o ambiente urbano a partir dos benefícios que as funções da natureza promovem é primordial.

E, nessa busca por unir o funcionamento do meio urbano às funções da natureza, o presente trabalho alcançou seu objetivo de criar um método simplificado para lidar com as águas no meio urbano.

Com base nos conceitos de Soluções baseadas na Natureza e Desenho Urbano sensível à água, o estudo realizado buscou apontar os aspectos básicos necessários para se considerar a implementação de soluções sustentáveis de drenagem de águas pluviais em vias urbanas.

Assim, a partir da compreensão sobre os elementos que compõe a rua, somada às demandas do meio para aplicação das medidas, a metodologia proposta atende ao desafio de indicar os possíveis espaços para instalação dos mecanismos de drenagem sustentável na estrutura viária.

Ainda, por tratar-se de uma ferramenta que permite visualização dinâmica e praticamente imediata das ações executadas em uma abstração do ambiente, acredita-se que o modelo paramétrico seja uma aplicação útil para o desenvolvimento de projetos em suas fases iniciais. Além disso, espera-se que esse benefício de visualizar as transformações no modelo em tempo real, bem como as modificações nas manchas representativas das regiões possíveis para instalação das soluções, represente um ponto positivo no que se refere a inserir a intenção de aplicação de dispositivos sustentáveis para drenagem no plano de ações dos tomadores de decisões, oferecendo condições para que barreiras institucionais, sociais e culturais sejam superadas.

No entanto, deve-se esclarecer que estratégias implementadas de maneira pontual, mesmo beneficiando o funcionamento do sistema de drenagem existente, não solucionam por completo os problemas relacionados às águas pluviais nas cidades. Para que haja eficácia, é preciso que um sistema de drenagem sustentável seja construído a partir da articulação de medidas adotadas em diversas escalas de intervenção possibilitando, de fato, um atenuante para o sistema tradicional de drenagem (PELLEGRINO; ALENCAR, 2022).

Outro ponto a ser colocado quanto à eficácia das medidas implementadas refere-se à reprodução indiscriminada de soluções adotadas em outras localidades. Embora os efeitos da mudança do clima e as implicações das águas no meio urbano sejam questões globais, cada localidade deve ser considerada diante das suas especificidades econômicas, sociais e culturais para que as estratégias implementadas sejam, além de eficientes, apropriadas, e consequentemente mantidas e apreciadas, pela população que usufruirá dos seus benefícios.

Por fim, como próximos passos, sugere-se que as etapas do Pensamento Computacional não concluídas nesta pesquisa (Apuração, Interação e Generalização) sejam recuperadas através da aplicação da modelagem construída em pequenas localidades, permitindo tanto que a metodologia proposta seja validada fora do ambiente acadêmico, como que eventuais atualizações que se observem necessárias sejam feitas no algoritmo que, por sua vez, será registrado pela CTIT (Coordenação de Transferência e Inovação Tecnológica) da UFMG no INPI (Instituto Nacional de Propriedade Industrial).

REFERÊNCIAS

- ABDOLLAHZADEH, N.; BILORIA, N. Urban microclimate and energy consumption: a multi-objective parametric urban design approach for dense subtropical cities. **Frontiers of Architecture Research**. [s. l.]: Higher Education Press, p. 1-13, 2022.
- ABNT. **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ANDRADE, L. M. S.; MELO, B. B. P.; VIANA, A. P. Desenhando com a água no meio urbano: Padrões espaciais de infraestrutura ecológica e crescimento urbano inteligente. **SBE16 Brazil & Portugal-Sustainable Urban Communities towards a Nearly Zero Impact Built Environment**. [s. l.: s. n.], v. 3, p. 1325-1334, 2016.
- ASLA. American Society of Landscape Architects. **NE Siskiyou Green Street**. Washington: ASLA, c2017. Disponível em: <https://www.asla.org/sustainablelandscapes/greenstreet.html>. Acesso em: 18 ago. 2024.
- BALLARD, B. W. *et al.* **The SuDs Manual**. London: Ciria, 2015.
- BAPTISTA, M.; CARDOSO, A. Rios e cidades: uma longa e sinuosa história... **Revista da UFMG**. Belo Horizonte: [s. n.], v. 20, n. 2, p. 124–153, 2013.
- BENEDICT, M. A.; MCMAHON, E. T. **Green infrastructure**: linking landscapes and communities. Washington, DC: Island Press, 2006.
- BIDONE, F. R. A.; TUCCI, C. E. M., Microgrenagem. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T., **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH/ Editora da Universidade/ UFRGS, 1995.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **4º Diagnóstico de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas**. Brasília: SNIS, 2020.
- BRITTO, A. L. N. P. *et al.* Da fragmentação à articulação: a política nacional de saneamento e seu legado histórico. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, [s. l.: s. n.], v. 14, n. 1 p. 65-83, 2012.
- BROWN, R. R.; FARRELLY, M. A. Delivering sustainable urban water management: a review of the hurdles we face. **Water Science & Technology**. [s. l.: s. n.], p. 839-846, 2009.
- CAMPOS, V. N. O., Soluções baseadas na natureza (sbn) e drenagem urbana em cidades latino-americanas: desafios para implementar soluções fluidas em ambientes rígidos. **Revista LABVERDE**. São Paulo: FAUUSP, v. 11, n. 1, p. 73-94, 2021.
- CARETTA, M.A. *et al.* Water. In: IPCC. **Climate Change 2022: impacts, adaptation and vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report

of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, p. 551-712, 2022.

CHAN, F. K. S. *et al.* "Sponge City" in China - A breakthrough of planning and flood risk management in the urban context. **Land Use Policy**, [s. l.: s. n.], v. 76, p. 772–778, 2018.

CHAPA, F.; PÉREZ, M.; HACK, J. Experimenting transition to sustainable urban drainage systems - identifying constraints and unintended processes in a tropical highly urbanized watershed. **Water**, [s. l.]: MDPI, v. 12, n. 3554, p. 1–23, 2020.

CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPÇÃO, R. S. F. V.; KLIGERMAN, D. C. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. **Saúde Debate**. Rio de Janeiro: [s. n.], v. 43, p. 94–108, 2019.

CITY PARKS ALLIANCE. **Portland's Green Street Program**. Washington: City Parks Alliance, c2024. Disponível em: <https://cityparksalliance.org/resource/portland-green-street-program>. Acesso em: 18 ago. 2024.

COHEN-SHACHAM, E. *et al* (eds.). **Nature-based Solutions to address global societal challenges**. Gland, Switzerland: IUCN, 2016.

CORMIER, N. S.; PELLEGRINO, P. R. M. Infra-estrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. **Paisagem e Ambiente**, n. 25, p. 127-142, 2008.

CREA-MG. **Sustentabilidade e Eficiência Energética no Ambiente Construído**. Belo Horizonte: [s. n.], 2009. Disponível em: <http://www.crea-mg.org.br/publicacoes/Cartilha/Sustentabilidade%20e%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20no%20Ambiente%20Constru%C3%ADdo.pdf>. Acesso em: 04 set. 2017.

CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO – CTB. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1997.

CUNY, J.; SNYDER, L.; WING, J. M. **Demystifying Computational Thinking for Non-Computer Scientists**: Computational Thinking: What and Why? [s. l.: s. n.], 2010. Disponível em: <https://www.cs.cmu.edu/~CompThink/resources/TheLinkWing.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2023.

DEL PINO, D. P.; BORELLI, S.; PAULEIT, S. Nature-Based Solutions in Latin American Cities. In: Brears R.C. (ed.). **The Palgrave Handbook of Climate Resilient Societies**, [s. l.: s. n.], 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-32811-5_120-1. Acesso em: 05 out. 2020.

DUNNETT, Nigel. **Grey to Green**. [s. l.: s. n.], c2024. Disponível em: <https://www.nigeldunnett.com/grey-to-green-2>. Acesso em: 18 ago. 2024.

FARR, D. **Urbanismo sustentável: desenho urbano com a natureza**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

FLETCHER, T. D. *et al.* SUDS, LID, BMPs, WSUD and more: The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, [s. l.]: Taylor&Francis, v. 12, n. 7, p. 525-542, 2015.

FOLHA. **Jardim de chuva**: São Paulo recebe certificado internacional, [s. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://folhavponline.com.br/2022/10/jardim-de-chuva-sao-paulo-recebe-certificado-internacional>. Acesso em: 10 maio. 2024

FRITZEN, M.; BINDA, A. L. Alterações no ciclo hidrológico em áreas urbanas: cidade, hidrologia e impactos no ambiente. **Ateliê Geográfico**, [s. l.: s. n.], v. 5, n. 3, p. 239-254, 2011.

GEYER, P.; BUCHHOLZ, M. Parametric systems modeling for sustainable energy and resource flows in buildings and their urban environment. **Automation in Construction**. [s. l.]: Elsevier, v. 22, p. 70-80, 2012.

GONZÁLEZ-MAHECHA, E.; MINOJA, L.; CALDAS, L. R.; TRIBOUILLARD, C. **Vamos construir verde?** Guia prático para edificações, espaços públicos e canteiros sustentáveis no Brasil, [s. l.]: BDI, 2020.

GOVERNMENT, Department of Planning and Local. **Water Sensitive Urban Design Technical Manual for the Greater Adelaide Region**. Government of South Australia, Adelaide: [s. n.], 2009.

GOOGLE MAPS, 2024. **Rua Bernardo Guimarães**. Disponível em: <https://www.google.com/maps/@-19.9319006,-43.9290981,3a,90y,180.53h,86.53t/data=!3m6!1e1!3m4!1sqjNFM5nIV8Si8Higwx-L-A!2e0!7i16384!8i8192?coh=205409&entry=ttu>. Acesso e, 06 jun. 2024.

GREATER AUCKLAND. **Water Cycle**, [s. l.: s. n.], 2017. Disponível em: <https://www.greaterauckland.org.nz/wp-content/uploads/2017/11/Water-Cycle.jpg>. Acesso em: 14 fev. 2019.

HERZOG, C. P.; FREITAS, T.; WIEDMAN, G. (org.). **Soluções Baseadas na Natureza e os Desafios da Água**: acelerando a transição para cidades mais sustentáveis. Bruxelas: Comissão Europeia, 2022.

HERZOG, C. P.; ROZADO, C. A. **Diálogo Setorial UE-Brasil sobre soluções baseadas na natureza**. Contribuição para um roteiro brasileiro de soluções baseadas na natureza para cidades resilientes. Bruxelas: Comissão Europeia, 2020.

HIGUERAS, E. **Urbanismo Bioclimático**. Barcelona: Editorial GG, 2006.

HOYER, J.; DICKHAUT, W.; KRONAWITTER, L.; WEBER, B. **Water sensitive urban design: principles and inspiration for sustainable stormwater management in the city of the future. Manual**. UNESCO-IHE/ HafenCity Universität, Hamburg, Germany: Jovis, 2011.

INFANTE, M. **Verde SP**: um olhar verde para a vida urbana. [s. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <http://verdesp.com.br/o-que-e-jardim-de-chuva>. Acesso em: 10 maio 2024.

IUCN. **The IUCN programme 2013-2016**, [s. l.: s. n.], 2012. Disponível em: https://www.iucn.org/downloads/iucn_programme_2013_2016_final_6.pdf. Acesso em: 30 out. 2020.

IUCN. **Guidance for using the IUCN Global Standard for Nature-based Solutions**: a user-friendly framework for the verification, design and scaling up of Nature-based Solutions. Gland, Switzerland: IUCN, 2020.

JIA, J. *et al.* Making smart urban decisions: the niche of a parametric spatial model to balance the needs of urban stormwater management and human wellbeing. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. 5th International Conference on Smart Data and Smart Cities. Nice: [s. n.], v. 4, p. 79-86, 2020.

JORNAL ZONA SUL. **Vila Mariana tem jardins de chuva**, [s. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://jornalzonasul.com.br/vila-mariana-tem-jardins-de-chuva>. Acesso em: 10 maio. 2024.

LANCASTER, B. **Rainwater Harvesting for drylands & beyond**. Tucson: [s. n.], 2024. Disponível em: <https://www.harvestingrainwater.com/gallery/street-side-water-harvesting-image-gallery>. Acesso em: 10 maio. 2024.

MARCHIONI, M.; SILVA, C. O. Melhores Práticas: Pavimento intertravado permeável. **Programa Soluções para as cidades**. São Paulo: ABCP, 2021.

MARQUES, T. H. N. *et al.* Soluções baseadas na natureza: conceituação, aplicabilidade e complexidade no contexto latino-americano, casos do Brasil e Peru. **Revista LABVERDE**. São Paulo: FAUUSP, v.11, n.1, p. 12-49, 2021.

MATOS, J. S., Aspectos históricos a actuais da evolução da drenagem de águas residuais em meio urbano. **Engenharia Civil**, [s. l.: s. n.], n. 16, p. 13-23, 2003.

MENDES, A. T.; SANTOS, G. R., Drenagem e manejo sustentável de águas pluviais urbanas: o que falta para o Brasil adotar? **Texto para discussão**. Rio de Janeiro: IPEA, 2022.

MENGES, A., AHLQUIST, S., **Computational Design Thinking**. [s.l.]: Wiley, 2011.

MOURA *et al.* Intelligent landscape: application of parametric modeling for a new generation of flood risk management reservoirs in São Paulo city, Brazil. **Designarecon**, [s. l.: s. n.], v. 11, n. 20, p. 2-15, 2018.

NATIONAL ASSOCIATION OF CITY TRANSPORTATION OFFICIALS - NACTO. **Guia Global de Desenho de Ruas**. São Paulo: SENAC, 2018.

NATIONAL ASSOCIATION OF CITY TRANSPORTATION OFFICIALS - NACTO. **Urban Street Stormwater Guide**. Nova York: Island Press, 2017.

NGUYEN, T. T. *et al.* Implementation of a specific urban water management - Sponge City. **Science of the Total Environment**, [s. l.: s. n.], v. 652, p. 14 –162, 2019.

NUCASE. **Águas pluviais: técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas**. Guia do profissional em treinamento - nível 2 e 3. Belo Horizonte: ReCESA, 2007. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/recesa/tecnicascascompensatoriasparacontroledecheiasurbanas-nivel2e3.pdf. Acesso em: 08 fev. 2025.

OBSERVATÓRIO DE INOVAÇÃO PARA CIDADES SUSTENTÁVEIS - OICS. **Pavimentos permeáveis**. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE, 2020. Disponível em: https://oics.cgee.org.br/solucoes/pavimentos-permeaveis_5f133564d872740ec8179ef5. Acesso em: 15 ago. 2024.

OBSERVATÓRIO DE INOVAÇÃO PARA CIDADES SUSTENTÁVEIS - OICS. **Catálogo brasileiro de soluções baseadas na natureza**. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE, 2022.

PALERMO, S. A. *et al.* Nature-based solutions for urban stormwater management: an overview. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**. [s. l.]: IOP Publishing Ltd, 2023.

PELLEGRINO, P.; ALENCAR, J. Soluções baseadas na natureza para manejo sustentável das águas pluviais urbanas. In: HERZOG, C., FREITAS, T., WIEDMAN, G (org.). **Soluções baseadas na natureza e os desafios das águas: acelerando a transição para cidades mais sustentáveis**. Bruxelas: Comissão Europeia, p. 72 - 81, 2022.

PEREIRA *et al.* Soluções baseadas na natureza: quadro da ocupação da cidade de São Paulo por células de biorretenção. **Revista LABVERDE**. São Paulo: FAUUSP, v.11, n.1, p. 95-120, 2021.

PHILADELPHIA, Water Department. **Green City Clean Waters**. Philadelphia: Philadelphia Water Department, c2024. Disponível em: <https://water.phila.gov/green-city/>, Acesso em: 18 ago. 2024.

PICARELLI, S. B. N.; KASECKER, T.P. Soluções baseadas na natureza como estratégia para construção da resiliência de centros urbanos frente às mudanças climáticas. In: HERZOG, C., FREITAS, T., WIEDMAN, G (org.). **Soluções baseadas na natureza e os desafios das águas: acelerando a transição para cidades mais sustentáveis**. Bruxelas: Comissão Europeia, p. 14 - 19, 2022.

PINHEIRO, C. B. **Políticas públicas de manejo de águas pluviais em Belo Horizonte: novos caminhos em meio a velhas práticas**. Dissertação (Mestrado em

Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

PINHEIRO, L. Projeto Técnico: pavimento permeável. **Programa Soluções para as cidades**. São Paulo: ABCP, 2013.

PILLE, L.; SÄUMEL, I. The water-sensitive city meets biodiversity: habitat services of rain water management measures in highly urbanized landscapes. **Ecology & Society**. [s. l.]: The Resilience Alliance, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5751/ES-12386-260223>. Acesso em: 15 ago. 2024.

PLANASAB, **Plano Nacional de Saneamento Básico**. Brasília: Ministério das Cidades, 2013.

PORSE, E.C. Stormwater governance and future cities. **Water**, [s. l.]: MDPI, v. 5, n. 29, p. 29 – 52, 2013.

PORTLAND. **About green streets**. Portland: PortlandGov, 2024. Disponível em: <https://www.portland.gov/bes/stormwater/about-green-streets>. Acesso em: 18 ago. 2024.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Subprefeitura Sé promove ações que minimizam alagamentos e enriquece a biodiversidade urbana**, [s. l.: s. n.], 2024. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/se/noticias/index.php?p=121529>. Acesso em: 10 maio 2024.

RIBEIRO, M. A. **Ecologizar: pensando o ambiente humano**. Belo Horizonte: Ed. Rona, 1998.

ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. **A Adaptação de Edificações e Cidades às Mudanças Climáticas**. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2009.

ROMERO, A. B. *et al.* **Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas**. Brasília: FAU-UnB, 2019.

SANTOS, G. R., KUWAJIMA, J. I., SANTANA, A. S. Regulação e investimento no setor de saneamento no Brasil: trajetórias, desafios e incertezas. **Texto para discussão**. Rio de Janeiro: IPEA, 2020.

SENRA, J. B., NASCIMENTO, N. O. Após 20 anos da lei das águas como anda a Gestão Integrada de Recursos Hídricos do Brasil, no âmbito das Políticas e Planos Nacionais setoriais? **Revista Rega**. Porto Alegre: [s. n.], v. 14, e6, 2017.

SHEFFIELD. **Grey to Green**. [s. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://www.greytogreen.org.uk/innovation>. Acesso em: 18 ago. 2024.

SHUTE, V.J., SUN, C., ASBELL-CLARKE, J. Demystifying computational thinking. **Educational Research Review**. [s. l.]: Elsevier, v. 22, p. 142-158, 2017.

SILVEIRA, A.L.L. Hidrologia Urbana no Brasil. In: BRAGA, B.; TUCCI C.E.M.; TOZZI, M. **Drenagem Urbana: Gerenciamento, Simulação, Controle**. Porto Alegre: Editora da Universidade, ABRH Publicações, n. 3, 1998.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento urbano de baixo impacto: planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade das águas urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. [s. l.: s. n.], v. 17, n. 2, p. 9-18, 2012.

TALEB, H., MUSLEH, M. A., Applying urban parametric design optimization processes to a hot climate: case study of the UAE. **Sustainable Cities and Society**. [s. l.]: Elsevier, v. 14, p. 236-253, 2015.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. In: TUCCI, C. E.M. **Água doce**. [s. l.]: IPH/UFRGS, 1997. Disponível em: http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/importacao/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros_documentos_tecnicos/curso-gestao-do-territorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/aguanomeio%20urbano.pdf. Acesso em: 30 out. 2020.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, [s. l.: s. n.], v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

TUCCI, C. E. M. Gestão de drenagem urbana. **Textos para discussão**. DF: CEPAL-IPEA, 2012.

UNEA. United Nations Environment Assembly of the United Nations Environment Programme. **Resolution adopted by the United Nations Environment Assembly on 2 March 2022: 5/5. Nature-based solutions for supporting sustainable development**, Nairobi: UN, 2022. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/39864/NATURE-BASED%20SOLUTIONS%20FOR%20SUPPORTING%20SUSTAINABLE%20DEVELOPMENT.%20English.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2024.

UNGC. **The Nature-Based Solutions for Climate Manifesto**. [s. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://unglobalcompact.org/take-action/events/climate-action-summit-2019/nature-based-solutions>. Acesso em: 05 mar. 2023.

VICARI, R. M., MOREIRA, Á., MENEZES, P. B. **Pensamento Computacional**. Revisão Bibliográfica. [s. l.: s. n.], 2018. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/197566/001097710.pdf>. Acesso em: 13 set. 2022.

VICTORIA. Stormwater Comitee. **Urban stormwater: best practice environmental management guidelines**. Melbourne: CSIRO, 1999.

WING, J. M., Computational Thinking. **Communications of the ACM**. [s. l.: s. n.], v. 49, n. 3, p. 33-35, 2006.

WING, J. M., **Computational Thinking: what and why?** [s. l.: s. n.], p. 1-6, 2010.

WMO. **Climate and Urban Development**. Geneva: WMO No. 844, 1996. Disponível em: https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_844_en.pdf. Acesso em: 04 set. 2017.

WSSA, Water Sensitive SA. **WSUD Projects**. Uraidla SA: WSSA, c2024. Disponível em: <https://www.watersensitivesa.com/wsud-projects>. Acesso em: 02 set. 2024.

WSUD General Code – Australia. **Waterways Water Sensitive Urban Design General Codes**. Austrália: [s. n.], 2009. Disponível em: <http://www.legislation.act.gov.au/ni/2008-27/copy/64663/pdf/2008-27.pdf>. Acesso em: 04 set. 2017.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme)/UN-Water. **The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water**. Paris: UNESCO, 2018.