



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

Maria Estela Ribeiro Mendes

A FITORREMEDIAÇÃO COMO ESTRATÉGIA DE PROJETO PARA A
SUSTENTABILIDADE URBANA

CAMPINAS
2018

Maria Estela Ribeiro Mendes

**A FITORREMEDIAÇÃO COMO ESTRATÉGIA DE PROJETO PARA A
SUSTENTABILIDADE URBANA**

*Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura
e Urbanismo da Universidade Estadual de
Campinas como parte dos requisitos
exigidos para a obtenção do título de
Mestra em Arquitetura, Tecnologia e
Cidade na área de Arquitetura, Tecnologia
e Cidade.*

Orientadora: Prof^a. Dra. Silvia Aparecida Mikami Gonçalves Pina

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO
FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA
ALUNA MARIA ESTELA RIBEIRO MENDES, E
ORIENTADA PELA PROF(A). DR(A). SILVIA
APARECIDA MIKAMI GOLÇALVES PINA

CAMPINAS
2018

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): Não se aplica.

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

M522 Mendes, Maria Estela Ribeiro, 1988-
A fitorremediação como estratégia de projeto para a sustentabilidade urbana / Maria Estela Ribeiro Mendes. – Campinas, SP : [s.n.], 2018.

Orientador: Silvia Aparecida Mikami Gonçalves Pina.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Fitorremediação. 2. Infraestrutura. 3. Paisagem urbana. 4. Sustentabilidade urbana. I. Pina, Silvia Aparecida Mikami Gonçalves, 1960-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Phytoremediation as a landscape strategy to sustainable design

Palavras-chave em inglês:

Phytoremediation

Infrastructure

Urban landscape

Urban sustainability

Área de concentração: Arquitetura, Tecnologia e Cidade

Titulação: Mestra em Arquitetura, Tecnologia e Cidade

Banca examinadora:

Silvia Aparecida Mikami Gonçalves Pina [Orientador]

Emília Wanda Rutkowski

Paulo Renato Mesquita Pellegrino

Data de defesa: 26-02-2018

Programa de Pós-Graduação: Arquitetura, Tecnologia e Cidade

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

A FITORREMEDIAÇÃO COMO ESTRATÉGIA DE PROJETO PARA A
SUSTENTABILIDADE URBANA

Maria Estela Ribeiro Mendes

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

Profª. Dra. Silvia Aparecida Mikami Gonçalves Pina

**Presidente da Comissão Examinadora
UNICAMP**

Profª Dra. Emília Wanda Rutkowski

UNICAMP

Prof. Dr. Paulo Renato Mesquita Pellegrino

USP

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

Campinas, 26 de fevereiro de 2018

In memoriam de minha querida avó Dra. Alzira, um exemplo valioso sobre as batalhas e vitórias da vida. Sempre que tiver a chance, seja luz na vida de alguém.

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação de mestrado só foi concluída pelo apoio de várias pessoas. Em primeiro lugar agradeço à minha orientadora Professora Doutora Silvia Aparecida Mikami Gonçalves Pina, que aceitou o desafio em adentrar numa área ainda pouco desbravada da Arquitetura e Urbanismo. Agradeço pela confiança, paciência, incentivo e orientação nesta jornada tão tentadora da pesquisa. Agradeço também aos professores que compuseram a minha banca de qualificação Prof^a Dra. Emília Wanda Rutkowski e Prof. Dr. Paulo Renato Mesquita Pellegrino, que me deram o último suspiro para finalização dessa pesquisa, em um momento tão delicado.

Não por coincidência, minha mãe também chamada Silvia recebe meus eternos agradecimentos por todos os ensinamentos que me permitiram chegar até aqui, obrigada pelo apoio nos desafios mais intensos da minha vida. Essa vitória também é sua. Agradeço ao meu avô Dr. Antônio, um incansável estudioso e grande inspiração para minha disciplina. Agradeço também à todos os meus familiares, minhas queridas tias Regina e Maria José, meus tios Álvaro e Alfredo, e os demais envolvidos indiretamente, que através do carinho e atenção me ajudaram mais do que podem imaginar.

Agradeço imensamente à Phytoresource e aos colegas tão compreensivos da minha equipe. Não apenas por me possibilitar o conhecimento e experiência em campo, mas também por representarem as minhas raízes no desafio profissional, *“roots before branches”*. Agradeço aos sócios franceses e brasileiros, à direção e coordenação, aos parceiros Arquitetos e Engenheiros e todos os envolvidos na concretização desse estudo de caso.

Por fim, e de grande importância, agradeço à minha querida psicóloga Marina, que alimentou minha energia vital em meio às crises e comemorou comigo as vitórias. Você me “psicorremediou”, como brincamos tantas vezes. Agradeço ainda à todos os meus amigos pelo apoio e compreensão e aos colaboradores da UNICAMP que viabilizaram a conclusão desta etapa.

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo reconhecer a colaboração da técnica da fitorremediação enquanto estratégia de projeto para melhoria da qualidade das águas urbanas, por meio de sua incorporação em infraestrutura verde e dispositivos de drenagem sustentável na paisagem urbana. A fitorremediação é uma técnica natural que explora as interações entre bactérias localizadas na rizosfera e diferentes tipos de contaminantes orgânicos e inorgânicos. Consiste basicamente no uso da vegetação para remover, reduzir ou imobilizar contaminantes presentes na água e no solo, promovendo transformações físico-químicas nas moléculas que resultam em formas não tóxicas ao meio. Esta estratégia pode ser uma das chaves para alcançar a sustentabilidade urbana. As cidades em geral enfrentam desafios relacionados à contaminação da água, do solo e do ar, expondo os moradores urbanos a diferentes tipos de poluição prejudiciais à saúde e à qualidade ambiental. Efluentes industriais e domésticos são frequentemente despejados em rios, lagos e riachos sem a necessária cautela ou tratamento, comprometendo os corpos hídricos. Soma-se a isso a contribuição no transporte de cargas poluidoras provenientes do escoamento superficial durante os eventos chuvosos. A fim de atingir o objetivo, esta pesquisa analisa o caso do Centro de Pesquisa & Inovação, localizado na Cidade Universitária - Ilha do Fundão, Rio de Janeiro/RJ, que contempla diferentes dispositivos de fitorremediação: Biovalas, Jardim de Chuva, Lagoa e Jardins Filtrantes. Como contribuição, este trabalho apresenta pistas e recomendações projetuais para difusão e aplicação replicada da biotecnologia como estratégia de paisagem ao agregar multifuncionalidade aos espaços públicos e estimular a visão sistêmica e integrada na gestão ambiental urbana para cidades mais sustentáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Infraestrutura verde; Fitorremediação; Paisagem urbana; Sustentabilidade Urbana.

ABSTRACT

The main objective of this research is to recognize phytoremediation's technical collaboration as an architectural design strategy to urban landscape practices by adopting green infrastructures and sustainable drainage design into urban areas. Phytoremediation is a natural technique which explores the interactions between bacteria located in rhizosphere and diverse types of contaminants (organic and inorganic), in other words, it is the use of living plants to remove, reduce or immobilize contaminants in water, soil, and sludges. Natural processes act in water and soil depuration spontaneously through the molecules' chemicals transformations, resulting in a nontoxic substance. Cities worldwide are faced with the challenge of contaminated water, soil and air, exposing urban dwellers to several types of pollution destructive to the humans and to the city's health. In several cities of the country, industrial and domestic effluents are dumped into rivers, lakes and streams without any caution, therefore, untreated treated sewage reaches clean water every day. This strategy is the main form of surface water contamination. However, degradation of water resources also occurs indirectly by waste, soil, and air pollution; rainy events act as a wide basin surface washout, this way, runoff carries a vast pollutant amount. In order to reach the main objective, this research analyses the Building of Research and Innovation Center as case study. It is situated in the University City in Fundão Island, Rio de Janeiro/RJ, Brazil, and contemplate different types of green infrastructures based in phytoremediation: Bioswales, Rain Garden, Retention Basin and Filtering Gardens. As a contribution, this work presents design guidelines and recommendations to disseminate and replicate this biotechnology as a landscape strategy through multifunctionality aspect of public spaces and an integrated overview into urban environmental planning, promoting sustainable cities.

KEYWORDS: Green infrastructure; Phytoremediation; Urban landscape; Urban Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Infográfico das fontes de poluição urbana diretas e indiretas nos corpos hídricos ...	34
Figura 2. Gráfico da capacidade suporte da Terra em sustentar o estilo de vida humano.....	40
Figura 3. Objetivos de desenvolvimento sustentável, ONU	44
Figura 4. Plano original do Emerald Necklace (1894), projeto multifuncional que abriga biodiversidade, proporciona circulação, lazer e relaxamento para os moradores em pleno centro de Boston, além de filtrar as águas poluídas e prevenir inundações	51
Figura 5. Mapa atual do Emerald Necklace.....	51
Figura 6. Medidas estruturais para controle de inundações segundo local de atuação	57
Figura 7. Hidrogramas de cheia em uma bacia antes e depois da implantação de uma estrutura de retenção, demonstrando o aumento no tempo de concentração e redução da vazão de pico	60
Figura 8. Infográfico conceitual em camadas do sistema de drenagem e armazenamento de águas pluviais na Potsdamer Platz, Berlim, Alemanha. Legenda: a) Telhados verdes para filtragem da água; b) tanques subterrâneos para coleta e armazenamento de água; c) lagoa pluvial central onde ocorre a fitorremediação; d) corpo hídrico, canal Landwehr, destinação da vazão extra	62
Figura 9. Relação entre ciclo hidrológico (maior) e ciclo urbano da água (menor)	71
Figura 10. Paleta de tipologias trazidas ao Brasil por Nathaniel S. Cormier.....	72
Figura 11. Distribuição mundial dos wetlands.	74
Figura 12. Número em variações de espécies de plantas nativas.	75
Figura 13. Canteiros do experimento realizado pelo pesquisador na análise de eficiência do dispositivo de biorretenção. Do lado esquerdo o canteiro G, apenas com grama, do lado direito o canteiro J, com espécies arbustivas/herbáceas.	77
Figura 14. Oficina Jardim de Chuva, UMAPAZ - Parque Ibirapuera, 2017.....	78
Figura 15. Parc du Chemin de l'Ile, Nanterre – França, 2012.....	80
Figura 16. Jardins Filtrantes® para Tratamento de Efluentes Industriais e Sanitários - Natura Ecoparque Belém.....	81
Figura 17. Papiro (<i>Cyperus papiros</i>), Talia (<i>Thalia dealbata</i>), Chapéu-de-couro (<i>Echinodorus macrophyllus</i>) e Ninféia (<i>Nymphaea ssp</i>), respectivamente	88
Figura 18. Esboço dos mecanismos da fitorremediação	91

Figura 19. Processo de fotossíntese das plantas, nutrição orgânica	94
Figura 20. Absorção de sais minerais pelas plantas, nutrição inorgânica	94
Figura 21. Alagados construídos: emergentes, submersos e flutuantes (respectivamente) ..	101
Figura 22. Perfil de um Jardim de Chuva.....	104
Figura 23. Perfil de uma Biovaleta	105
Figura 24. Perfil de uma Lagoa Pluvial.....	105
Figura 25. Perfil de uma Ilha Flutuante	106
Figura 26. Perfil de uma Margem Flutuante	107
Figura 27. Fluxograma de um Jardim Filtrante	107
Figura 28. Perfil de um Telhado Verde	108
Figura 29. Ilha do Bom Jesus, Rio de Janeiro - Brasil	112
Figura 30. Jardim de chuva implementado no Centro de Pesquisa e Inovação de Shanghai/China	115
Figura 31. Filtro plantado para processamento do lodo em composto no site francês.....	116
Figura 32. Prédio da nova sede no Rio de Janeiro (destaque)	117
Figura 33. Desenvolvimento do projeto, concepção de traçado inicial	118
Figura 34. Escoamento pluvial pelo telhado até ponto de despejo	120
Figura 35. Escoamento natural das águas do site, drenagem do telhado e posicionamento dos dispositivos de chuva.....	121
Figura 36. Fluxo de tratamento dos efluentes doméstico e industrial nos dispositivos de fitorremediação	122
Figura 37. Esquema de distribuição águas pluviais pelos dispositivos de fitorremediação	126
Figura 38. Fluxo de tratamento dos efluentes pelos dispositivos de fitorremediação.....	130
Figura 39. Infográfico ilustrativo com a divisão entre os dispositivos para manejo das águas pluviais e dispositivos para tratamento de efluentes.....	131
Figura 40. Seção perspectivada de uma biovaleta	132
Figura 41. Seção perspectivada de um jardim de chuva	134
Figura 42. Indicação das boias de nível reguladoras	138
Figura 43. Corte ilustrativo do tanque de aeração e seus elementos	138
Figura 44. Primeira etapa de distribuição do fluxo para os jardins	139
Figura 45. Seção perspectivada de um filtro vertical	140
Figura 46. Segunda etapa de distribuição do fluxo para os jardins	142

Figura 47. Seção perspectivada de um filtro horizontal.....	143
Figura 48. Princípio de Pascal	144
Figura 49. Seção de um PV com válvula rústica instalada.....	144
Figura 50. Terceira etapa de distribuição do fluxo para os jardins.....	145
Figura 51. Seção perspectivada de uma lagoa plantada	146
Figura 52. Síntese do processo completo	147
Figura 53. Cronograma geral de obra com macroatividades.....	149
Figura 54. Início dos trabalhos de terraplenagem em agosto de 2016.....	150
Figura 55. Colocação de pedra britada na vala do dreno testemunho em agosto de 2016 ...	152
Figura 56. Instalação da manta impermeabilizante em setembro de 2016.....	153
Figura 57. Reaterro da vala de fixação da impermeabilização (esquerda) e instalação de abraçadeira para montar a gola impermeabilizante no tubo, setembro de 2016.....	154
Figura 58. Instalação da rede hidráulica e material granular intercalados, outubro de 2016	155
Figura 59. Instalação do colchão de gabião na bacia de retenção, novembro/dezembro de 2016	156
Figura 60. Colocação de pedra britada na biovaleta (esquerda) e colocação de areia na lagoa plantada (direita)	156
Figura 61. Construção e acabamentos do tanque de aeração em janeiro/fevereiro de 2017	158
Figura 62. Instalação dos painéis elétricos.....	159
Figura 63. Escavação das valas para instalação de tubulação enterrada (acima), hidráulica externa e interface com os PVs (abaixo) em março/abril de 2016.....	159
Figura 64. Plantio das macrófitas, abril 2017.....	162
Figura 65. Sinalizadores de deficiência de nutrientes nas plantas	176
Figura 66. Filtro Vertical 01	190
Figura 67. Filtros Horizontais (01 e 02)	190
Figura 68. Lagoa Plantada	191
Figura 69. Passeio entre jardins, olhar o espectador e percepção do espaço (tanque de aeração ao fundo).....	191
Figura 70. Biovaleta leste, margeando a rua interna de acesso ao estacionamento	192
Figura 71. Biovaleta central do estacionamento	192
Figura 72. Jardim de chuva	193
Figura 73. Bacia de retenção após evento chuvoso intenso (novembro/2017)	193

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Evolução nos processos de tratamento da água contaminada	24
Tabela 2. Desenvolvimento histórico do manejo das águas urbanas por fases.....	28
Tabela 3. Poluentes difusos: fontes, impactos e indicadores de qualidade para corpos hídricos de água doce (classes 2; 3, respectivamente).	31
Tabela 4. Distribuição relativa das formas de nitrogênio em condições distintas.....	36
Tabela 5. Impactos da eutrofização.....	37
Tabela 6. Quadro de serviços ecossistêmicos.....	52
Tabela 7. Ações para atuação na requalificação fluvial.....	54
Tabela 8. Tabela. Alteração das características hidrológicas de uma bacia urbanizada em comparação à situação natural.....	55
Tabela 9. Técnicas compensatórias para manejo de águas pluviais.....	58
Tabela 10. Conceitos higienistas x Conceitos ambientalistas	61
Tabela 11. Princípios da gestão ecológica do ciclo da água	63
Tabela 12. Melhores práticas de manejo das águas urbanas, principais programas que envolvem técnicas sustentáveis para relação entre cidades e ciclo hidrológico	64
Tabela 13. Terminologias relacionadas a fitorremediação e definição dos termos adotados na atual pesquisa	69
Tabela 14. Rendimento padrão dos Jardins Filtrantes® para tratamento de efluente doméstico	81
Tabela 15. Pontos positivos e pontos de alerta na implementação de soluções através de fitorremediação	83
Tabela 16. Classificação das macrófitas aquáticas.....	84
Tabela 17. Macrófitas aquáticas mais utilizadas em sistemas de fitorremediação implementados no Brasil.....	87
Tabela 18. Mecanismos da fitorremediação.....	90
Tabela 19. Mecanismos de remoção dos poluentes tradicionalmente encontrados em águas contaminadas através de alagados construídos	92
Tabela 20. Papel fisiológico dos nutrientes.....	95
Tabela 21. Composição de um sistema fitorremediador de fluxo superficial segundo melhores práticas da PhytoRestore Brasil	102

Tabela 22. Composição de um sistema fitorremediador de fluxo sub-superficial vertical segundo melhores práticas da Phytorestore Brasil	102
Tabela 23. Composição de um sistema fitorremediador de fluxo sub-superficial horizontal segundo melhores práticas da Phytorestore Brasil	103
Tabela 24. Relação das categorias e quesitos utilizados como base para o desenvolvimento do estudo de caso.....	113
Tabela 25. Registros Pluviométricos do Sistema Alerta Rio para o ano de 2013.....	123
Tabela 26. Comparativo entre a média mensal em 97/2012 e 2013	123
Tabela 27. Relatório de chuva do mês de dezembro 2013, Rio de Janeiro	124
Tabela 28. Áreas de contribuição do site e volume de chuva esperado	125
Tabela 29. Estimativa de caracterização do efluente misturado	128
Tabela 30. Tipologias dos elementos que compõe o projeto	130
Tabela 31. Espécies resilientes ao meio aquático variável.....	135
Tabela 32. Operação para rodízio dos jardins verticais através das válvulas de alimentação	141
Tabela 33. Operação para rodízio dos jardins horizontais através das válvulas de alimentação	144
Tabela 34. Lista de plantas e sua distribuição pelos elementos do sistema	148
Tabela 35. Aplicação de revestimento por tipologia	151
Tabela 36. Instruções para manobra das válvulas por semana, durante cinco semanas.....	165
Tabela 37. Pontos de amostragem para monitoramento operacional do esgoto	166
Tabela 38. Resultado do monitoramento analítico do esgoto nos meses de julho e agosto, 2017	169
Tabela 39. Resultado do monitoramento analítico do esgoto nos meses de setembro e outubro, 2017.....	170
Tabela 40. Resultado do monitoramento analítico do esgoto nos meses de novembro e dezembro, 2017.....	171
Tabela 41. Instruções para realização da poda de limpeza.....	179
Tabela 42. Instruções para realização da poda de alinhamento	180
Tabela 43. Instruções sobre frequência da poda de regeneração	181
Tabela 44. Instruções para realização da poda de regeneração.....	182
Tabela 45. Instruções para remoção de daninhas e pragas.....	183
Tabela 46. Instruções para divisão de touceiras.....	184

Tabela 47. Instruções para replantio	185
Tabela 48. Instruções para manutenção preventiva	186
Tabela 49. Compilado de atividades realizadas na operação e manutenção dos Jardins Filtrantes	188
Tabela 50. Acumulados Mensais do ano de 2017	189

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	16
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1	URBANIZAÇÃO E SANEAMENTO: UM BREVE PANORAMA	22
2.2	IMPACTOS DA POLUIÇÃO URBANA NA QUALIDADE DAS ÁGUAS.....	29
2.3	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: UMA NOVA VISÃO PARA AS CIDADES	39
2.4	INFRAESTRUTURA VERDE E MANEJO DAS ÁGUAS URBANAS: DOIS ALIADOS	48
2.4.1	<i>ECOSSISTEMA URBANO E RESILIÊNCIA.....</i>	<i>48</i>
2.4.2	<i>DA DRENAGEM AO MANEJO DAS ÁGUAS URBANAS.....</i>	<i>54</i>
2.5	FITORREMEDIAÇÃO: AS PLANTAS COMO AGENTES DA DESPOLUIÇÃO.....	67
2.5.1	<i>DEFINIÇÕES.....</i>	<i>67</i>
2.5.2	<i>CONCEITUAÇÃO</i>	<i>70</i>
2.5.3	<i>BREVE HISTÓRICO E BOAS PRÁTICAS.....</i>	<i>73</i>
2.5.4	<i>POTENCIAL DE APLICAÇÃO.....</i>	<i>82</i>
2.5.5	<i>MACRÓFITAS AQUÁTICAS</i>	<i>84</i>
2.5.6	<i>MEIO SUPORTE, SUBSTRATO OU LEITO FILTRANTE</i>	<i>88</i>
2.5.7	<i>INFRAESTRUTURA HIDRÁULICA.....</i>	<i>90</i>
2.5.8	<i>MECANISMOS DA FITORREMEDIAÇÃO.....</i>	<i>90</i>
2.5.9	<i>MECANISMOS DE REMOÇÃO DOS POLUENTES.....</i>	<i>92</i>
2.5.10	<i>REMOÇÃO DE POLUENTES</i>	<i>93</i>
2.5.11	<i>CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS FITORREMEDIADORES.....</i>	<i>101</i>
2.5.12	<i>TIPOLOGIAS PARA DESENHO URBANO.....</i>	<i>104</i>
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	109
3.1	ESTUDO DE CASO: CENTRO DE PESQUISA & INOVAÇÃO – RIO DE JANEIRO/RJ	110
3.1.1	<i>PROTOCOLO DE ANÁLISE</i>	<i>113</i>
4.	A CONCEPÇÃO DO PROJETO	114
4.2.1	<i>PROCESSO DE PROJETO INTEGRADO.....</i>	<i>118</i>
4.2.2	<i>DIRETRIZES DO DIMENSIONAMENTO.....</i>	<i>122</i>
4.2.3	<i>ELEMENTOS DO PROJETO</i>	<i>130</i>
4.2.4	<i>OBRAS CIVIS PARA CONSTRUÇÃO DO PROJETO</i>	<i>148</i>
4.2.5	<i>OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO.....</i>	<i>163</i>
4.2.6	<i>ESTÁGIO ATUAL DO SISTEMA.....</i>	<i>189</i>
5.	CONCLUSÃO.....	194
	REFERÊNCIAS	200
	APÊNDICES.....	207

1. INTRODUÇÃO

São cada vez mais expressivos os exemplos de cidades que entram na vanguarda da sustentabilidade ao aplicar soluções alternativas para as diversas problemáticas urbanas. Nesse contexto, a área de biotecnologia vem se desenvolvendo com o objetivo de aquecer a corrente ecológica e o movimento urbanismo sustentável (FARR, 2013), que valoriza o meio ambiente em integração com o desenho urbano e sistemas naturais. Novas tipologias de estruturas verdes são construídas para mimetizar a capacidade natural de absorção e infiltração do solo, colaborando para estabilidade hidráulica. A adoção de intervenções com técnicas atreladas à paisagem urbana são capazes de prevenir, tratar e armazenar o escoamento e os poluentes associados, atuando não apenas na melhoria da qualidade e do manejo das águas urbanas, mas também como um mecanismo de resiliência na relação homem-natureza.

Os processos naturais atuam na depuração das águas de forma espontânea, influenciado diretamente na manutenção de sua qualidade. A técnica que explora a propriedade de interação entre as bactérias localizadas nos rizomas das plantas e os diferentes tipos de contaminantes, orgânicos e inorgânicos é denominada de fitorremediação. Consiste basicamente no uso de plantas para remover, reduzir ou imobilizar contaminantes presentes na água, no solo e no ar. Essa interação promove transformações químicas nas moléculas que resultam em formas não tóxicas, ou seja, inofensivas ao ecossistema.

A integração da técnica de fitorremediação à paisagem urbana através de dispositivos que favorecem o manejo das águas pode ser uma estratégia projetual para a promoção da multifuncionalidade aos espaços públicos, capaz de mitigar problemas relacionados à qualidade da água urbana e combater a poluição.

Esta pesquisa tem como **objetivo principal reconhecer a colaboração da técnica da fitorremediação enquanto estratégia de projeto para a melhoria da qualidade das águas urbanas, por meio de sua incorporação em infraestrutura verde e dispositivos de drenagem sustentável na paisagem urbana.**

Os objetivos específicos da investigação desenvolvida nesta dissertação são:

- Resgatar brevemente o histórico da urbanização brasileira para traçar a evolução da ocupação do solo e sua influencia nas técnicas relacionadas ao saneamento;
- Identificar as tendências de desenvolvimento urbano sustentável que integram o desenho da paisagem à conceitos de ecologia e saneamento;
- Demonstrar os benefícios da visão holística ambientalista no manejo das águas urbanas e sua conexão com a bacia hidrográfica;
- Apresentar a técnica de fitorremediação sob o olhar arquitetônico;
- Ampliar o alcance da fitorremediação perante aos arquitetos como uma estratégia de projeto.

As cidades brasileiras enfrentaram um processo de urbanização intenso, rapidamente problemáticas como degradação dos recursos naturais e carência em infraestrutura, somadas com às intensas atividades industriais fez crescer exponencialmente o índice de poluição urbana. De todas as dificuldades decorrentes deste processo, talvez uma das mais graves possa ser identificada na área de saneamento. Os habitantes urbanos estão diariamente expostos à diferentes tipos de poluição nocivas à saúde. Um estudo realizado pelo Núcleo de Estudos para o Meio Ambiente da USP¹, a poluição urbana mata indiretamente oito pessoas por dia só em São Paulo. Em nível mundial, são pelo menos 3 bilhões de pessoas fazendo uso de água contaminada; sendo que, conforme a Organização Mundial da Saúde (OMS)², mais de 5 milhões de pessoas morrem anualmente devido a doenças de veiculação hídrica.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)³, em parceria com o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS) do Ministério das Cidades alerta que aproximadamente metade dos brasileiros vivem sem acesso ao saneamento básico (44,8%), revelando não apenas uma injustiça social, mas também um grave descontrole na gestão dos recursos naturais. Os problemas se agravam à medida que as cidades e seus habitantes crescem, a grande concentração populacional aumenta as demandas e os problemas

¹ Pesquisa desenvolvida em 2005, no Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental da Faculdade de Medicina da USP, comandado pelo Professor Doutor Paulo Saldiva.

² Relatório Mundial de Saúde 2008: Cuidados de Saúde Primários - Agora mais que nunca.

³ Atlas do Saneamento 2011, feito pelo IBGE com dados de 2000 e 2008.

decorrentes da superexploração, poluição e ocupação do solo podem multiplicar e complicar cada vez mais a dinâmica da vida na cidade.

Um dos setores mais prejudicados devido a carência em infraestrutura urbana é o setor hídrico. Em diversas cidades do país, efluentes domésticos e industriais são lançados em rios, lagos e córregos sem nenhum tipo de tratamento; sendo essa a principal forma de contaminação da água superficial na atualidade. Porém, a degradação dos recursos hídricos também ocorre de forma indireta devido a poluição do ar, solo e resíduos, os eventos chuvosos funcionam como grandes “lavagens” da superfície da bacia e do ar atmosférico, dessa forma os escoamentos superficiais ficam carregados de poluentes.

Em um primeiro momento, acreditou-se que a causa da degradação dos corpos hídricos urbanos era atrelada apenas ao lançamento pontual de efluentes domésticos não tratados e despejos industriais. No entanto, o escoamento superficial dos eventos chuvosos tem grande contribuição no transporte de cargas poluidoras até os corpos d'água receptores, estimando-se que 25% da poluição das águas urbanas provém da poluição difusa, segundo Schivartche (2005). As principais fontes artificiais poluidoras do ar podem ser classificadas em dois tipos: as fixas (indústrias) e as móveis (carros, aviões, navios), responsáveis pelo lançamento de mais de três mil substâncias na atmosfera. Os mais conhecidos são: monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de nitrogênio (NO₂) e ozônio (O₃). O último é resultado de reações fotoquímicas entre outros gases e luz do sol, ou seja, os dias ensolarados tem aumento de concentração de ozônio no ar. Todos esses poluentes presentes na atmosfera são carregados pela chuva juntamente com os poluentes presentes na superfície urbana impermeabilizada, sendo drenados para as baixadas, onde encontramos os corpos hídricos como rios, córregos, lagos e zonas úmidas (SCHIVARTCHE, 2005).

Nesse contexto, os projetos de manejo das águas pluviais se tornam fundamentais para o equilíbrio entre a convivência da população urbana e a água. Diferentes abordagens já foram concebidas, sendo que historicamente é possível traçar uma linha evolutiva desde a Revolução Industrial e os preceitos higienistas tradicionais até as práticas de vanguarda sustentáveis, considerando o desenho das cidades sensíveis à água (ANDRADE; BLUMENSCHIN, 2014). Essa visão mais integrada do sistema de drenagem com o desenho das

cidades revela uma preocupação que vai além da abordagem local, considerando a bacia hidrográfica como um todo e trazendo a água para o centro das discussões urbanas.

A técnica de fitorremediação aplicada à dispositivos que favorecem o manejo das águas pluvias, também conhecidos como infraestrutura verde de biorretenção, mimetizam a capacidade natural de absorção, depuração e infiltração, colaborando para estabilidade hidráulica. Na área da engenharia ambiental, o tratamento através da zona de raízes é muito conhecido e difundido, no entanto o mecanismo de fitorremediação é visto de forma isolada dos projetos de arquitetura da paisagem (TODD; LANDMAN; KELLY, 2016). É usual que os profissionais da área de engenharia, química e biologia estejam envolvidos na implementação de soluções através de fitorremediação, utilizando esse importante mecanismo apenas para o processo de remediação, sem considerar que os agentes principais de todo processo são as plantas. Por outro lado, os projetos para áreas verdes urbanas geralmente envolvem profissionais da área de arquitetura e urbanismo, nesse sentido, **por que a fitorremediação não pode ser vista além das habilidade depurativas e integrar-se à paisagem urbana em uma rede multifuncional de infraestrutura verde?**

Os dispositivos de biorretenção agregam múltiplos usos e apropriações ao espaço através do paisagismo, lazer, recuperação de áreas degradadas, valorização ambiental, melhoria da qualidade do ar e da água e diminuição das amplitudes térmicas, além de favorecer o desenvolvimento da fauna e flora locais, fortalecem o ecossistema e levam à resiliência. Dessa forma, esta pesquisa tem caráter exploratório e foi desenvolvida através da modalidade de ordem prática aplicada com delineamento de estudo de caso.

Os capítulos a seguir combinam: revisão de literatura exploratória através da técnica de mapeamento sistemático (Systematic Mapping Study – SMS), análise de estudo de caso para o reconhecimento de tendência. O mapeamento sistemático para revisão de literatura tem o objetivo de (GRANJA; RUIZ, 2013): ampliar o conhecimento científico, analisar as publicações mais relevantes e atuais disponíveis nas bases de dados e identificar possíveis ausências na literatura, demonstrando a importância dessa pesquisa.

Na primeira parte, o desenvolvimento da contextualização histórica visa construir uma base de entendimento do processo de urbanização e formação do espaço brasileiro, as desigualdades resultantes desse processo e o impacto desse cenário na ótica socioambiental. Em complemento, é apresentada a temática do desenvolvimento urbano sustentável *versus* corrente ecológica na conexão entre homem-cidade, desde os primeiros manifestos até as correntes conceituais mais conhecidas na atualidade. No decorrer do assunto o foco é estreitado na problemática da gestão das águas urbanas e nos programas que mais avançaram ao implementar técnicas alternativas sustentáveis. Em seguida, é apresentada detalhadamente a técnica de fitorremediação e suas aplicações. A questão do desenho urbano integrado à paisagem e seu potencial como dispositivo de drenagem e despoluição encerra a revisão bibliográfica com a visão integrada entre fitorremediação e paisagem urbana através de infraestrutura verde.

Na segunda parte do trabalho apresenta-se detalhadamente a unidade do estudo de caso, um Centro de Pesquisa & Inovação, localizado na Cidade Universitária - Ilha do Fundão, Rio de Janeiro/RJ, que contempla diferentes dispositivos de fitorremediação: Biovalas, Jardim de Chuva, Lagoa e Jardins Filtrantes. Todas as informações referentes ao estudo de caso foram fornecidas pela empresa Phytorestore Brasil, especializada em fitorremediação através do sistema de Jardins Filtrantes®.

Em continuidade, a contribuição desta pesquisa é a apresentação de pistas e recomendações de projeto a partir da análise do estudo de caso, evidenciando-se a importância de envolver as aplicações da Fitorremediação de forma integrada no processo de projeto de arquitetura e urbanismo e aos estudos de arquitetura da paisagem.

A expectativa é que esse estudo amplie o alcance da fitorremediação entre os profissionais de arquitetura e urbanismo. A difusão do conceito de rede multifuncional de dispositivos para o manejo da água integrados à paisagem urbana como uma estratégia para mitigação e melhoria da qualidade do meio ambiente urbano compõe a infraestrutura verde urbana que contribui para a visão holística do desenvolvimento urbano sustentável.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os indicadores ambientais urbanos no Brasil estão relacionados aos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, analisando sua dimensão quantitativa e não qualitativa. Essa questão é grave, pois além dos índices de alcance de infraestrutura serem baixos, não há registros da qualidade de funcionamento de tais sistemas, fato que pode comprometer ainda mais o processo de deterioração dos recursos hídricos (LEITE; AWAD, 2012).

As fontes poluidoras do ar podem ser classificadas em dois tipos: as fixas (indústrias) e as móveis (carros, aviões, navios), responsáveis pelo lançamento de mais de 3 mil substâncias na atmosfera. Os eventos chuvosos funcionam como grandes lavagens da superfície da bacia hidrográfica e do ar atmosférico, dessa forma os escoamentos superficiais ficam carregados de poluentes. São dois grupos classificatórios da poluição urbana, o primeiro, denominado *poluição pontual* está relacionado ao lançamento pontual de efluentes, o que caracteriza uma contribuição concentrada e local; por outro lado, o segundo grupo, denominado *poluição difusa*, é caracterizado por contribuições esparsas e imprevisíveis, arrastadas pelo escoamento superficial em eventos chuvosos (SCHIVARTCHE, 2005).

O saneamento ambiental é uma questão que deveria estar estritamente alinhada à paisagem urbana, incorporada como uma estratégia de desenho para diminuir a pressão sobre os ecossistemas e reduzir a carga poluidora lançada na bacia. As novas tendências para a concepção de sistemas de drenagem urbana estão ligadas ao princípio de retenção das águas durante o maior tempo possível, amortizando o escoamento e favorecendo a infiltração no solo ou evaporação. Para isso, são integrados ao desenho urbano da paisagem, estruturas fitorremediadoras, como espaços ajardinados, bosques, parques e praças, que funcionam como áreas de várzeas florestadas. Essa visão reforça a importância do adensamento populacional e valorização dos espaços públicos na gestão ecológica do ciclo urbano da água (GAUZIN-MÜLLER; FAVET, 2002).

A fitorremediação pode ser uma estratégia dos projetos de paisagem urbana para potencializar a capacidade natural das plantas de controle da poluição, ou seja, as interações físicas, químicas e biológicas que ocorrem entre solo, plantas e microrganismos são otimizadas

à um nível suficiente para promover a redução de substâncias indicadoras de poluição. De uma maneira geral, podemos trabalhar com diversas tipologias de elementos verdes que compõe a infraestrutura verde urbana, contribuindo com a melhoria da qualidade ambiental nas cidades, e favorecendo o manejo das águas urbanas, assim como a valorização dos espaços públicos através da multifuncionalidade.

2.1 URBANIZAÇÃO E SANEAMENTO: UM BREVE PANORAMA

Embora de forma desigual, atualmente toda a humanidade está sofrendo as consequências da má gestão dos recursos naturais. Durante a Revolução Industrial, no século XVIII, a poluição ambiental foi intensamente agravada. As cidades cresceram rapidamente e a mão-de-obra do campo foi atraída pelo maquinário urbano, que lançava no ar gases tóxicos, mas que naquela época a fumaça preta representava esperança de progresso. Os trabalhadores se instalaram em bairros que se localizavam ao redor das fábricas, sem a menor infraestrutura de saneamento ou condições básicas de moradia, nessa época, a taxa de mortalidade cresceu devido a propagação de doenças e as cidades se tornaram locais completamente insalubres, com baixíssima qualidade de vida (BASTOS; SPERLING, 2009; VON SPERLING, 2005; MARICATO, 2001).

O processo de ocupação do solo teve início com o fim do nomadismo, que favoreceu a fixação das comunidades devido a capacidade de produzir alimentos, ao mesmo tempo, ao se estabelecer em uma área, as populações precisaram lidar com questões relacionadas ao abastecimento de água para consumo, irrigação e diluição dos desejos. Por muito tempo, os fatores que influenciaram na escolha das áreas próximas à corpos hídricos para fixação, foi a aparência, sabor e odor da água, que eram suficientes para caracterizar a água pura daquela época. A impureza da água ainda não estava vinculada a doenças, mesmo porque ainda não existia tecnologia suficiente para análise de microrganismos prejudiciais à saúde.

De fato, o impacto do lançamento de dejetos na água neste período era mínimo (PÁDUA, 2009). No entanto, com o crescimento da população e da ocupação do território, os assentamentos se tornaram cidades e os corpos hídricos foram absorvidos pelo tecido urbano.

Em consequência, o impacto do lançamento de águas residuais aumentou e acentuou-se a contaminação da água superficial e subterrânea.

Os primeiros registros relacionados às metodologias para o tratamento da água foram encontrados na Índia, datados de 4 mil anos atrás, aconselhando as pessoas a ferver a água ou deixá-la exposta ao sol, mergulhar peças de cobre aquecidas e finalizar com filtragem em potes de cerâmica. Séculos se passaram até o homem compreender que sua avaliação sensorial não era suficiente para afirmar a qualidade da água. Com o desenvolvimento urbano e a baixa atenção a questão do saneamento, endemias e a proliferação de pestes comprometeu a saúde da população. Apenas após a epidemia de cólera em 1831, a engenharia sanitária passou a ser desenvolvida e durante o século XVIII, cientistas já afirmavam a existência de contaminantes não visíveis a olho nu na água, relacionando-os às doenças (NASCIMENTO; BERTRAND-KRAJEWSKI; BRITTO, 2016).

A veiculação de doenças pela água somadas aos conhecimentos de microbiologia, que teve Pasteur como pioneiro com a publicação da Teoria Microbiana das Doenças (1864), impulsionou o desenvolvimento das técnicas de tratamento de água em escala urbana. De maneira geral, na atualidade, o tratamento da água envolve diversos processos que visam sua adequação aos padrões de qualidade definidos por órgãos ambientais, saúde e agências regulamentadoras. Essas exigências evoluem constantemente e tornam-se cada vez mais restritivas (PÁDUA, 2009).

As técnicas de descontaminação vêm acompanhando essa evolução, tornando-se mais sofisticadas e precisas, conforme Tabela 1. A qualidade da água passou a ser analisada com base em valores máximos permitidos (VMP), que caracterizam a partir de que concentração os contaminantes são prejudiciais à saúde. No Brasil, a primeira norma de qualidade da água válida em todo o território nacional foi editada em 1977, a Portaria BSB nº 56, Decreto Federal nº 79.367 que foi atualizada em 1999 e posteriormente em 2004, vigente até hoje sob a Portaria MS nº 518.

Além do controle da qualidade da água, frente aos desafios relacionados às epidemias fatais na segunda metade do século XIX, o governo brasileiro promoveu comissões voltadas à realização de obras de engenharia sanitária.

Tabela 1. Evolução nos processos de tratamento da água contaminada

PERÍODO	OBJETIVO	TÉCNICA
Entre XIX e XX	Clarificação e remoção de microrganismos patogênicos	Coagulação, floculação, decantação e desinfecção
A partir de 1970	Remoção de agrotóxicos, fármacos e hormônios sintéticos	Flotação, a filtração direta, a filtração em múltiplas etapas e novos desinfetantes
Atualidade	Remoção de microcontaminantes	Adsorção em carvão ativado, a oxidação, a precipitação química e a volatilização, além de processos de separação por membranas (microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa)

Fonte: Elaborado pela autora, a partir de Pádua, 2009, p.25

Na época, o conceito higienista, associado aos projetos de drenagem urbana para rápida condução e descarga das águas urbanas à jusante, foi a melhor solução encontrada para melhoria das questões de salubridade. O objetivo era isolar a água poluída do contato humano - que até então escoava livremente nas calhas; e escoá-la rapidamente para fora da bacia, visando erradicar as doenças de veiculação hídrica pelo distanciamento homem-água. Dessa maneira, após os surtos de cólera na França em 1849, os efluentes domésticos e industriais passaram a ser canalizados e lançados nas galerias de águas pluviais, caracterizando o conceito de "sistema unitário de esgotos".

Foi na segunda metade do século XIX, que uma nova concepção urbana nasceu na Europa. Com base na Escola de Bauhaus (Alemanha), o visionário Le Corbusier introduziu a chamada "cidade funcional", que valorizava os espaços abertos, praças, avenidas, jardins e bulevares. Esses novos ideais urbanísticos promoveram uma revisão nos conceitos de saneamento, que evoluiu para o modelo de "sistema separador absoluto", onde os esgotos não se misturam com as águas pluviais, ou seja, seu descarte passou a ser realizado em tubulações distintas e encaminhados para estações de tratamento antes do lançamento em corpos hídricos (TUCCI, 2008).

Em 1898, o engenheiro Saturnino de Brito apresentou um projeto de canais à céu aberto para drenagem, no entanto, sua proposta foi recusada e considerada utópica para época. Apenas em 1905, quando Brito assumiu o cargo de engenheiro-chefe da Comissão de Saneamento de Santos, seu projeto foi aceito. As obras se estenderam de 1905 a 1927, sendo que o projeto contemplava não apenas os canais de drenagem como elementos formais da paisagem urbana, mas também o traçado de expansão da cidade.

Saturnino de Brito foi pioneiro não apenas por implementar um sistema de drenagem à céu aberto separado da rede coletora de esgoto (sistema separador absoluto), mas também por desenvolver um planejamento urbanístico. Brito considerou o desenho da cidade em eixos em torno dos canais e incluiu diversas áreas verdes articuladoras em forma de bulevares e praças, pois já considerava a relação entre meio ambiente e salubridade. Seu projeto foi seguido em partes, até onde esbarrou em interesses dos grandes proprietários de terras, não dispostos a ceder áreas para tais finalidades (DE OLIVEIRA; DOS SANTOS, 2016).

Posteriormente, Brito trabalhou em outras cidades brasileiras, repetindo a prática pioneira de Santos, foram diversas aplicações em território brasileiro:

- Belo Horizonte (1894-1897);
- Santos (1896-1910);
- Vitória (1896),
- Parayba do Norte, atual João Pessoa (1913);
- Recife (1910-1914);
- Porto Alegre (1913), entre outros.

A cidade de Belo Horizonte ilustra muito bem os conceitos de urbanização da época, foi planejada e construída sob um traçado regular, ruas amplas e grandes avenidas em diagonal, além disso possui grandes áreas verdes, com destaque para o parque municipal e zoneamento urbano bem definido.

Em Santos, Saturnino de Brito iniciou seu plano pelas questões de inundação e de drenagem das áreas pantanosas entre a cidade histórica e a baía através de canais em estruturas lineares, autolimpantes pela ação da maré e do tipo separador absoluto. Esse modelo permitiu os canais de drenagem abertos associados à paisagem, ao invés de grandes galerias unitárias. Na época, os canais de drenagem pluvial, delineados por parques lineares,

cumpriam funções estéticas e ambientais, inclusive criando ambientes apropriados para lazer público. Inclusive, a planta de Brito tinha arranjos promotores da conectividade entre as áreas verdes, formando corredores ecológicos da biodiversidade. A intenção do engenheiro era trazer maior proporcionalidade entre as áreas verdes e áreas cinzas em relação à área urbana total planejada.

No Brasil, as intervenções concentraram-se mais nas questões estéticas e na eficiência do traçado urbano (malha viária, manejo das águas, qualidade do ar e conforto térmico), diferente de algumas concepções urbanísticas europeias que tinham também propósito de reforma social, como a cidade jardim de Ebenezer Howard ou a cidade industrial de Tony Garnier. Dessa maneira, em Belo Horizonte, por exemplo, as intervenções feitas visavam a drenagem superficial do solo, canalização dos cursos d'água, melhoria nas redes de abastecimento e coleta de esgoto, arborização e pavimentação de ruas, além da limpeza pública (NASCIMENTO; BERTRAND-KRAJEWSKI; BRITTO, 2016).

O diferencial notável entre Brito e os demais higienistas foi o seu profundo e inovador pensamento urbanístico, preocupado em orientar o desenvolvimento urbano, ao mesmo tempo em que preserva o patrimônio cultural e ambiental já existente. Dessa maneira, embora seu trabalho tenha sido baseado na engenharia do rápido escoamento, havia uma preocupação com a preservação do verde para o desempenho de suas funções naturais, como a redução da velocidade do escoamento superficial, estabilização dos terrenos contra erosão e desabamento, entre outros.

Em nível mundial, uma das referências urbanísticas internacionais mais importantes do século XX foi o modelo haussmaniano, cujo foco era melhoria do sistema viário e saneamento das cidades em paralelo à valorização estética estabelecida pela École de Beaux-Arts francesa, muito aplicada aos trabalhos do Barão Haussman em Paris e Saturnino de Brito no Brasil. Ambos se orientavam segundo a ideologia fundada no positivismo, com propósitos de modernização do país e de promoção do progresso científico e tecnológico.

Os primeiros manifestos voltados a reestruturação do meio ambiente urbano na França, foram com o Barão Haussman, idealizador da reurbanização de Paris entre 1853 e 1870,

ele promoveu a valorização de áreas verdes como parques e praças e vias largas e arborizadas, aumentando a ventilação e iluminação pública (MIGUEZ; DE MAGALHAES, 2010).

A solução higienista para o manejo das águas urbanas através de canais, galerias e massivas impermeabilizações do solo caracterizou uma prática muito comum até a década de 1970. No que diz respeito a saúde pública, essa solução foi eficiente para a época, no entanto os impactos dessas obras intensificaram os eventos de inundações, pois não foi prevista uma expansão urbana tão intensa, muito menos a complexidade do ciclo urbano da água em sobreposição ao solo. O problema das enchentes urbanas era visto como mero excesso de chuva, desvinculado ao funcionamento da bacia hidrográfica, essa visão levou a engenharia a buscar soluções locais com alta eficiência na velocidade da drenagem.

Esse método representou apenas uma transferência do problema das partes mais altas da bacia para as baixadas, na escala da bacia, a inundação é transferida de um ponto para outro, representando uma solução segmentada e incompatível com o crescimento urbano. As cidades estão em contínua expansão, em pouco tempo as baixadas passaram a ser ocupadas e herdaram as descargas pluviais à montante, das áreas canalizadas e afastadas da água, ou seja, a estabilidade dos sistemas à jusante foi prejudicada devido à velocidade dos fluxos de descarga e ao acúmulo de volume nas baixadas (IWUGO; ANDOH; FEEST, 2002).

A impermeabilização não planejada da bacia gera significativos níveis de escoamento de águas superficiais relacionadas de alguma forma com processos erosivos, sedimentação, enchentes, degradação da qualidade da água e desequilíbrio da biodiversidade. Com o aumento do volume de chegada nos sistemas de drenagem, é urgente a necessidade de investimentos para adequar a rede às novas vazões de cheia, sendo que a constante adaptação - relacionada ao crescimento da cidade, é insustentável à longo prazo. A resiliência urbana depende de soluções sistêmicas para a bacia como um todo, buscando o resgate dos escoamentos naturais, pré-urbanização, armazenamento em zonas baixas e infiltração/ recarga do lençol freático (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016).

Entre das décadas de 1970 e 1990, os países desenvolvidos entraram em um "período corretivo" através de técnicas compensatórias, marcado pela tentativa de controle

dos impactos advindos do período anterior (CHERNICHARO et al., 2007). Após a década de 90, tiveram início as primeiras medidas sustentáveis incorporadas na gestão das águas urbanas, direcionando o planejamento das cidades para um estilo de ocupação que respeita a lógica natural de escoamento, ou seja, as áreas de várzeas são preservadas para armazenamento e infiltração e as superfícies impermeáveis são minimizadas, reduzindo a velocidade e os picos de cheias. É possível analisar esse desenvolvimento histórico na Tabela 2.

Tabela 2. Desenvolvimento histórico do manejo das águas urbanas por fases

FASES DO DESENVOLVIMENTO DAS ÁGUAS URBANAS		
FASE	CARACTERÍSTICA	CONSEQUÊNCIA
Pré-Higienista (início séc. XX)	Esgoto em fossas ou diretamente nas ruas, sem coleta ou tratamento	Epidemias e doenças com altas taxas de mortalidade
Higienista (até 1970)	Transporte do esgoto junto às águas pluviais por canalização dos escoamentos	Redução das doenças e da mortalidade, degradação dos copos hídricos e contaminação dos mananciais
Corretiva (até 1990)	Sistema separador absoluto, tratamento dos esgotos, amortecimento dos escoamentos pluviais	Melhoria da qualidade das águas dos rios, poluição difusa, obras de grande impacto
Desenvolvimento Sustentável (após 1990)	Tratamento do escoamento pluvial, preservação do sistema natural, integração paisagística	Conservação ambiental, melhoria da qualidade de vida, controle das inundações

Fonte: Adaptado de Tucci, 2008.

As interações entre urbanização e cheias são resultados do modo de ocupação do solo durante o crescimento das cidades sobre o ambiente natural. A compreensão de como o processo de urbanização afetou e continua influenciando o comportamento das bacias e sua resposta as cheias são fundamentais para o planejamento sustentável, reconhecendo os limites hidrológicos e promovendo a implantação de uma infraestrutura mais adaptável e resiliente.

Atualmente, as cheias representam um fenômeno de intensa degradação do ambiente construído, segundo estatísticas reveladas pelo Banco Mundial⁴ e pelas Nações Unidas⁵, as cheias são o fenômeno natural que mais causa prejuízos em nível mundial, tanto no

⁴ Relatório de Avaliação de Perdas e Danos - Inundações e Deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro/2011, Banco Mundial.

⁵ Guidelines for Reducing Flood Losses, Department of Economic and Social Affairs (DESA), United Nations.

que diz respeito a perdas de vidas humanas, quanto perdas econômicas resultantes de desastres. Além disso, o número de grandes inundações vem aumentando ao longo das décadas, aumentando também as pessoas afetadas e os danos econômico-financeiros. Essa proporcionalidade revela o padrão de ambientes construídos altamente impactantes à bacia hidrográfica, que por sua vez, favorecem a probabilidade dos eventos a se intensificam com o aumento da população mundial. Podemos perceber que devido ao histórico de urbanização, os países em desenvolvimento são mais afetados devido ao descompasso entre a pressão social e a industrialização.

2.2 IMPACTOS DA POLUIÇÃO URBANA NA QUALIDADE DAS ÁGUAS

A qualidade do meio ambiente vem sendo alterada como resultado de uma série de processos invasivos, a degradação do espaço se tornou praticamente um padrão para o crescimento urbano, visando exclusivamente o conforto do ser humano. Os problemas advindos desse descontrole na ocupação urbana alteram os fluxos de água, a concentração de substâncias químicas no meio ambiente e a temperatura global. A poluição é fator perceptível de má qualidade ambiental, pois provoca um conjunto de alterações nas características físicas, químicas e biológicas da água através de ação antrópica direta ou induzida (ANDRADE; BLUMENSCHIN, 2014).

Os problemas se agravam à medida que as cidades e a demanda de seus habitantes crescem. Segundo o Ministério das Cidades⁶ a estimativa é que, para universalizar o acesso ao saneamento no Brasil, seja necessário 120 bilhões de reais, considerando que o investimento médio anual para esse fim é 1,2 bilhões, seriam necessários 100 anos para regularização, desconsiderando o crescimento das cidades.

O saneamento básico delimita um conjunto importante de sistemas físicos presentes na cidade e está diretamente associado a saúde da mesma. Os indicadores referentes ao saneamento básico nos revelam o nível de desenvolvimento do local e consequentemente a qualidade de vida de seus ocupantes, sendo que, estão incluídos no que se refere o saneamento básico: (1) abastecimento de água, inclusive quantidade e qualidade;

⁶ PLAN SAB, Plano Nacional de Saneamento Básico, 2013, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades.

(2) esgotamento sanitário em seu ciclo completo, ou seja, rede coletora, estação de tratamento e destinação final do efluente; (3) infraestrutura de drenagem das águas pluviais, incluindo áreas de infiltração e retenção, elementos estruturais de acúmulo e transporte; e (4) sistema coletor, transporte e destinação dos resíduos sólidos (RIGHETTO, 2009).

Dentro desse contexto, o crescimento urbano não integrado à implantação das infraestruturas necessárias ao desenvolvimento equilibrado da cidade resultou no surgimento dos problemas de controle da drenagem urbana, coleta e tratamento dos esgotos e manejo de resíduos. Em diversas cidades do país, efluentes domésticos e industriais são lançados em rios, lagos e córregos sem nenhum tipo de tratamento, essa é a principal forma de contaminação da água superficial na atualidade. Porém, a degradação dos recursos hídricos também ocorre de forma indireta devido a poluição do ar, solo e resíduos.

Em um primeiro momento, acreditou-se que a causa da degradação dos corpos hídricos urbanos era atrelada apenas ao lançamento pontual de efluentes domésticos não tratados e despejos industriais. No entanto, o escoamento superficial dos eventos chuvosos tem grande contribuição no transporte de cargas poluidoras até os corpos d'água receptores. Através dessa visão, foi possível classificar a poluição urbana em dois grupos: (1) poluição pontual e (2) poluição difusa.

A primeira está associada ao lançamento pontual de efluentes, caracterizando uma contribuição concentrada e local, o que facilita o controle e monitoramento das cargas poluidoras. Já a segunda é caracterizada por diversas fontes de contribuição⁷, que são arrastadas pelo escoamento superficial nos eventos chuvosos, atuando de forma esparsa e imprevisível. Estima-se que a poluição difusa é responsável por parte significativa da poluição de águas urbanas, aproximadamente 25% (TOMAZ, 2008).

A poluição difusa tem sido um grande problema sanitário nas áreas urbanas, pois a água escoada superficialmente pela impermeabilização da bacia entra em contato com diversos poluentes, comprometendo sua qualidade e dos corpos d'água receptores. Os

⁷ Fontes de contribuição da poluição difusa: deposição atmosférica seca (poeira, pólen, micropartículas de construções), erosão de solo desprovido de vegetação e de áreas em construção, depósito de poluição industrial, fertilizantes e pesticidas, emissões veiculares, vazamento de óleos (NOVOTNY et al, 2010).

impactos decorrentes das fontes poluidoras sob os recursos hídricos das cidades foram resumidos por (MOURA, 2014), e adaptados na Tabela 3, que relaciona alguns indicadores de qualidade da água.

Tabela 3. Poluentes difusos: fontes, impactos e indicadores de qualidade para corpos hídricos de água doce (classes 2; 3, respectivamente).

POLUENTES	FONTES	IMPACTOS	INDICADORES (357/05 CONAMA)
Materiais com demanda de oxigênio	Vegetação, fezes e matéria orgânica em geral	Diminuição do oxigênio dissolvido e consequente morte da fauna e flora como resultado do desequilíbrio ecossistêmicos. Produção de odores e gases tóxicos em condições anaeróbias.	DBO ⁸ (3;10 mg/l) DQO ⁹ COT (ou TOC) ¹⁰
Nutrientes e compostos orgânicos e inorgânicos (N ¹¹ e P ¹²)	Fertilizantes, detergentes, vegetação, urina, esgoto	N e P são os nutrientes essenciais ao sistema aquático, mas o excesso pode ser tóxico. Altas concentração desencadeiam o processo de eutrofização.	N-NO ₃ (Nitrato) (10 mg/l) N-NO ₂ (Nitrito) (1 mg/l) N-NH ₄ (Amoniacal) Fósforo Total (0,1;0,15 mg/l)

⁸ DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio): representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água através da decomposição microbiana aeróbia (que consome oxigênio). Valores altos de DBO num corpo d'água são provocados geralmente pelo lançamento de cargas orgânicas, principalmente esgotos domésticos. A ocorrência de altos valores deste parâmetro causa uma diminuição dos valores de oxigênio dissolvido na água, o que pode provocar mortandades de peixes e outros componentes da fauna aquática. Com a degradação da matéria orgânica através dos processos anteriormente descritos (envolvendo bactérias e plantas), a DBO vai automaticamente sendo corrigida no efluente à medida que os desequilíbrios entre os processos naturais vão sendo sanados.

⁹ DQO (Demanda química de Oxigênio): representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar por meios químicos a matéria orgânica presente na água. O valor obtido é sempre superior à demanda biológica de oxigênio, já que se oxidam por este método também as substâncias não biodegradáveis. A relação entre os dois parâmetros é indicativo da qualidade da água.

¹⁰ COT (Carbono orgânico total): O carbono orgânico (CO), definido como átomo de carbono ligado covalentemente a uma molécula, em amostras aquosas, representa toda a matéria orgânica presente na água. A determinação de COT em amostras líquidas indicam contaminações por compostos sintéticos e biológicos, de forma inespecífica, apenas para validação e monitoramento de qualidade.

¹¹ N (Nitrogênio total): Nos corpos d'água o nitrogênio pode ocorrer nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato (que é tóxico aos seres humanos). Pelo fato dos compostos de nitrogênio serem nutrientes nos processos biológicos, seu lançamento em grandes quantidades nos corpos d'água causa um crescimento excessivo das algas, processo conhecido como eutrofização. Isso pode prejudicar o abastecimento público, a recreação e a preservação da vida aquática. As fontes de nitrogênio para os corpos d'água são variadas, sendo uma das principais o lançamento de esgotos sanitários e efluentes industriais. Em áreas agrícolas, o escoamento da água das chuvas em solos que receberam fertilizantes também é uma fonte de nitrogênio, assim como a drenagem de águas pluviais em áreas urbanas também, em menor concentração.

¹² P (Fósforo total): Do mesmo modo que o nitrogênio, o fósforo é um importante nutriente para os processos biológicos e seu excesso pode causar a eutrofização das águas.

Óleos, graxas e gasolinas	Vias, postos de gasolina, estacionamentos, garagens, indústrias	Comprometimento dos recursos hídricos inviabilizando o abastecimento de água e limitação do uso recreativo. Redução da transferência de oxigênio na superfície da água e probabilidade de tumores em peixes	O&G (Óleos e Graxas Totais) (ausentes)
Metais pesados, pesticidas, herbicidas e hidrocarbonos	Áreas comerciais e indústrias, aterros sanitários e disposição imprópria de resíduos residenciais	Elementos tóxicos para os organismos aquáticos e efeito acumulativo na cadeia alimentar, comprometendo também a saúde humana e a potabilidade dos recursos hídricos	Alumínio Arsênio Cádmio, Chumbo Cobre, Cromo Ferro, Manganês Mercúrio, Zinco
Variáveis inorgânicas	Variam com as características geológicas e condições geográficas, com possibilidade de aumento por contribuição humana	Cloretos, fluoretos e sulfetos indicam contaminação por esgotos domésticos e indústrias. Outros compostos como cálcio e magnésio ocorrem naturalmente na água em decorrência da composição do solo e estão associados a dureza da água	Cloretos (250 mg/l), Fluoretos (1,4 mg/l), Sulfetos (0,002;0,3 mg/l), Cálcio, Magnésio Dureza Condutividade (1.000 µS/cm)
Sedimentos, sólidos dissolvidos em suspensão	Erosão de áreas em construção, descampados, escoamentos de ruas e bancos de areia nas margens	As partículas de sedimentos transportam poluentes que estão fixados às suas superfícies. Interferem na fotossíntese, respiração, crescimento e reprodução, além de reduzir a transferência de oxigênio nas superfícies de recursos hídricos	SST – Sólidos Suspensos Totais SDT – Sólidos Dissolvidos Totais (500 mg/l)
Coliformes termotol.	Indica contaminação por material de origem fecal, mas não necessariamente a presença de patógenos	Representam grande variedade de organismos que habitam o intestino de animais de sangue quente. Sua presença na água indica contaminação por material de origem fecal	Coliformes termotolerantes (200;4.000/200 ml)
Lixo	Descartes domésticos, comerciais, construção civil e matéria vegetal	Obstrução dos canais de drenagem, acúmulo em corpos hídricos, degradação estética	Virtualmente ausentes

Entre as fontes de fósforo e seus compostos destacam-se os esgotos domésticos, pela presença dos detergentes superfosfatados e da própria matéria fecal. A drenagem pluvial de áreas agrícolas e urbanas também é uma fonte significativa de fósforo para os corpos d'água. Entre os efluentes industriais destacam-se os das indústrias de fertilizantes, alimentícias, laticínios, frigoríficos e abatedouros como fontes de fósforo para o meio ambiente.

pH	Indicam a presença de efluentes industriais e eutrofização	A variação do pH na água depende de fatores naturais como clima, geologia, vegetação. Quando ocorre variações bruscas por fontes antrópicas ocorre o aumento da solubilidade de metais, redução da disponibilidade de nutrientes e alteração de processos biológicos	pH (6,0 a 9,0)
----	--	--	-------------------

Fonte: Elaborado pela autora com base em Moura, 2014, p.47

O ar que respiramos é composto de oxigênio (20,9%), nitrogênio (79,1%) e pequenas quantidades de outros gases. Essa mistura é essencial para a vida, porém não é tratada com o cuidado que merecia. Podemos classificar dois tipos de fontes artificiais poluidoras do ar: as fixas (indústrias) e as móveis (carros, aviões, navios), responsáveis pelo lançamento de mais de 3 mil substâncias na atmosfera. Os mais conhecidos são: monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de nitrogênio (NO₂) e ozônio (O₃). O último é resultado de reações fotoquímicas entre outros gases e luz do sol, ou seja, os dias ensolarados tem aumento de concentração de ozônio no ar.

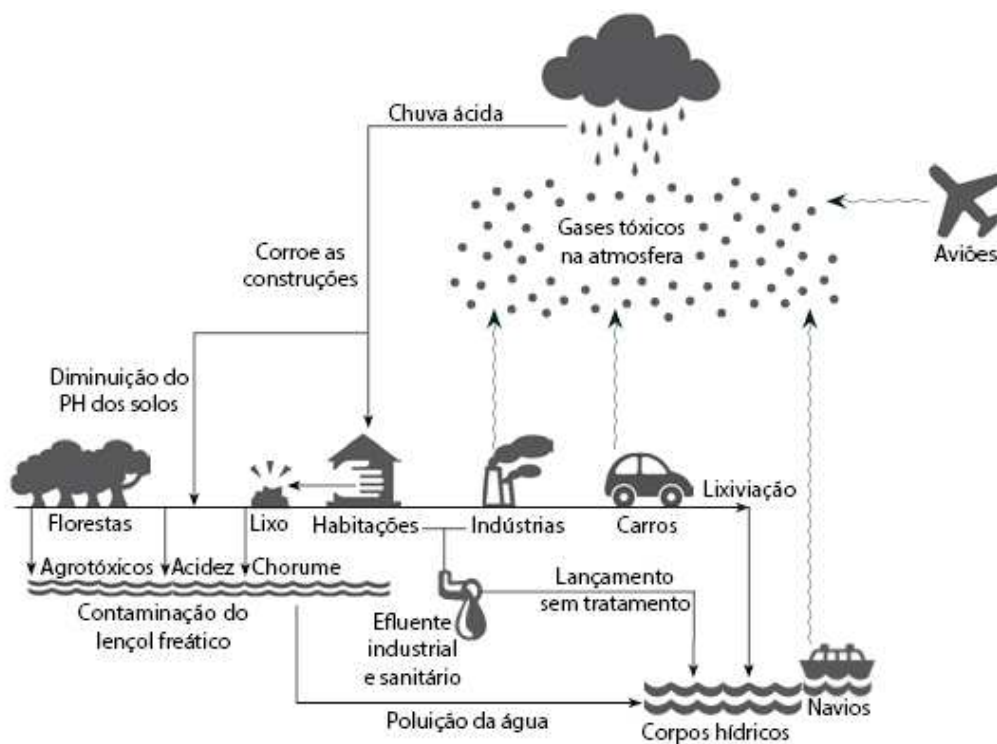
Todos esses poluentes presentes na atmosfera são carregados pela chuva até corpos d'água, além disso nas últimas décadas foi constatado que a chuva está ficando mais ácida em regiões poluídas, isso porque o gás carbônico (CO₂) se dissolve nas nuvens e na chuva, diminuindo o PH da água. Além de elevar a morte de peixes, esse fenômeno afeta a vegetação, uma vez que a acidez do solo dificulta a chegada de nutrientes como cálcio, potássio e magnésio às raízes das plantas. Outro fenômeno resultante da poluição atmosférica é o efeito estufa, que atinge os corpos hídricos devido à elevação da temperatura média do planeta, são diversas as consequências, mas no que se refere a gestão da água o principal impacto é a aceleração do derretimento das geleiras, que ocasionam desastres naturais como: inundações de cidades, desaparecimento de ilhas, tempestades e desequilíbrio da vida aquática.

As atividades agrícolas e mineradoras são duas das grandes responsáveis pela contaminação do solo devido ao uso de produtos químicos. Essas substâncias podem atingir os corpos d'água através da infiltração nas camadas mais profundas do solo até atingir o lençol freático, ou podem ser arrastadas pela chuva até rios, lagos e mananciais.

O lixo doméstico é outro grave problema urbano que contribui de forma ativa no aumento da poluição. A dificuldade tem início logo que o resíduo sai das residências, visto que os moradores da cidade ilegal não têm acesso aos serviços de coleta do lixo, que acaba ficando acumulado nos locais de despejo. Durante a degradação dessa matéria é liberado um líquido, o chorume, que fatalmente contamina o solo e as águas subterrâneas. Quando chove, grande parte do lixo acaba sendo arrastado até rios e cursos hídricos, onde impedem o fluxo normal da água e ocasionam enchentes, alagamentos e a contaminação do recurso, conforme Figura 1. Mesmo na cidade formal, quando existe a coleta de lixo, o problema ocorre na destinação final, visto que muitos aterros operam de forma inadequada, em São Paulo são apenas 45% dos aterros que apresentam condições legais (SCHIVARTCHE, 2005).

A principal contribuição de poluição desses escoamentos superficiais vem dos primeiros momentos da chuva (*first flush*), quando é atingida uma lâmina d'água ($\approx 0,013\text{m}$) com capacidade de arraste dos sedimentos e poluentes associados às diferentes superfícies urbanas, como telhados, ruas, estacionamentos e áreas livres (SCHUELER; BOARD, 1987).

Figura 1. Infográfico das fontes de poluição urbana diretas e indiretas nos corpos hídricos



Fonte: Elaborado pela autora.

A concentração da poluição difusa varia com as condições do solo urbano de cada região, determinando a quantidade de poluentes que serão carregados pelo escoamento superficial. Apesar de sua importante contribuição, não há medidas reguladoras para lidar com essa fonte de contaminação no Brasil, dessa forma, as iniciativas para mitigar o problema da poluição difusa baseiam-se em exemplos internacionais trazidos por profissionais envolvidos no planejamento urbano. As áreas verdes são importantes para a melhoria da qualidade das águas escoadas, pois a cobertura vegetal apresenta capacidade de retenção de poluentes, colaboram na sedimentação, infiltração e processos biológicos depurativos (TUCCI, 2008).

A poluição pontual, também é um foco de poluição muito grave para o meio ambiente urbano. O lançamento de esgoto em corpos d'água, às vezes, por mais que tenha sido tratado, pode resultar em contaminação. O destaque está nos nutrientes: nitrogênio e fósforo, diretamente relacionados aos problemas de eutrofização de corpos d'água; e nitrato, quando falamos em águas subterrâneas. Diferentemente da poluição difusa, o lançamento de efluentes em corpos d'água superficiais é controlado pelos padrões da resolução nº357, de 2005, e resolução nº430, de 2011, regulamentadas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente

(CONAMA), porém a fiscalização ainda não é suficiente para controle das fontes de contaminação.

Segundo (VON SPERLING, 2005), os tratamentos biológicos convencionais de esgoto, visam principalmente a remoção de matéria orgânica, resultando em efluentes com baixa redução de nutrientes como nitrogênio e fósforo. Experiências desenvolvidas pelo Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (Prosab), indicam que as estações de tratamento de esgoto e os sistemas de reuso de água deveriam atuar de forma integrada para que os nutrientes presentes no esgoto doméstico tratado tivessem um destino adequado, como por exemplo o reuso em irrigação, hidroponia e piscicultura, ao invés do lançamento em corpos hídricos.

O nitrogênio é um elemento crítico na poluição das águas, pois alimenta algas geradoras do processo de eutrofização e diminui a taxa de oxigênio dissolvido na água nos processos de conversão da amônia em nitrito e do nitrito em nitrato (nitrificação). Além disso, o nitrogênio quando em seu estado de amônia livre é altamente tóxico aos peixes e quando em seu estado de nitrato, está associado a doenças como metemoglobinemia, conforme resumido na Tabela 4. Distribuição relativa das formas de nitrogênio em condições distintas (CAMPOS, 1999).

Tabela 4. Distribuição relativa das formas de nitrogênio em condições distintas

CONDIÇÃO	FORMA PREDOMINANTE DO NITROGÊNIO
Esgoto bruto	Nitrogênio orgânico Amônia
Poluição recente em um curso de água	Nitrogênio orgânico Amônia
Estágio intermediário da poluição em um curso de água	Nitrogênio orgânico Amônia Nitrito (em menores concentrações) Nitrato
Poluição remota em um curso de água	Nitrato
Efluente de tratamento sem nitrificação	Nitrogênio orgânico (em menores concentrações) Amônia
Efluente de tratamento com nitrificação	Nitrato

Efluente de tratamento com nitrificação/desnitrificação	Concentrações mais reduzidas de todas as formas de nitrogênio
--	--

Fonte: Elaborado pela autora com base em Von Sperling, 2005

No esgoto, o nitrogênio apresenta duas formas predominantes, o nitrogênio orgânico e a amônia, basicamente de origem fisiológica, determinados em laboratório pelo método Kjeldahl, que constitui o parâmetro Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK).

Já o fósforo está presente no efluente bruto como fosfatos nas formas: (1) inorgânica (polifosfatos e ortofosfatos), de origem principal nos detergentes e outros produtos químicos domésticos; (2) orgânica (ligada a compostos orgânicos), de origem fisiológica. E podem ainda ser classificados de acordo com a sua forma como sólidos, no caso, fósforo solúvel (predominantemente inorgânico) e fósforo particulado (todo na forma orgânica). Sua presença não é nociva à saúde, mas também está relacionado à alimentação das algas causadoras da eutrofização, e ainda é um importante nutriente para o desenvolvimento de microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica (FLORENCIO; BASTOS; AISSE, 2006).

A eutrofização é um processo natural, porém pode ser acelerado pelas atividades humanas, uma vez que é resultado da fertilização continua dos corpos d'água. A condição básica para o crescimento das algas é a presença elevada de nitrogênio e fósforo juntamente com dióxido de carbono, ambiente formado em águas contaminadas.

Os corpos d'água urbanos estão muito sujeitos ao intenso aporte de cargas de nutrientes e de sólidos provenientes tanto da poluição difusa quanto dos lançamentos pontuais de esgoto, por isso a eutrofização é uma questão tão preocupante, conforme resume a Tabela 5. Lagoas e represas estão mais sujeitos a esse fenômeno do que rios, no entanto a poluição urbana vem degradando gravemente a qualidade das águas. Os impactos da eutrofização foram levantados em literatura e resumidos na tabela a seguir, mostrando os prejuízos à cidade, às pessoas e ao meio ambiente.

Tabela 5. Impactos da eutrofização

PROBLEMA	DESCRIÇÃO	CAUSAS
----------	-----------	--------

Estética e recreação	Diminuição ou estagnação da utilização da água para lazer, balneabilidade e atrações turísticas	Crescimento excessivo de vegetação Descontrole na proliferação de insetos Maus odores Mortandade de peixes
Anaerobiose	No fundo do corpo d'água	sedimentação de matéria orgânica reduzida penetração de raios solares elevação da concentração de bactérias heterotróficas redução do oxigênio dissolvido na água
	No corpo d'água como um todo	mistura total da massa líquida (inversão térmica) ausência de fotossíntese mortalidade de peixes
Mortalidade de peixes	Desequilíbrio da vida aquática	Anaerobiose Toxicidade por amônia na forma livre (NH ₃), pH elevado
Desafio de recuperação do corpo hídrico	Maior dificuldade e aumento dos custos para o tratamento da água	Remoção das algas Remoção de cor, sabor e odor Maior consumo de insumos químicos na ETA à jusante Maior manutenção de limpeza dos filtros na ETA
Rejeição da água para abastecimento	Alteração da fonte de abastecimento, "perda" da água eutrofizada	Toxicidade das algas, cianobactérias (cianotoxinas)

Fonte: Elaborado pela autora com base em Bastos; Von Sperling, 2009

Por esse motivo, nas últimas décadas, a consciência de que a remoção dos nutrientes das águas residuárias é uma medida importante para preservar a qualidade dos corpos hídricos cresceu.

As estratégias de controle da eutrofização levantadas pelo PROSAB, seguem duas vertentes: (1) medidas preventivas e (2) medidas corretivas. Na primeira, a atuação ocorre na escala da bacia hidrográfica, controlando as fontes externas, como controle da poluição pontual (lançamento de esgotos), controle da poluição difusa (drenagem pluvial, inclusive resíduos sólidos), controle do uso e ocupação do solo abusivo na bacia (inclusive atividades agropecuárias). Já na segunda estratégia, a atuação se dá diretamente no corpo hídrico

eutrofizado através de processos mecânicos, processos químicos e processos biológicos (BASTOS; SPERLING, 2009).

O desenho urbano sensível à água através de elementos projetados em integração com a técnica de fitorremediação, quando aplicado à bacia hidrográfica atua como medida preventiva na estratégia de controle da eutrofização, além da multifuncionalidade atrelada ao espaço verde. Da mesma forma, quando aplicamos a fitorremediação como um processo biológico diretamente no corpo hídrico eutrofizado, enquadramos a ação como medida corretiva.

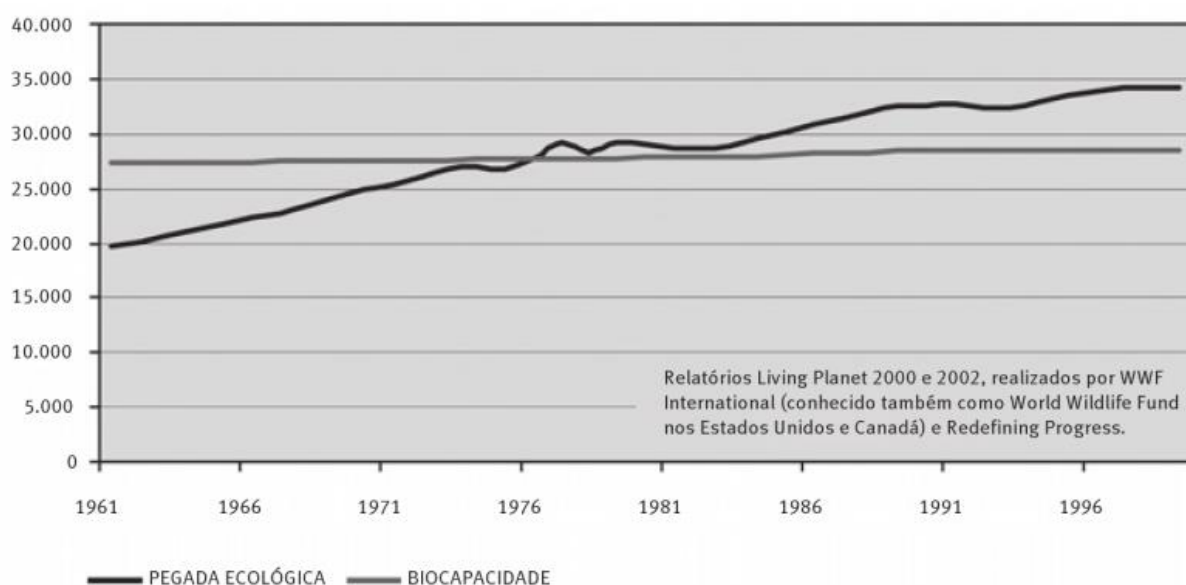
Nesse contexto, os projetos de manejo das águas pluviais se tornam fundamentais para o equilíbrio entre a convivência da população urbana e a água. Diferentes abordagens já foram concebidas, sendo que historicamente é possível traçar uma linha evolutiva, desde a Revolução Industrial, passando pelos preceitos higienistas tradicionais até as práticas de vanguarda sustentáveis, considerando o desenho das cidades sensíveis à água. Essa visão mais integrada do sistema de drenagem com o desenho das cidades revela uma preocupação que vai além da abordagem local, considerando a bacia hidrográfica como um todo e trazendo a água para o centro das discussões urbanas (ANDRADE, 2014).

2.3 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: UMA NOVA VISÃO PARA AS CIDADES

O avanço tecnológico foi responsável por um salto no desenvolvimento urbano, ao mesmo tempo, foi também grande propulsor da qualidade de vida da população urbana, aumentando a expectativa de vida e reduzindo a taxa de mortalidade infantil. Em 1950, aproximadamente 134 crianças a cada 1000 não sobreviviam até completarem um ano de idade, nos dias de hoje, apenas 37 a cada 1000 crianças morrem antes de completar um ano. O índice de expectativa de vida também apresentou melhoras, entre 1950-1955 era de 47 anos e atualmente chega aos 70, sendo que em países de primeiro mundo esse número chega a 80 anos. Dessa forma, o desenvolvimento é importante, porém é preciso assegurar que ele ocorra de maneira socialmente inclusiva e ambientalmente sustentável, para que o crescimento não resulte em impactos ambientais negativos (SACHS, 2015).

A evolução da ciência aliada a tecnologia ajudou o ser humano a dominar o meio ambiente terrestre e consequentemente sobreviver mais facilmente. No entanto, em paralelo aos benefícios à população vem se tornando cada vez mais sedentária e reclusa em uma vida limitada a ambientes fechados; a falta de contato com a natureza deixou em segundo plano os danos causados pelas ações antrópicas e valorizou a exploração dos recursos naturais em prol do conforto da vida moderna. De acordo com a pesquisa realizada pela WWF através da pegada ecológica¹³ mundial, desde aproximadamente 1977 a exploração dos recursos naturais ocorre à uma taxa que a Terra não tem mais como sustentar, as capacidades que o planeta tinha de fornecer tais recursos foram excedidas, caracterizando um espiral insustentável de crescimento urbano, conforme demonstra Figura 2 (FARR, 2013).

Figura 2. Gráfico da capacidade suporte da Terra em sustentar o estilo de vida humano



Fonte: Farr, 2013, p. 8

Os urbanistas do passado deram muito foco nos seres humanos, e pouca atenção à corrente ambientalista, que propunha uma maior valorização do meio ambiente, integrando desenho urbano e sistemas naturais. Da mesma forma, a economia da década de 60 era antiética à ecologia, extremamente predadora dos recursos naturais não renováveis (MCHARG, 1992). Nos Estados Unidos, o urbanismo sustentável começou a ser pensado apenas no final do século XX a partir de três movimentos de reforma sócio-política ambiental: (1) Smart Growth

¹³ Pegada ecológica: ilustra a capacidade dos sistemas naturais de suportar as demandas do estilo de vida contemporâneo através de categorizações das exigências humanas de sobrevivência, como: comida, bens e serviços, transporte, moradia, consumo de energia, renda, localização e práticas sustentáveis (FARR, 2013, p. 7).

(crescimento urbano inteligente), voltado ao controle do uso do solo e limites de expansão das cidades; (2) The New Urbanism (Novo Urbanismo), comprometido com as reformas humanistas - habitação, saneamento e saúde, com o replanejamento dos meios de mobilidade e com estilos arquitetônicos quanto "soluções racionais" - transecto urbano-rural¹⁴ ; (3) U.S. Green Building Council - USGBC (construções sustentáveis certificadas), movimento que propôs um sistema de pontuação de acordo com o desempenho e eficiência de uma construção através de diversos aspectos de análise, conhecido como programa LEED (Leadership in Energy and Environmental Design).

Em nível mundial, com o objetivo de combater esse cenário insustentável, foi assinado em 2002 um conjunto de compromissos pelos Estados-membros da ONU: as Metas de Desenvolvimento do Milênio (MDMs), que através de oito objetivos multidisciplinares visam alinhar o progresso mundial rumo ao desenvolvimento sustentável. O hiato entre países ricos e pobres ficou evidente após o século XIX, no denominado período do crescimento econômico moderno, mas por que diferentes regiões do mundo cresceram a taxas tão distintas?

Fazendo uma análise cronológica podemos dizer que até a metade do século XVIII a população mundial de forma geral era extremamente carente, uma vez que a expectativa de vida era baixa e a mortalidade infantil era alta - em grande parte devido ao acesso restrito de alimentos e a vulnerabilidade à doenças e epidemias. Na era dos Impérios não havia um progresso econômico sustentado e sim grandes oscilações entre o declínio e a ascensão das civilizações. O grande marco na história do desenvolvimento econômico mundial foi a Revolução Industrial, que através de um aumento exponencial da produtividade agrícola e um avanço científico-tecnológico mudou a maneira de viver.

Apesar de todos os percalços econômicos do século XIX, o novo milênio começou esperançoso e o reflexo político mais forte dessa esperança talvez tenha sido a Assembleia do Milênio, realizada em setembro de 2000 na sede das Nações Unidas (ONU) em Nova York. Foi a maior reunião de líderes mundiais já registrada: 147 chefes de Estado se uniram para

¹⁴ O transecto urbano-rural aplica a estrutura ecológica apresentada em desenho longitudinal para descrever os nichos ecológicos encontrados em uma paisagem, para a descrição de assentamentos humanos ou tipos de lugares através de um espectro de intensidade de ocupação que vai das áreas silvestres aos centros urbanos densos (FARR, 2013, p. 20).

expressar uma determinação global - denominada Declaração do Milênio (Resolução A/RES/55/2), a fim de acabar com os problemas mais desafiadores herdados do século passado através da cooperação e ações conjuntas com prazo estabelecido até 31 de dezembro de 2015. Essas iniciativas foram listadas e transformadas oficialmente nos oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, ou ODS, que por sua vez se ramificam em dezoito Metas de Desenvolvimento do Milênio, ou MDMs.

De maneira geral, as MDMs reconhecem as diversas dimensões da pobreza, que não se resumem apenas a baixa renda, mas também vulnerabilidade a doenças, exclusão educacional, fome, subnutrição, carência habitacional, inacessibilidade à água potável e saneamento, degradação ambiental, desequilíbrio das bacias hidrográficas e demais dificuldades que comprometem a vida e os meios de subsistência. O mundo já possui a tecnologia e o conhecimento suficientes para resolver a maioria dos problemas enfrentados pelos países pobres, porém não foram implementadas na escala necessária. Nesse contexto, houve grande entusiasmo após a reunião dos líderes mundiais, pois a união desses países representou uma possibilidade concreta de alcançar um desenvolvimento mais igualitário e sustentável.

Após 15 anos, ao final do prazo estipulado para o cumprimento das ações listadas, o último relatório dos ODM da ONU mostra que o esforço resultou em melhorias, no entanto, ainda há uma demanda grande por pesquisas mais aprofundadas em algumas áreas, de forma a permitir uma compreensão mais precisa do estágio da evolução e o tamanho dos problemas. O levantamento relativo ao acesso à água, por exemplo, é representativo pois é quantificado apenas se as pessoas têm ou não acesso à água potável e não sua qualidade.

O relatório final da ONU traz uma análise positiva no cumprimento dos objetivos elencados em 2000, eles trouxeram avanços, porém são alvo de críticas: segundo Corrêa & Alves (2005) já foi possível identificar desde o começo que a declaração do milênio se resumia a uma agenda minimalista, uma espécie de “mínimo denominador comum” aceitável nas difíceis condições de negociação política que têm caracterizado os processos da ONU desde 2000 e intensificadas após os ataques terroristas aos EUA em 11 de setembro de 2001. A crítica

em relação ao reducionismo das MDMs foi reconhecida por pensadores e ativistas, como por exemplo Mary Robinson – que foi alta comissária da ONU para os direitos humanos até 2002:

“Na perspectiva dos direitos humanos, as MDMs são muito estreitas, deixando de fora dimensões importantes, e também são limitadas por indicadores quantitativos que são insuficientes para medir a dignidade humana e a qualidade de vida. Para que a erradicação da pobreza seja implementada usando uma verdadeira abordagem de direitos humanos, uma definição ampla de pobreza se faz necessária: pobreza é a negação de escolhas e oportunidades. Significa a ausência e capacidades básicas para participar efetivamente na sociedade. Significa insegurança, falta de poder, exclusão de indivíduos, domicílios e comunidades. Também significa suscetibilidade à violência e frequentemente implica viver em ambientes marginais e frágeis, sem acesso a água ou saneamento.” (ROBINSON, 2003 apud (CORRÊA; ALVES, 2005), p. 179)

Em continuidade à busca de um progresso mais sustentado, no dia 25 de setembro de 2015 foi aprovada a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, a qual contém 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), conforme Figura 3, e 169 metas relacionadas. Desta vez, o conjunto de objetivos e metas demonstram a escala e a ambição desta nova Agenda universal. Através de medidas ousadas e transformadoras, os ODS aprovados foram construídos sobre as bases estabelecidas pelos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), de maneira a completar o trabalho deles e responder a novos desafios.

A Agenda 2030 é um plano de ação rumo à prosperidade que reconhece os principais desafios globais para humanidade e para o planeta. Mesmo diante de sua dificuldade, os objetivos são caracterizados como indispensáveis para que o desenvolvimento econômico, social e tecnológico ocorram de maneira mais harmônica com a natureza. Talvez a grande evolução dos ODS tenha sido a leitura das políticas e ações nos âmbitos regional e local, assim, leva em conta as diferentes realidades nacionais, as capacidades e níveis de desenvolvimento,

respeita as políticas, culturas e prioridades de cada país ao mesmo tempo em que dialogam universalmente em sua aplicação.

Figura 3. Objetivos de desenvolvimento sustentável, ONU



Fonte: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento no Brasil. Disponível em: <http://www.pnud.org.br/ods> Acesso em: 19 de dezembro, 2016

Há quinze anos foram acordados os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) e, apesar das críticas e falhas as metas estabelecidas criaram um marco para o progresso e significativas conquistas foram obtidas. O grande, porém, é que ainda permanece a desigualdade no processo de crescimento entre as nações, principalmente nos países de menor desenvolvimento, como África, interior da América do Sul e pequenos Estados insulares; existe uma cicatriz que marca as grandes disparidades de oportunidades, riqueza e poder. Os novos objetivos entraram em vigor no dia 1º de janeiro de 2016 e orientam as decisões à serem tomadas, novamente, pelos próximos 15 anos.

O conceito de desenvolvimento sustentável vem sendo amplamente utilizado nas últimas décadas, porém a clareza em torno de seu significado pode nos revelar uma certa contradição de termos. A fragilidade teórica e conceitual desse termo foi levantada por Costa (1999) e Braga (2009), e mostra o conflito entre formulações teóricas e propostas de intervenção nos âmbitos socioambiental e planejamento urbano. As maiores discussões teóricas em torno do desenvolvimento sustentável referem-se ao desenvolvimento da

sociedade com ênfase nos aspectos econômicos, sem grandes direcionamentos ao desenvolvimento urbano, ao mesmo tempo, algumas práticas do planejamento urbano que se dizem adotar o conceito de desenvolvimento sustentável, não trazem as formulações teóricas que lhes servem de suporte. As noções de urbano e ambiental são dinâmicas, dessa maneira, caracterizar sua evolução em meio ao estágio de desenvolvimento capitalista, torna-se fundamental para entender as mudanças sociais e a intervenção das práticas urbanas no ambiente construído — ou, meio ambiente urbano.

O mundo é cada vez mais urbano, o primeiro passo é o reconhecimento de que a maior parte do mundo tem um modo de vida urbano-industrial, marcado pela materialização espacial do capitalismo. A análise dos problemas urbanos nas economias industrializadas e de terceiro mundo, são muito conhecidos: habitação, saneamento básico, uso e ocupação do solo, transporte, etc. A vanguarda da análise social está relacionada aos estudos culturais pós-estruturalistas, à identidade do indivíduo, e como a diversificação étnica-cultural influencia nas práticas sociais do ambiente urbano. A queima de etapas da urbanização brasileira gerou tantas desigualdades infra estruturais que a problemática socioambiental ainda se constitui nos tais antigos problemas urbanos de espacialidade, no entanto os dilemas sociais e ambientais constituem uma necessidade muito além.

O termo desenvolvimento sustentável passou por diferentes enfoques desde os anos 1970, quando buscaram-se as primeiras associações entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental, ou os paradoxos entre desenvolvimento e pobreza (SACHS, 2015). A grande questão é que, não há desenvolvimento que não seja sustentável, dessa forma, foi condenado o conceito de crescimento econômico a qualquer custo, principalmente elevados custos ambientais resultantes dos impactos da expansão capitalista. Porém, nos esclarece que a sustentabilidade ambiental é uma dimensão do desenvolvimento e não um conceito diferente do anterior para gerar o termo composto: *desenvolvimento sustentável*. Segundo Costa (1999), o importante divisor de águas dessa discussão é a aceitação ou não do capitalismo moderno e do desenvolvimento em sua versão hegemônica, que tem como discurso a preocupação de redistribuição, preocupação com as desigualdades e com a identificação de novos caminhos guiados por políticas e estratégias.

“(...) o conceito de sustentabilidade traz consigo uma proposta, aqui retraduzida pela contribuição pós-estruturalista como um discurso de reprodução e manutenção do capitalismo em nível global. Essa mesma ideia é defendida por Harvey (1996; p.148), ao argumentar que “todo este debate em torno de ecoescassez, limites naturais, superpopulação e sustentabilidade é um debate sobre a preservação de uma ordem social específica e não um debate acerca da preservação da natureza em si”. Paradoxalmente, é em nome dessa mesma proposta que vários movimentos socioambientais vêm-se articulando e (re)conquistando espaços e identidades, reescrevendo, assim, o discurso dominante.” (COSTA, 1999), p. 63)

A abordagem da ecologia na cidade tem como referência a crítica à tradicional expansão capitalista marcada pela economia política, e traz uma perspectiva mais abrangente que integra o meio ambiente, a problemática do desenvolvimento e os movimentos sociais. O conceito de desenvolvimento, possui raízes econômicas relacionadas com o ideal de progresso que promove a melhoria da qualidade de vida — nesse contexto entendida como “consumo”. Esse conceito é essencialmente antropocêntrico, pois considera o homem como fim e a natureza como instrumento. Por outro lado, o conceito sustentável tem raízes ecológicas e tem ligações com os movimentos ambientalistas, portanto caracteriza-se como um conceito ecocêntrico, onde os valores são centrados na natureza e na preservação da vida em sua dinâmica (BRAGA, 2009).

Os processos ecológicos e o desenvolvimento humano são fenômenos simultâneos, visto a interação e domínio do homem perante as ciências da natureza para favorecer sua sobrevivência na Terra. Historicamente, a influência dos seres humanos nos processos biofísicos é vista em menor porcentagem quando comparada com a influencias dos próprios processos naturais na evolução ecológica; no entanto, a atualidade nos revela uma dimensão diferente, na qual as ações antrópicas interferem na maioria das transformações do meio ambiente, como por exemplo o desequilíbrio do ciclo hidrológico e a modificação do solo pelo uso e ocupação.

A importância das cidades para o desenvolvimento econômico é constantemente documentada e já foi reconhecida há muito tempo (JACOBS, 1961), porém a visão holística das cidades como uma força ecológica não é tão frequentemente reconhecida. Os impactos ecológicos resultantes do desenvolvimento urbano são vistos como ações pontuais, sendo que a urbanização causa alterações no meio ambiente em larga escala. Em números, as áreas verdes deveriam ser de 100 a 300 vezes maior que a área urbanizada para suportar uma cidade e preservar os serviços ecossistêmicos. Assim, a organização espacial de uma cidade e sua infraestrutura afetam o suporte de recursos necessários para manutenção da vida urbana e a pressão sob o meio ambiente (ALBERTI et al., 2003).

O grande desafio para ecologia nas próximas décadas é a completa e produtiva integração entre a complexa escala das atividades humanas em meio ao desenvolvimento ecológico. Como manter as interações entre os processos bióticos e abióticos considerando as influências da urbanização de forma sustentável? A ecologia urbana estreita as relações entre biosfera e ecosfera, dimensões revestidas de mutabilidade através da evolução da relação ser humano-ambiente.

A relação entre urbanização e ecossistema tem atraído a atenção dos pesquisadores de forma isolada (ALBERTI et al., 2003), mas como o ser humano e o meio ambiente evoluíram através das interações socioeconômicas e biofísicas? A corrente da ecologia urbana considera de forma simplificada a relação entre homem-ambiente, porém a completa compreensão desse sistema dinâmico não é entendida, tornando o cenário irreal. A urbanização é multidimensional e o fenômeno social está intimamente relacionado com os agentes ecológicos, fatores que trabalham simultaneamente em diferentes níveis. As cidades são sistemas auto organizados em constante crescimento, na qual a população interage localmente, como indivíduos, mas coletivamente são capazes de desenvolver dinâmicas imprevisíveis, tanto no aspecto demográfico quanto socioeconômico. Para integrar completamente os seres humanos nas ciências ecológicas a fim de alcançar o desenvolvimento sustentável, é necessário enxergar uma nova conectividade entre população, meio ambiente, desenho urbano e organização socioeconômica, no qual tanto as ações antrópicas quanto os processos ecológicos são agentes transformadores em potencial desenvolvimento (ANDRADE; BLUMENSCHIN, 2013; WU, 2014).

2.4 INFRAESTRUTURA VERDE E MANEJO DAS ÁGUAS URBANAS: DOIS ALIADOS

2.4.1 ECOSSISTEMA URBANO E RESILIÊNCIA

A qualidade de vida no meio ambiente urbano está diretamente ligada à compreensão de que as questões ambientais não diferem das questões sociais, pelo contrário, elas se reforçam mutuamente e devem ser consideradas de forma associada. A cidade é parte da natureza, por isso deve ser planejada de acordo com os processos naturais, aproveitando suas potencialidades ao invés de fragmentá-la. O ambiente urbano precisa ser visto como um sistema único e interativo.

Isso é sabido, porém, as travas ao rearranjo espacial das cidades estão relacionadas aos princípios do urbanismo funcionalista, que fragmenta o espaço e o tempo urbano de acordo com funções predeterminadas. Esse posicionamento gera espaços urbanos incoerentes à regionalidade, resultando em desarmonia entre funções ecológicas e sociais. O meio ecológico é um tipo de infraestrutura existente em meio à urbe e desempenha diferentes funções na promoção e manutenção da sustentabilidade urbana.

Conforme cita Demantova e Rutkowski (2007), na Avaliação Ecossistêmica do Milênio – AEM (“Millennium Ecosystem Assessment” – MEA) existem quatro categorias de serviços de ecossistemas que influenciam o bem-estar humano: serviços de provisão (alimentos, água, madeira e fibras); serviços reguladores (que afetam climas, inundações, doenças, resíduos e a qualidade da água); serviços culturais (que fornecem benefícios recreacionais, estéticos e espirituais); e serviços de suporte (formação do solo, fotossíntese e ciclo de nutrientes). Sendo que, dentro dessas categorias, muitos outros serviços podem ser derivados.

Muitas vezes, os problemas urbanos são gerados localmente e também deveriam ser resolvidos localmente. Os usos e desenhos dos projetos não devem ser padronizados para aplicação replicada em nos espaços urbanos, a abordagem local com projetos em diferentes escalas e integrados à natureza podem compor um ambiente muito mais apropriado.

A utilização de valores ecológicos na construção do espaço permite alcançar objetivos urbanos para composição da Infraestrutura verde, com destaque para os quatro seguintes (DEMANTOVA; RUTKOWSKI, 2007):

1. *Parkways*: caminhos largos, com vegetação, acesso à diversos tipos de transporte e conectividade com parques e praças;
2. *Blueways*: caminhos “azuis”, normalmente associados à cursos d’água, e permeado por passeio de pedestre e ciclovias;
3. *Greenways*: caminhos “verdes” com a característica de conectar terras lineares com usos múltiplos ao longo do percurso e foco no conforto para os usuários e na preservação ambiental;
4. *Green-infraestrutura*: infraestrutura verde, estruturas baseadas na natureza para cumprir funções urbanas, como redução de ruídos, drenagem de águas pluviais, tratamento de esgoto, promoção de valores culturais e lazer.

O urbanismo ecológico é um conceito que nos apresenta justamente o princípio de adaptação e reequilíbrio das cidades (resiliência) através de soluções ambientais ligadas ao desenho urbano e a incorporação dos processos naturais para recuperação dos ecossistemas e da paisagem. O desenho urbano é uma ferramenta de adaptação para cidades resilientes e permite a coexistência inter-relacionada entre cidade e natureza, revelando-nos que as cidades são parte do mundo natural, elas representam habitats e ecossistemas conectados e dinâmicos (PICKETT; CADENASSO; MCGRATH, 2013; SPIRN, 2000, 2011).

As cidades sempre estarão sujeitas a eventos inéditos, pois são ecossistemas abertos e dinâmicos, vulneráveis à eventos climáticos e ações antrópicas; dessa forma o conceito de resiliência se torna fundamental no planejamento urbano, viabilizando a capacidade de resposta adaptativa às mudanças das condições e necessidades de determinada época ou região; as cidades resilientes são cidades duradouras¹⁵. Dessa forma, a resiliência urbana é muito importante para o desenvolvimento sustentável, pois representa a capacidade de superar crises, resistir e se regenerar. No âmbito econômico e social a resiliência está presente na estabilidade de desempenho mesmo em condições não favoráveis, ou seja, ao passar por stress ou choque, não há prejuízo à pessoa física e jurídica. Já no âmbito ecológico

¹⁵ O conceito de cidades duradouras (a city is hard to kill) foi apresentado por Kevin Lynch no livro *Wasting Away*, da editora Sierra Club Books, publicado em 1990.

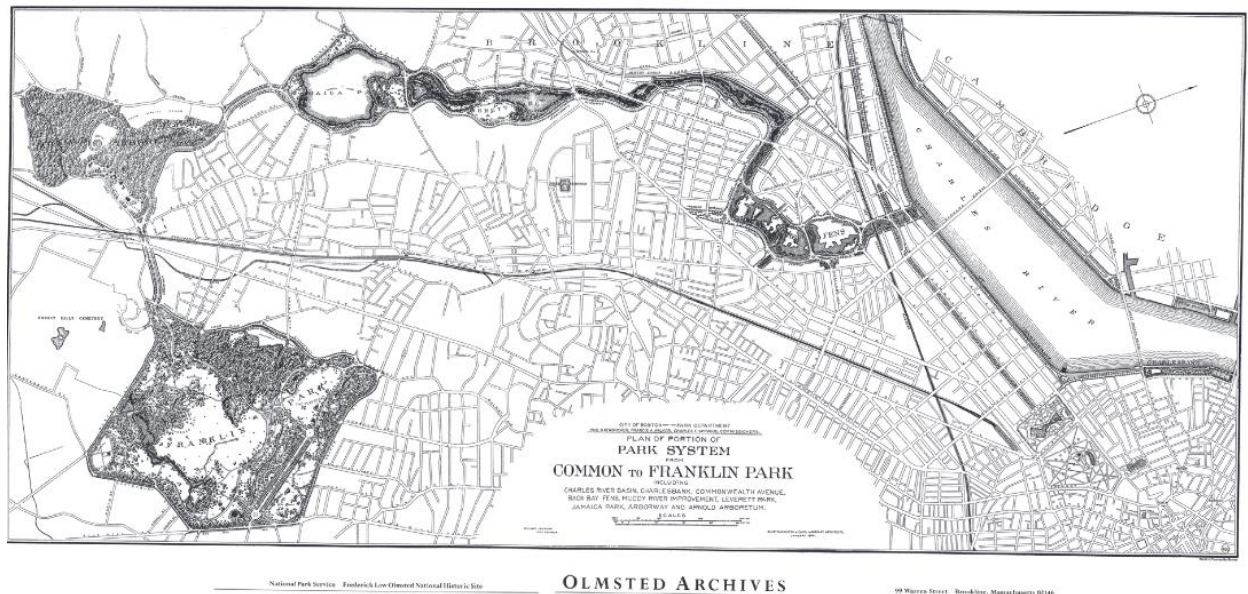
e ambiental, o nível de resiliência é inversamente proporcional à dependência de recursos naturais não renováveis (ANDRADE, 2014).

A expansão urbana vinculada à infraestrutura cinza (rede de elementos impermeáveis e monofuncionais), intensificou a vulnerabilidade resultante das ações humanas, pois o funcionamento dessas cidades requer grande volume de energia e matéria-prima, com correspondente geração de resíduos e poluição. Segundo Herzog & Rosa (2010), a infraestrutura verde tem grande potencial na mitigação dos efeitos dessa urbanização, alimentando os ecossistemas urbanos de resiliência para enfrentar as mudanças climáticas e contribuir para a transição à uma economia ecologicamente neutra.

"Infraestrutura verde em um meio urbano consolidado consiste em uma rede multifuncional verde-azul (vegetação - sistemas hídricos + drenagem) que incorpora o retrofit (renovação) e adaptação da infraestrutura já existente." (HERZOG; ROSA, 2010, pg. 92)

Frederick Law Olmsted desenvolveu um dos primeiros projetos voltados à resiliência da paisagem urbana através de infraestrutura verde com o Emerald Necklace (Colar de Esmeraldas), em Boston entre 1878 e 1895, conforme Figura 4. O projeto consiste em uma rede de parques interligados pelas matas ciliares dos rios Stony Brook e Muddy, criando um corredor verde dentro do tecido urbano que requalificou os cursos d'água e articulou soluções para o controle de enchentes, saneamento, recreação e conservação ambiental, sendo que na atualidade encontra-se conforme Figura 5 (BONZI, 2015).

Figura 4. Plano original do Emerald Necklace (1894), projeto multifuncional que abriga biodiversidade, proporciona circulação, lazer e relaxamento para os moradores em pleno centro de Boston, além de filtrar as águas poluídas e prevenir inundações



Fonte: Bonzi, 2015, p.7

Figura 5. Mapa atual do Emerald Necklace



Fonte: Bonzi, 2015, p.8

A infraestrutura verde é uma rede multifuncional interconectada que estrutura o mosaico da paisagem, também conhecida como infraestrutura ecológica (IGNATIEVA, 2010; YU; PADUA, 2007) é um conceito que emergiu dos princípios da ecologia da paisagem (Forman e Godron, 1986): estrutura, função e mudança. A conexão é um aspecto fundamental para os fluxos d'água, biodiversidade e pessoas; e os espaços verdes mimetizam as funções naturais da paisagem, dessa forma a cidade funciona de forma integrada. Para Herzog & Rosa (2010), a

infraestrutura verde absorve os processos e fluxos naturais abióticos (geológicos e hidrológicos) e bióticos (biológicos - fauna e flora), através dos seguintes sistemas: (1) Naturais: geológico, hidrológico, biológico; e (2) Antrópicos/Culturais: social, circulatório e metabólico. O diagnóstico das combinações entre esses sistemas revela os potenciais e os limites de uma área, direcionando a implantação de estruturas verdes em diversas tipologias e a consequente manutenção dos serviços ecossistêmicos, como indicado na Tabela 6.

Tabela 6. Quadro de serviços ecossistêmicos

Abióticos (geofísicos)	Bióticos	Cultural/Social (antropocêntrico)
Processos de desenvolvimento de solos	Biófito remediação de resíduos sólidos e tóxicos	Oportunidade para recreação e atividades físicas
Resíduos (Lixo): Processamento e transformação – Reuso	Provê metapopulação para a dinâmica da vida	Benefícios específicos para a saúde pública
Manutenção do(s) regime(s) hidrológicos de superfície/subsuperfície	Habitat e rotas/corredores para espécies generalistas e especialistas	Suporte e parte integrante de atividades econômicas
Acomodação do(s) regime(s) de distúrbios	Manutenção de distúrbios e regime(s) de sucessão	Proporciona um sentimento de isolamento, paz e inspiração
Ciclagem de nutrientes – amortecimento e sequestro	Produção de Biomassa	Contexto saudável para interações sociais
Proteção /Amortecimento de Enchentes	“Reservatório de diversidade genética	Estímulo para expressão artística e abstrata
Alteração, amortecimento de extremos climáticos	Base para interações de Flora e Fauna	Possibilita Educação Ambiental

Fonte: Elaborado pela autora com base em Ahern, 2008

A função suporte dos corpos hídricos para as cidades sempre foi de extrema importância, inclusive a disponibilidade da água foi um dos fatores que permitiu a transição para o sedentarismo e a formação dos primeiros povoados, ou seja, a água foi pré-requisito para fixação e desenvolvimento. Historicamente, a água desempenhou diversos papéis fundamentais, como a fertilização dos solos, defesa contra povos rivais, transporte para o comércio, dissipação das águas residuais; e, até hoje, a presença da água funciona como base-suporte para a sobrevivência das populações. No entanto, os ecossistemas só estão aptos a prover a base fundamental para as atividades urbanas quando estão em equilíbrio (MIGUEZ;

DE MAGALHAES, 2010). Um bom estado ecológico para os rios varia com diversos fatores considerados em hidrologia, como:

- Comportamento hidráulico do canal;
- Morfologia;
- Qualidade da água;
- Presença de vegetação;
- Saúde do ecossistema fluvial.

A relação entre o homem e a água é uma herança cultural e o acesso à água limpa agrega melhor qualidade de vida. No entanto, devido ao histórico de ações que degradaram e ainda degradam os rios em consequência da urbanização, demandam medidas não apenas preservacionistas, mas voltadas a recuperação da qualidade ambiental desse ecossistema aquático.

O desequilíbrio dos rios tem início de fora para dentro, isso significa que, as intervenções sofridas pela bacia hidrográfica refletem no comportamento do rio. Muitas vezes é preciso atuar primeiramente na escala da bacia para depois intervir diretamente do curso d'água, primeiramente é preciso trabalhar para o controle poluição difusa, do desmatamento e das impermeabilizações. Nesse contexto a reformulação dos conceitos de drenagem urbana, principalmente manejo de águas urbanas, são fundamentais para atingir uma requalificação sistêmica e verdadeira.

Devido ao alto grau de artificialização da bacia, o corredor fluvial chegou a ser completamente erradicado em alguns rios, dessa forma as propostas de requalificação buscam ações compensatórias dos efeitos causados pela urbanização. De maneira geral, elas buscam resgatar valores naturais, mais próximos aos preexistentes, capazes de estabilizar as cheias e a autodepuração, assim medidas como recuperação geomorfológica, tratamento e melhoria da água, redução do risco hidráulico e fomento ao desenvolvimento da biodiversidade são pontos centrais nas propostas de regeneração dos rios urbanos. Algumas ações para requalificação fluvial foram resumidas na Tabela 7.

Tabela 7. Ações para atuação na requalificação fluvial

AÇÕES DE REQUALIFICAÇÃO FLUVIAL DIRETA	
Renaturalização	Retorno do rio às condições naturais através do reestabelecimento dos níveis de qualidade da água, recuperação da dinâmica sedimentar e do regime de fluxo natural, retorno da geometria natural do canal e sua estabilidade, reflorestamento da mata ciliar e favorecimento do desenvolvimento da biota aquática
Criação	Quando o nível de degradação é irreversível e a renaturalização se torna inviável, parte-se para a criação de um ecossistema que promova um novo equilíbrio geral do canal, capaz de ser sustentado pelas características atuais da bacia e promover ganho ecológico em relação a situação anteriormente encontrada
Reabilitação	Recuperação da dinâmica natural, favorecendo que o rio se torne mais similar ao que era antes da degradação de forma espontânea e respeitando a limite imposto pelas pressões existentes
Remediação	Promoção de uma nova condição de equilíbrio, uma vez que a condição original não representa mais relevância. Dessa forma, a melhoria das condições ecológicas não depende de similaridade ao estado natural do rio e sim novos parâmetros desejáveis e resilientes
Melhoria	Qualquer tipo de ganho na qualidade ambiental do rio
Preservação	Prevenção e gerenciamento do ecossistema aquático para manter suas funções e características, ou seja, evitando a degradação

Fonte: Adaptado de MIGUEZ et al, 2016

As novas ações, com visão mais holística, buscam a reversão do quadro de inundações através da revitalização do ambiente construído e resgate dos valores naturais. O desenvolvimento de baixo impacto hidrológico através da drenagem sustentável, resgata o equilíbrio entre ambiente natural e construído, além da relação saudável entre rio-cidade (requalificação e preservação).

2.4.2 DA DRENAGEM AO MANEJO DAS ÁGUAS URBANAS

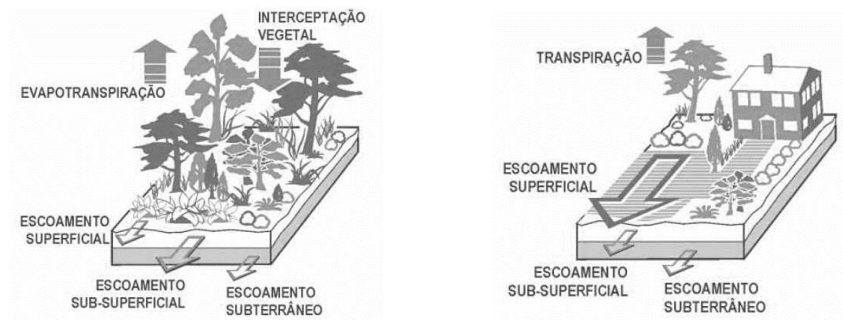
Naturalmente, a topografia das regiões possui áreas destinadas ao escoamento de vazões e enchentes, denominadas várzeas. Conforme foi discutido, a ocupação dessas áreas sem planejamento vinculado a gestão hídrica gerou grande impacto no ciclo da água, aumentando os fenômenos de enchentes e alagamentos. Historicamente, as soluções encontradas para lidar com esse problema foi a canalização de córregos e a macrodrenagem, intervenções que aceleraram o escoamento a jusante e restringiram o contato do homem com a água poluída. De fato, essa alternativa reduziu as doenças de veiculação hídrica da época, porém aumentou os impactos à medida que a cidade ampliou e adensou sua área urbanizada, uma vez que não foi prevista a extensão da rede de macrodrenagem a jusante.

Essas intensas alterações no meio natural resultam no aumento e precipitação do pico de uma cheia natural, ou seja, como resultado das impermeabilizações e desmatamentos, o escoamento superficial aumenta em velocidade e volume, fazendo com que nas bacias urbanizadas a curva de vazão em relação ao tempo seja muito mais acentuada do que no cenário natural original do solo. O comparativo entre situação natural e bacia urbanizada foi desenvolvido na Tabela 8.

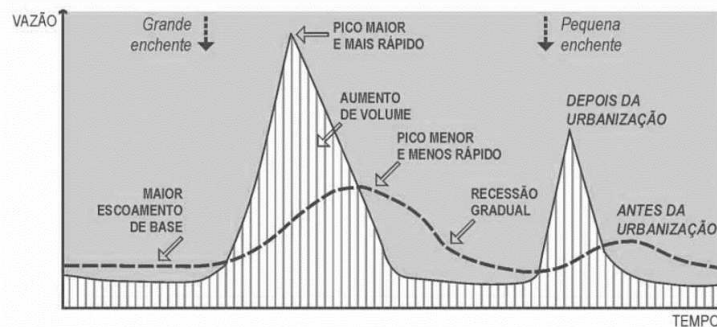
Tabela 8. Tabela. Alteração das características hidrológicas de uma bacia urbanizada em comparação à situação natural

	SITUAÇÃO NATURAL	BACIA URBANIZADA
Características	Picos de cheia menores; Menores volumes escoados; Maior tempo de concentração; Maior vazão de base.	Picos de cheia maiores; Maiores volumes escoados; Menor tempo de concentração; Menor vazão de base.

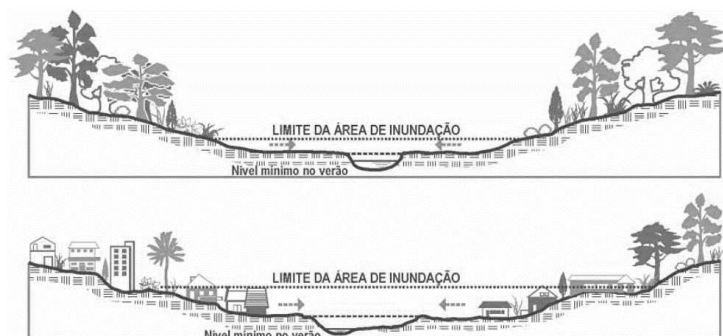
Balanço Hídrico



Hidrograma de Escoamento



Resposta da Geometria do Escoamento



Fonte: Elaborado pela autora com base em Miguez et al, 2016, p.7; Schueler; Board, 1987

Miguez et al (2016) levantou duas importantes particularidades da drenagem urbana que nos ajudam a entender sua dinâmica: (1) o escoamento das águas pluviais vão ocorrer sempre, independentemente da existência de um sistema de drenagem projetado ou não, naturalmente as águas escoam e isso continuará acontecendo em qualquer superfície; (2) a eficiência do sistema de drenagem é pressionada durante a ocorrência de chuvas, dessa forma não é solicitada em tempo integral, mas é preciso estar em perfeitas condições a qualquer momento.

Os sistemas tradicionais de drenagem urbana são baseados em dois subsistemas, denominados microdrenagem e macrodrenagem. O primeiro é composto por condutos em nível local, compondo uma rede primária traçada em conjunto com as ruas, pavimentos, bocas de lobo e galerias, ou seja, representam os canais de águas pluviais de pequenas dimensões. Já a macrodrenagem corresponde a rede de maior porte, que receberá as contribuições do sistema de microdrenagem. Seu traçado está integrado aos caminhos de drenagem natural, pré-urbanização, as áreas de vales, várzeas e baixadas; sendo que esse subsistema é composto por estruturas maiores e desaguam em corpos receptores próximos. A medida que a urbanização cresce, a rede coletora é sobrecarregada e precisa ser estendida através de obras de complementação, em outras palavras, os canais são aumentados, galerias, barragens e diques são ampliados até a próxima saturação.

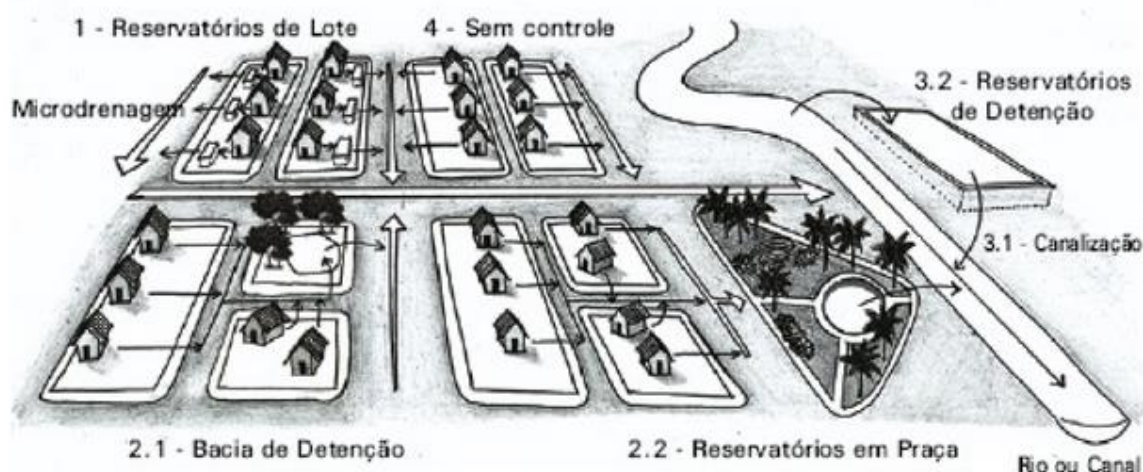
Esse método acelera o escoamento das águas localizadas nas áreas mais altas e gera uma sobrecarga nos corpos receptores à jusante, desequilibrando a bacia hidrográfica, pois supera a capacidade natural de distribuição das águas escoadas e resulta em inundação. A falha das redes de micro e macrodrenagem tem uma relação direta com as cheias urbanas. São diversos motivos que levam o sistema ao colapso, falha na previsão de expansão da malha urbana, falta de manutenção, envelhecimento ou obsolescência; basicamente os problemas de drenagem são resultado do descompasso entre projeto e funcionamento, podendo haver falhas isoladas na microdrenagem, na macrodrenagem ou ainda em ambas, o que resulta em grandes catástrofes.

As medidas de controle para tratar o problema das cheias são conhecidas como 'medidas estruturais' e 'medidas não estruturais', como o próprio nome sugere, o primeiro

grupo de medidas está relacionado com intervenções na infraestrutura da rede, aumentando sua capacidade de descarga (expansões hidráulicas), armazenamento (reservatórios) e infiltração/ percolação (dispositivos verdes). Já o segundo grupo de medidas, atuam preventivamente a fim de promover a harmonia entre urbanização e bacia hidrográfica, absorvendo os conceitos de preservação ambiental, áreas permeáveis e controle de resíduos.

Campana; Mendiondo; Tucci (1995) apresentam uma classificação para as medidas estruturais, conforme exemplificado na Figura 6, de acordo com a sua atuação na bacia, dividindo-as em: (1) medidas distribuídas, que representam o controle sobre o lote, praças e passeios; (2) medidas na microdrenagem, controle que atua sobre o hidrograma resultante do(s) loteamento(s); e (3) medidas na macrodrenagem, controle que atua sobre rios e canais.

Figura 6. Medidas estruturais para controle de inundações segundo local de atuação



Fonte: Rezende, 2010

A mais tradicional medida estrutural adotada para o controle de inundações é a canalização projetada em redes juntamente com galerias e retificações, denominada técnica convencional (ou técnica de canalização). A fim de complementar a capacidade hidráulica da rede de drenagem urbana, surgiram as técnicas preservacionistas (ou compensatórias), que buscam compensar sistematicamente os efeitos da urbanização, controlando na fonte a produção de excedentes de água decorrentes da impermeabilização.

As técnicas compensatórias, resumidas na Tabela 9, visam uma atuação preventiva na questão das cheias urbanas, ataca o problema em sua causa, revelando uma visão sistêmica,

que busca ações distribuídas na paisagem a fim de: reduzir e retardar picos de cheia (conceito de reservação), recarga do lençol freático (infiltração) e restauração do escoamento natural (REZENDE, 2010).

Tabela 9. Técnicas compensatórias para manejo de águas pluviais

TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS		
Medidas de Armazenamento		
Técnicas que privilegiam a armazenagem e a capacidade de retenção. Detém água durante a passagem do pico de cheia e esvaziam posteriormente em vazão lenta		
Estrutura	Descrição	Objetivo
Reservatórios de Detenção	Estrutura projetada em escavação ou barramento para armazenar determinado volume de curto período, reduzindo as vazões de pico dos hidrogramas das cheias e aumentando sua base. De maneira geral, não reduz o volume de escoamento direto, mas redistribui as vazões em um recorte de tempo maior	— Amortecimento dos picos de cheia por vazão redistribuída — Controle do volume do escoamento superficial — Decantação de sedimentos e sólidos
Bacias de Retenção	Estrutura projetada em escavação para reter o escoamento superficial a longo prazo, mantendo um volume morto (lagoa) permanentemente. A presença de lamina d'água continua favorece a autodepuração através de mecanismos físicos e biológicos, assim além de reduzir volume, trata a qualidade da água	— Controle quantitativo das cheias urbanas através da redução de volume — Controle qualitativo da água por sedimentação e decomposição biológica — Redução de carga contaminante a jusante
Tanque de lote	Estrutura em pré-moldado para instalação em escala local. Projetados para armazenar água de forma distribuída pela bacia hidrográfica, atuando em uma etapa prévia ao escoamento superficial	— Controle do escoamento superficial direto e indireto — Fonte de água alternativa para o proprietário do lote (reuso)
Medidas de Infiltração		
Técnicas que favorecem a infiltração para compensação dos impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico. Favorecem a permeabilidade do solo, diminuindo o volume de escoamento superficial		
Estrutura	Descrição	Objetivo

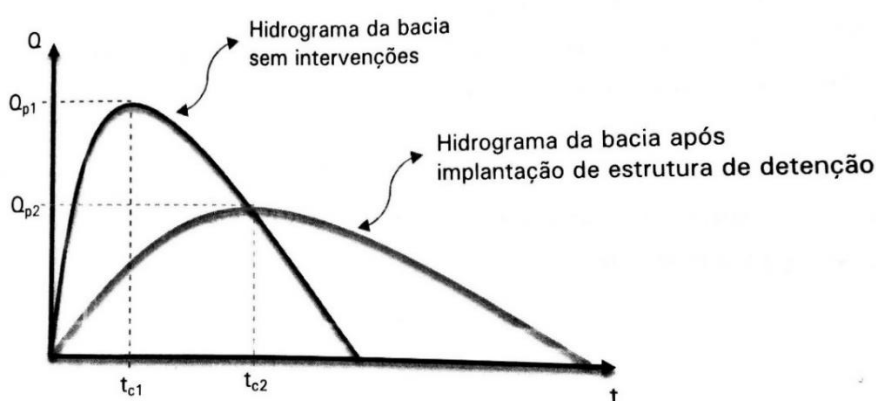
Vala de infiltração	Estrutura projetada em escavação com seção trapezoidal ou parabólico, para transporte do escoamento superficial em baixa velocidade devido as pequenas inclinações	— Aumento do tempo de concentração e redução da velocidade de escoamento da água — Redução da descarga de pico e da vazão — Aumento da infiltração no solo e melhoria qualitativa da água
Trincheira de infiltração	Estrutura projetada em escavação com seção igual à vala, porém sem inclinação, pois não é desenvolvida para transporte e sim infiltração de todo volume armazenado, sendo necessário prever alta taxa de percolação	— Redução dos volumes escoados e vazões de pico — Recarga do lençol freático e melhoria qualitativa da água
Poços de infiltração	Estrutura projetada em poço escavado e revestido com tubulão de concreto furado ou tijolos assentados em crivo. A base de material granular no fundo do poço favorece a drenagem da água armazenada e a infiltração no solo, porém esse dispositivo apresenta capacidade de detenção provisória	— Redução do volume de descarga na rede pública — Diminuição da vazão de pico (amortização) — Aumento da infiltração e recarga do lençol
Jardim de chuva	Estrutura projetada em escavação com preenchimento em material granular de alta permeabilidade e vegetação arbustiva para biorretenção, armazenamento, tratamento, evapotranspiração e infiltração da água de chuva, além do diferencial paisagístico e valorização do ambiente ao redor.	— Redução de volume, vazão e escoamento superficial — Armazenamento e tratamento da água — Aumento da infiltração, recarga do lençol e devolução da água ao ciclo natural
Pavimentos permeáveis	Pavimento poroso que permite a rápida infiltração do escoamento superficial até a camada drenante inferior composta por material granular (aumento da porosidade) e a posterior percolação pelo solo	— Armazenamento de água na sub-base — Retardo da drenagem pluvial com redução do escoamento superficial — Infiltração e recarga dos aquíferos
Telhados verdes	Estrutura vegetada sob superfícies construídas para aumentar as áreas permeáveis nas cidades. Embora seja uma técnica que não propicia a infiltração direta, é capaz amortizar o escoamento superficial direto e traz benefícios ao meio ambiente	— Aumento de área verde útil e revegetação urbana — Redução do volume de água encaminhada ao sistema de drenagem — Retorno da água de chuva ao seu ciclo natural

Áreas verdes	Espaços livres gramados e/ou vegetados que representam superfícies permeáveis	— Favorecimento do processo de percolação — Diminuição do escoamento superficial
--------------	---	---

Fonte: Elaborado pela autora com base em Miguez et al., 2016

Ao contrário dos projetos tradicionais de drenagem, no qual os dispositivos são dimensionados de acordo com a vazão máxima do pico de cheia, nos projetos de técnicas compensatórias, o dimensionamento tem como base os volumes dos escoamentos excedentes das chuvas e tem como objetivo comportar a maior parte desse volume nas estruturas apresentadas na tabela acima, definindo a capacidade de armazenagem do dispositivo. Dessa forma, o tempo de concentração da bacia é completamente alterado, resultando na redistribuição da vazão e diminuição do volume e do escoamento superficial, aproximando-se do hidrograma natural, como é possível ver na Figura 7.

Figura 7. Hidrogramas de cheia em uma bacia antes e depois da implantação de uma estrutura de retenção, demonstrando o aumento no tempo de concentração e redução da vazão de pico



Fonte: Miguez et al, 2016, p.277

A aplicação das técnicas compensatórias de forma integrada à paisagem urbana pode resultar em ambientes saudáveis e multifuncionais. Projetos integrados ao meio ambiente favorecem a conservação da biodiversidade e a valorização da região perimetral, podendo inclusive fazer parte de uma estratégia de revitalização. O conceito de que uma área possa desempenhar diversas funções e cumprir com mais de um objetivo envolvendo preocupações ecológicas, culturais, financeiras e estéticas, leva a otimização do seu aproveitamento.

Antigamente as paisagens naturais eram capazes de absorver e infiltrar a água, recarregando os aquíferos e promovendo maior estabilidade hidráulica em eventos chuvosos. No olhar do desenvolvimento sustentável, a água é vista como recurso e não como descarte, por isso é proposto o resgate das zonas de amortecimento e absorção das águas pluviais através de técnicas naturais planejadas na escala do terreno (IWUGO; ANDOH; FEEST, 2002).

Desde a década de 1970, o combate às enchentes vem passando por uma mudança de concepção, passando para uma visão muito mais integrada a bacia. Os conceitos de prevenção e equilíbrio ambiental tem sobressaído a pura tentativa de controle e combate pontuais, caracterizando a atualidade por uma abordagem mais compreensiva e sistêmica, capaz de promover a sustentabilidade para o manejo das águas urbanas. O resumo comparativo entre conceito higienista e conceito ambiental foi desenvolvido na Tabela 10.

Tabela 10. Conceitos higienistas x Conceitos ambientalistas

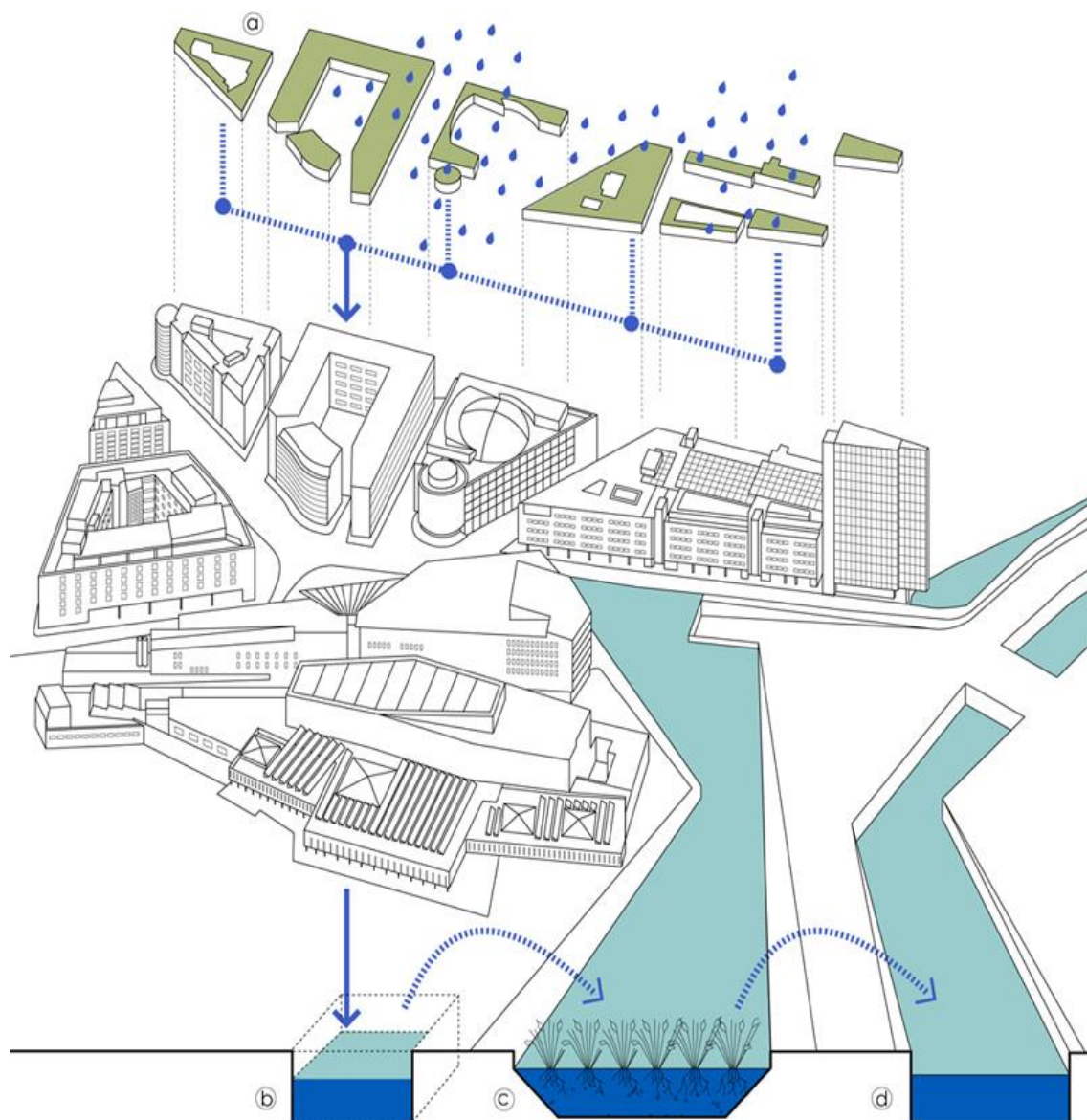
	Visão Tradicional - Conceito Higienista	Visão Holística - Conceito Ambiental
Solução	Drenagem de rápido escoamento à jusante	Manejo sustentável das águas urbanas através de infraestruturas de armazenamento e infiltração
Objetivo	Afastar a água	Conviver com a água
Função das calhas fluviais	Conduto isolado	Ambiente de lazer e contemplação, desenvolvimento dos ecossistemas
Ação	Canalizar	Reter, armazenar, infiltrar, tratar, renaturalizar
Gestão	Isolada, local	Integrada, global
Financiamento	Investimentos limitados pelo orçamento	Taxas públicas específicas para drenagem e gestão de resíduos
Controle da Poluição	Sistema separador	Sistema depurativo - tratamento "in loco"

Fonte: Elaborado pela autora

Segundo Farr (2013), além de benefícios a saúde pública e ao meio ambiente, os projetos baseados na natureza também trazem benefícios financeiros, no que diz respeito a redução dos custos iniciais de implantação quando comparado a soluções convencionais, redução nos custos de operação e manutenção, redução do consumo de energia e ainda valorização imobiliária devido ao valor paisagístico agregado.

Nos países desenvolvidos, as áreas públicas são mais valorizadas e dispositivos de purificação ficam espalhados pelas cidades, vinculados a infraestrutura verde urbana. Um exemplo é a Potsdamer Platz, na Alemanha, que conta com cinco cisternas subterrâneas para captação de água e encaminhamento as zonas depurativas, áreas plantadas fitorremediadoras que garantem água limpa e acessível para a população de Berlim, conforme indicado na Figura 8.

Figura 8. Infográfico conceitual em camadas do sistema de drenagem e armazenamento de águas pluviais na Potsdamer Platz, Berlim, Alemanha. Legenda: a) Telhados verdes para filtragem da água; b) tanques subterrâneos para coleta e armazenamento de água; c) lagoa pluvial central onde ocorre a fitorremediação; d) corpo hídrico, canal Landwehr, destinação da vazão extra



Além de promover um tratamento biológico natural as áreas de fitorremediação colaboram para a retenção da água, diminuindo a pressão sob os sistemas de drenagem. Dessa maneira, a água é liberada lentamente, um processo que pode levar horas ou dias, ao contrário da drenagem tradicional que esco a vazão em minutos. Por estarem atreladas ao desenho da paisagem, as áreas de fitorremediação permitem o estabelecimento de um habitat natural de áreas úmidas, o que favorece a biodiversidade e viabiliza oportunidades recreativas para a população. Essa solução significa um grande avanço para o saneamento, pois é acessível devido ao baixo custo e pode ser gerida pela própria comunidade, ampliando o alcance à água limpa e enquadrando-se nos princípios da gestão ecológica da água, conforme Tabela 11.

Tabela 11. Princípios da gestão ecológica do ciclo da água

1	Proteger o lençol freático e as águas superficiais
2	Reduzir o consumo de água potável e garantir sua qualidade
3	Minimizar o volume de água residual a fim de reduzir os custos relacionados ao seu tratamento
4	Redimensionar as redes existentes saturadas
5	Implementar o tratamento ecológico das águas poluídas através de soluções alternativas
6	Reduzir a impermeabilização das superfícies urbanas para reduzir os riscos de inundações
7	Priorizar a condução das águas pluviais em sistemas de escoamento aberto
8	Criar bacias de captação integradas com espaços verdes que melhorem simultaneamente a qualidade do ar e o clima social

Fonte: Elaborado pela autora com base em Gauzin-Muller; Favet, 2002

Os programas que mais avançaram na abordagem relacionada ao manejo das águas urbanas, que denominaremos como melhores práticas de manejo (MPM)¹⁶, são: (1) LID (Low Impact Development) - Estados Unidos, (2) WSUD (Water Sensitive Urban Design) - Austrália e (3) SuDS (Sustainable Drainage Systems) – Inglaterra, também resumidos na Tabela 12. As técnicas utilizadas por esses programas incluem telhados verdes, cisternas, jardins de chuva, pavimentos permeáveis, canais de infiltração, e demais estruturas que visam integrar o planejamento urbano com a gestão, proteção e conservação do ciclo hidrológico. Segundo o programa australiano WSUD, a gestão da água urbana deve ser voltada para administração municipal, sendo assim uma gestão descentralizada, porém de visão holística.

¹⁶ MPM (Melhores Práticas de Manejo)

Tabela 12. Melhores práticas de manejo das águas urbanas, principais programas que envolvem técnicas sustentáveis para relação entre cidades e ciclo hidrológico

PROGRAMA	CONCEITOS	OBJETIVOS
LID (Low Impact Development) início: final da déc.90 — EUA 	"Cidade Verde" Utilização abundante de vegetação para tornar a cidade mais bonita, proporcionar habitat para vida natural, limpar o ar e a água. Implantação de áreas verdes bem distribuídas na cidade que favorecem a biodiversidade, preservação dos ecossistemas terrestres e aquáticos, depuração das águas pluviais e manutenção do ciclo da água no meio urbano	Regulação das águas urbanas para estimular a função da água da chuva em seu estado natural, antes de sofrer a intervenção antrópica
WSUD (Water Sensitive Urban Design) início: 2001 — AUS 	"Gestão Urbana Integrada" Conectividade e interdependência dos recursos de água urbana e atividades humanas, e a necessidade de gestão integrada. Base unificada para estudar o balanço hídrico, estoques de água em áreas urbanas, captação e desenvolvimento	Integrar o planejamento urbano com a gestão, proteção e conservação do ciclo urbano da água, favorecendo o manejo das águas urbanas de forma sensível aos ciclos hidrológicos e ecológicos naturais
SuDS (Sustainable Drainage Systems) início: 2012 — UK 	"Manejo eficiente das águas pluviais" Representa uma alternativa ou complemento do tradicional sistema de drenagem urbana através da mimetização da drenagem natural, privilegiando o armazenamento, infiltração, melhoria da qualidade da água e diminuição da velocidade do escoamento	Controle da quantidade (volume) do escoamento superficial, reduzindo os riscos de inundação e protegendo o ciclo hidrológico natural, controle da qualidade da água e prevenção contra poluição, proporcionar lugares mais agradáveis para as pessoas e para a natureza

Fonte: Elaborado pela autora

"Com o tempo, esta abordagem irá construir a resiliência dos recursos hídricos e ambientais aquáticos sob as pressões de consolidação urbana e mudanças climáticas." (ANDRADE; BLUMENSCHIN, 2013), p.67)

O Programa de Modernização do Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, já propõe uma política nacional de drenagem urbana voltada a sustentabilidade ambiental e socioeconômica através de soluções alternativas que priorizem as questões ecológicas interligando-as ao desenho urbano em escala detalhada e precisa. Porém, atualmente, no Brasil, é comum encontrar soluções tradicionais imediatistas e restritivas na

maneira de lidar com a natureza no meio urbano, como confirmam as Áreas de Proteção Permanente e Matas Ciliares. As unidades de conservação ambiental em meio as cidades nada mais são do que indicadores de padrões urbanos de crescimento não sustentáveis, pois o desenho ecológico deveria ocorrer em função de sua ocupação na bacia hidrográfica (ANDRADE; ROMERO, 2005).

“Pela Lei Federal nº 11.445/2007, entende-se que o manejo das águas pluviais urbanas corresponde ao conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, do transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, do tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas associadas às ações de planejamento e de gestão da ocupação do espaço territorial urbano.” (RIGHETTO, 2009, p. 23)

Essa definição nos permite ampliar as ações relacionadas à drenagem urbana para além dos projetos de macrodrenagem, integrando-as na prática aos problemas ambientais e sanitários das águas urbanas. As vazões e volumes de inundação continuam sendo as grandezas físicas de maior atenção, no entanto passam a integrar-se com demais parâmetros, como a qualidade da água, poluição difusa, transporte e retenção dos resíduos sólidos, além da apropriação do recurso hídrico nas atividades urbanas.

O Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) é um documento muito importante na gestão das águas pluviais urbanas, pois é desenvolvido com o objetivo de promover a distribuição escoamento superficial no espaço urbano em função da ocupação e evolução da infraestrutura de drenagem a fim de minimizar os prejuízos econômicos e ambientais. Ele funciona como um guia une informações sobre uso e ocupação do solo e as medidas (estruturais e não estruturais) indicadas para equilíbrio entre desenvolvimento urbano e sistema de drenagem.

O Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais do Estado de São Paulo¹⁷, por exemplo, tem como objetivos específicos: redução de inundações, minimizar os efeitos da poluição difusa, eficiência econômica, desenvolvimento da região, preservação e melhorias ambientais e satisfação das necessidades sociais e de recreação. Para isso sugere algumas premissas básicas de estruturação, como:

- Manter o volume e velocidade o mais próximo possível das condições naturais da bacia, e quando possível reduzir essas características à valores inferiores aos naturais;
- Considerar que o escoamento superficial transporta a poluição difusa, assim são necessárias medidas de controle e tratamento da sua qualidade;
- As ações devem seguir os princípios de sustentabilidade;
- Recuperar e/ou preservar, na medida do possível, as áreas de várzea;
- Articular as ações de drenagem com o planejamento territorial e demais serviços de saneamento básico.

Segundo Miguez et al (2016), a quebra de um paradigma não deveria vir atrelado ao abandono das práticas atuais, e sim, a combinação das técnicas, aproveitando o potencial atuante de cada concepção.

" (...) pode-se dizer, em princípio, que as novas tendências em drenagem urbana têm uma vocação mais sustentável e, de forma geral, seriam preferíveis às soluções tradicionais. Entretanto, a combinação das técnicas tradicionais com as técnicas compensatórias, realizada em arranjos sistêmicos, focados na reorganização espacial dos escoamentos produzidos pela bacia, pode ser efetiva em algumas situações." (MIGUEZ et al, 2016, p.3)

Os objetivos do manejo das águas urbanas, de forma geral, são: a redução dos alagamentos locais para prover segurança/saúde pública e preservação das redes de infraestrutura urbana; preservação de várzeas e multiplicação de áreas verdes multifuncionais

¹⁷ Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais do Estado de São Paulo, Volume 01, 2012, Prefeitura de São Paulo.

integradas a drenagem; controle da qualidade e quantidade das águas urbanas escoadas e o amortecimento das vazões, priorizando sistemas de retenção e infiltração das águas.

São opções para atingir esses objetivos as diversas tipologias de estruturas fitorremediadoras vinculadas ao desenho urbano, gerando paisagens multifuncionais¹⁸ que compõe a infraestrutura verde urbana. A integração entre desenho urbano e água somados à revitalização e valorização do espaço urbano representam um importante caminho para o desenvolvimento sustentável, fazendo da paisagem urbana uma estratégia para melhoria da qualidade ambiental.

Nessas estruturas, a melhoria da qualidade das águas ocorre devido as atividades biológicas vinculadas aos ambientes: (1) alagados, como é o caso das estruturas que mantêm lâmina d'água constante (lagoa) e (2) plantados, pois a presença vegetal aumenta o biofilme¹⁹ e otimiza as interações biológicas responsáveis pela quebra dos contaminantes presentes na água (fitorremediação). Segundo Barreto (2011), a presença vegetação é benéfica e mostra um efeito significativo e positivo na remoção de poluentes, pois oferecem grande área superficial para a fixação e crescimento de microrganismos (biofilme), fornecem carbono orgânico e oxigênio na zona de raízes, reduzem a velocidade do escoamento, promovem a estabilização do leito filtrante e manutenção da condutividade hidráulica.

2.5 FITORREMEDIAÇÃO: AS PLANTAS COMO AGENTES DA DESPOLUIÇÃO

2.5.1 DEFINIÇÕES

Os processos naturais atuam na depuração das águas de forma espontânea, influenciado diretamente na manutenção de sua qualidade. Desde a Revolução Industrial no século XVIII, a desenfreada urbanização das cidades vem exercendo grande pressão sobre os recursos naturais ultrapassando a capacidade natural de recuperação do meio. A técnica que explora a propriedade de interação entre as bactérias localizadas nos rizomas das plantas e os diferentes

¹⁸ Paisagens multifuncionais: quando uma área pode cumprir diferentes objetivos e funções quanto aos interesses ecológicos, econômicos, culturais, sociais e estéticos (Miguez et al, 2016, p.19).

¹⁹ Os biofilmes são comunidades biológicas estruturadas, coordenadas e funcionais, podem desenvolver-se em qualquer superfície úmida e favorecem a associação dos organismos em relações simbióticas (DAVEY; O'TOOLE, 2000).

tipos de contaminantes (orgânicos e inorgânicos) é chamada de **fitorremediação**. Consiste basicamente no uso de plantas para remover, reduzir ou imobilizar contaminantes presentes na água, no solo e no ar. Essa interação promove transformações químicas nas moléculas que resultam em formas não tóxicas, ou seja, inofensivas ao ecossistema.

Os sistemas fitorremediadores vem sendo aprimorados afim de potencializar a capacidade que o meio ambiente tem de controlar a poluição. Ou seja, as interações físicas, químicas e biológicas presentes entre solo, plantas e microrganismos são otimizadas à um nível “ótimo”, suficiente para promover a redução de substâncias indicadoras de poluição.

As habilidades biológicas e químicas das plantas acima da terra são bem entendidas e difundidas pela maioria das pessoas. O conceito de que as plantas capturam o CO₂ da atmosfera e melhoram a qualidade local do ar liberando O₂ como produto da fotossíntese é ensinado nas aulas de biologia das escolas. Porém, o complexo sistema das plantas abaixo da terra não é tão frequentemente considerado, e é justamente na área de raízes que ocorrem as mais interessantes ações depuradoras (TODD, 2013). A implantação desta técnica na paisagem urbana é estratégica para a redução das taxas de contaminantes à níveis compatíveis com a saúde humana ao mesmo tempo em que minimiza a disseminação da poluição e desempenha um importante papel infraestrutural no auxílio do manejo das águas urbanas, conforto ambiental e aumento da biodiversidade (MAHLER; MATTA; TAVARES, 2007).

Em nível mundial, as aplicações da técnica de fitorremediação em sistemas projetados são conhecidas como “*constructed wetlands*”, que podem ser traduzidos como “alagados construídos”, cujo objetivo é mimetizar ecossistemas naturais a fim de induzir os processos depurativos. Os wetlands construídos são reproduções dos wetlands em seu estado natural, nada mais do que zonas alagadas encontradas na natureza em cenários de depressão topográfica, margens de rios e lagos, áreas litorâneas, etc.

Devido a diversidade de terminologias no assunto deste capítulo, convém estabelecer quais termos serão utilizados, seus sinônimos e significados adotados para a atual pesquisa, conforme Tabela 13.

Tabela 13. Terminologias relacionadas a fitorremediação e definição dos termos adotados na atual pesquisa

TERMINOLOGIA ADOTADA	SINÔNIMOS	SIGNIFICADO ADOTADO
Fitorremediação e Sistemas fitorremediadores	Wetlands construídos, zonas alagadas construídas, zona de raízes, leitos filtrantes, dispositivos de biorremediação	Capacidade natural de interação entre plantas, microrganismos que habitam a rizosfera e os nutrientes presentes na água
Barreira vegetal	Barragem verde, fitoestabilização física	Presença vegetal em locais estratégicos para atuar como uma barragem contra erosão superficial, lixiviação e difusão de resíduos sólidos
Biovaleta	Biovala, vala plantada, trincheira plantada, vala de biorretenção	Estrutura plantada, projetada em escavação com seção máxima de 2,5m ² e baixa inclinação, é preenchido com material granular de alta permeabilidade. Visa o transporte do escoamento superficial em baixa velocidade, atua como barreira vegetal e filtro natural no combate à poluição urbana
Jardim de chuva	Jardim de biorretenção, jardim de infiltração	Jardim de vegetação arbustiva e rizosfera com alta permeabilidade, é projetado para armazenamento, melhoria da qualidade da água, evapotranspiração, amortização dos picos de chuva e desaceleração do escoamento superficial. A infiltração da água de chuva, pode ou não ser considerada, dependendo da estratégia de projeto
Lagoa plantada	Wetlands, lagoa de estabilização verde, lagoa de infiltração, lagoa de retenção	Estrutura projetada em escavação para reter o escoamento superficial a longo prazo, mantendo um volume morto (lagoa) permanentemente. Favorece o controle quantitativo das cheias urbanas através da redução de volume, controle qualitativo da água por sedimentação e decomposição biológica e redução de carga contaminante a jusante
Ilhas flutuantes	Jardins flutuantes, wetlands flutuantes	Estrutura flutuante, ancorada ao fundo, com vegetação arbustiva plantada em substrato permeável, permitindo o contato direto das raízes com a água para o desenvolvimento de biofilme aquático e consequente melhoria da qualidade da água
Margens flutuantes	Bancos flutuantes, wetlands de margem	Difere das ilhas flutuantes por ser uma estrutura ancorada à margem de corpos hídricos

Jardins Filtrantes	Wetlands construídos, tratamento por zona de raízes, sistemas alagados construídos, biorremediação vegetal	Sistema híbrido composto pela combinação de jardins de fluxo sub-superficial (vertical e horizontal) e fluxo superficial para o tratamento de efluentes
Bacia de Retenção	Bacia de amortização, bacia de infiltração	Bacia escavada no solo para armazenamento temporário de águas pluviais e infiltração

Fonte: Elaborado pela autora

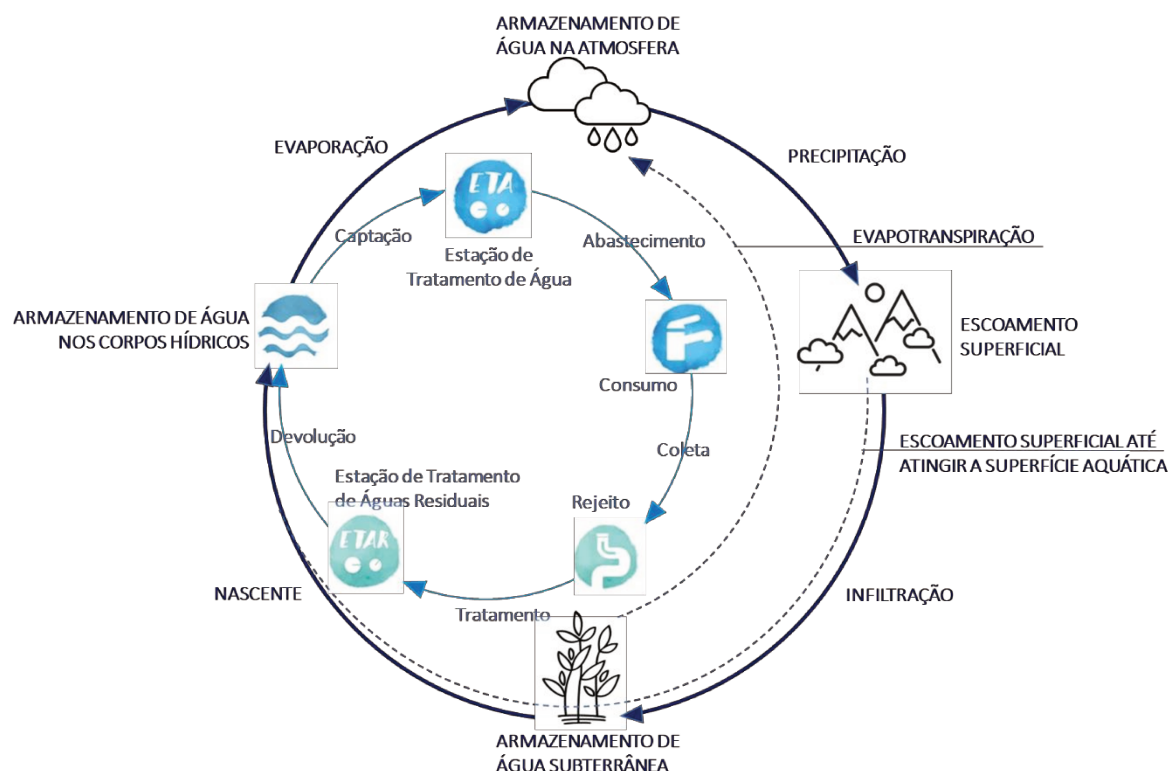
2.5.2 CONCEITUAÇÃO

O ciclo hidrológico representa o movimento da água no planeta Terra, é um ciclo fechado e tem relação direta com o sol e com o solo. São sete principais processos que compõem o ciclo hidrológico: precipitação, evaporação, evapotranspiração, infiltração, interceptação vegetal, retenção em baixadas e escoamentos superficiais.

O ciclo urbano da água é uma fração desse ciclo maior, que é o ciclo da água na natureza. Nele é considerado o abastecimento de água e saneamento de águas residuais nas cidades, integrando as atividades de captação, tratamento e distribuição da água de abastecimento até à coleta, tratamento e devolução das águas residuais ao meio receptor. Podemos também denominar esse processo como ciclo antrópico da água, pois revela as intervenções do homem em meio ao ciclo natural da água, conforme ilustrado na Figura 9.

A vegetação atua diretamente nas variáveis hidrológicas, principalmente na interceptação vegetal (copas, folhas, troncos e raízes), capaz de reter de 10% a 20% da precipitação total anual (MANNING, 1992). No entanto, o processo de ocupação do solo urbano não tem valorizado a vegetação, podemos observar que a remoção da cobertura vegetal do solo é a primeira ação que a ocupação produz. O desmatamento modifica o ciclo hidrológico de diversas formas: reduz a evapotranspiração, elimina a proteção natural do solo contra fenômenos de erosão, reduz a capacidade de infiltração devido a compactação do solo para construção e, por fim, elimina a interceptação vegetal.

Figura 9. Relação entre ciclo hidrológico (maior) e ciclo urbano da água (menor)



Fonte: Elaborada pela autora.

A resposta hidrológica da bacia é modificada frente aos impactos das ocupações predadoras, assim, com a alteração nos padrões de escoamentos é necessário inserir sistemas artificiais de drenagem. Em meio a cidade, as áreas de interceptação vegetal podem ser projetadas em conjunto com depressões no solo para promover a retenção e armazenamento das águas pluviais, esse conjunto é denominado abstração e se traduzem em estruturas de biorretenção. A drenagem artificial não precisa ser uma intervenção de impacto negativo, os dispositivos que mimetizam o escoamento natural e promovem a melhoria na qualidade da água são capazes de estabilizar e preservar o ciclo hidrológico. A combinação de estruturas verdes com funções hidráulicas proporciona uma melhoria no manejo de águas urbanas com funções diversas: paisagismo, lazer, recuperação de áreas degradadas, valorização ambiental, melhoria da qualidade do ar, diminuição das amplitudes térmicas, além de favorecer o desenvolvimento da fauna e flora locais, fortalecendo o ecossistema e induzindo a resiliência.

A integração entre soluções de drenagem e infraestruturas públicas verdes são estratégicas não só pela revitalização e valorização do espaço ou pela possibilidade de projetar ações distribuídas pela bacia hidrográfica que fogem da centralização projetual das soluções

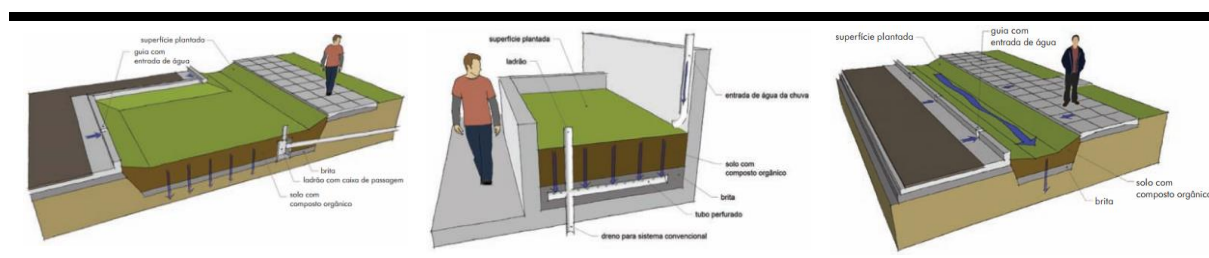
tradicionais por rede de drenagem, mas também pela viabilidade de implementação através de financiamento pelo poder público em obras multifuncionais e pela aceitação popular devido ao ganho social e melhoria do ambiente de vida.

A fitorremediação aplicada à projetos de paisagem urbana, podem auxiliar no controle da concentração de compostos orgânicos em corpos d'água, colaborando para a melhoria da qualidade ambiental nas cidades e a recuperação de espaços degradados através de infraestrutura verde. Ao redor do mundo, a paisagem urbana vem sendo cada vez mais vista além da função estética. Em cidades como Seattle e Portland, por exemplo, ele é projetado como parte integrante de uma rede de espaços abertos associados a tecnologias destinadas a solucionar problemas urbanos relacionados à água, clima e ecologia. A paisagem multifuncional recria ambientes naturais de forma otimizada para melhor suportar eventos chuvosos, variações climáticas e demandas ambientais (CORMIER; PELLEGRINO, 2008; FRISCHENBRUDER; PELLEGRINO, 2006).

Nessa vanguarda, Cormier e Pellegrino (2008) são destaques brasileiros nas pesquisas de tipologias inseridas nas paisagens urbanas, destacadas na Figura 10, que mimetizam funções ecológicas e hidrológicas dos ambientes naturais.

“Isso é percebido como parte de uma estratégia de implantação de espaços abertos urbanos, paisagisticamente tratados para serem muito mais do que meras ações de embelezamento urbano, mas também para desempenharem funções infra-estruturais relacionadas ao manejo das águas urbanas, conforto ambiental, biodiversidade, alternativas de circulação, acessibilidades e imagem local.” (CORMIER; PELLEGRINO, 2008, p. 127)

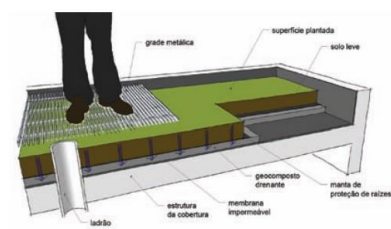
Figura 10. Paleta de tipologias trazidas ao Brasil por Nathaniel S. Cormier



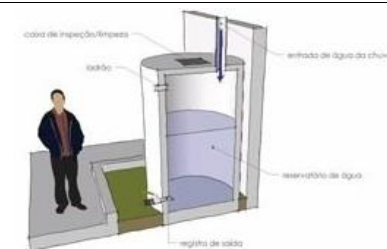
Esquema de um Jardim de Chuva



Esquema de um Canteiro Pluvial



Esquema de uma Biovaleta



Esquema de uma Lagoa Pluvial

Esquema de um Teto Verde

Esquema de uma Cisterna

Fonte: Organizado pela autora com base em Cormier e Pellegrino, 2008; Demantova e Rutkowski, 2007

2.5.3 BREVE HISTÓRICO E BOAS PRÁTICAS

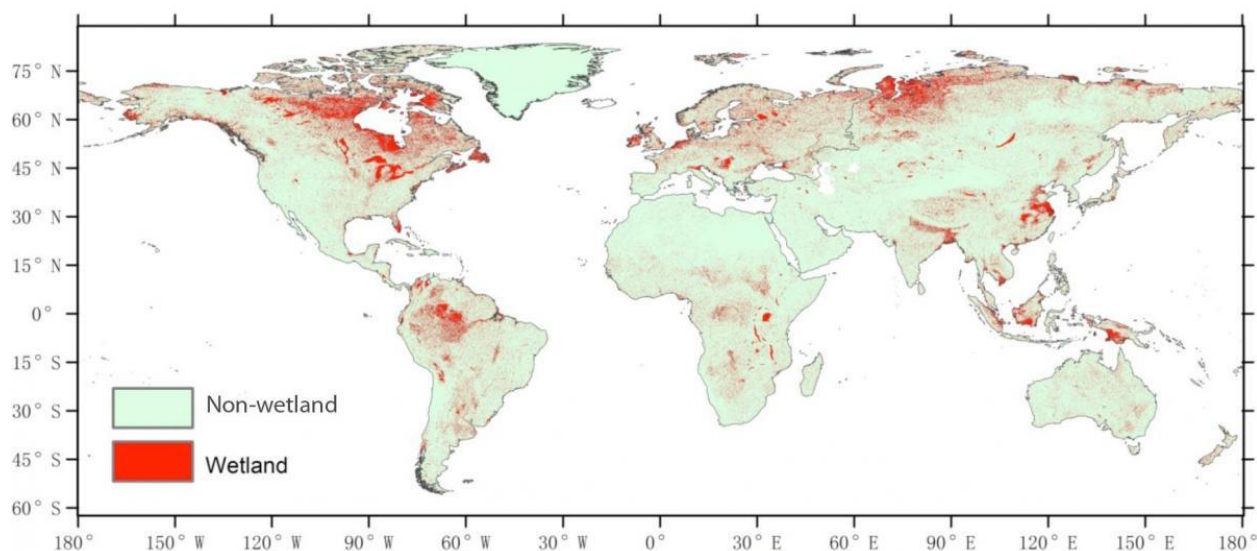
O termo “*wetlands*” engloba uma série de ecossistemas alagados, como pântanos, brejos e várzeas. Naturais ou construídas, de água doce ou salgada, a característica em comum entre esses cenários é a presença de água na superfície ou próximo à superfície ao menos periodicamente. O substrato saturado cria um ambiente pobre em oxigênio, limitando as espécies de plantas às adaptadas ao meio aquático, caracterizando a zona úmida plantada (DAVIS, 1994).

Historicamente, os *wetlands*, ou pântanos, já foram vistos como terras perdidas, inapropriadas para uso e ocupação devido ao alto grau de saturação do solo e frequentes alagamentos, servindo apenas para berçário de mosquitos transmissores de doenças. O desconhecimento de sua importância no equilíbrio ecológico tanto para vida aquática, quanto para renovação/limpeza das águas e balanço hídrico, custou a destruição de aproximadamente 50% desse bioma nos Estados Unidos (DAHL, 1990). No Brasil, atualmente sua área representa 1,76% do território total sendo que apenas 4,4% é protegido por unidades de conservação (Ministério do Meio Ambiente). É possível analisar a distribuição mundial dos *wetlands* na Figura 11.

O Pantanal Mato-Grossense, localizado em grande parte no território brasileiro (sudoeste do Mato Grosso e oeste do Mato Grosso do Sul) é considerado a maior planície de inundação do planeta. Na década de 60, o governo brasileiro ofereceu incentivos para implantação de projetos agropecuários na região centro-oeste como o intuito de promover o seu desenvolvimento, no entanto essa intervenção ocasionou impactos negativos ao meio

ambiente, ameaçando sua biodiversidade. Hoje, é considerado pela UNESCO um patrimônio da humanidade e reserva da biosfera de importância internacional.

Figura 11. Distribuição mundial dos wetlands.



Fonte: Science China Press. Disponível em: <https://phys.org/news/2014-12-chinese-scientists-global-wetland-suitability.html> Acesso em 21 de agosto, 2015.

As questões da preservação de zonas úmidas atraem o interesse internacional há mais de 30 anos, é o caso da Convenção de Ramsar, elaborada em 1971 na cidade de Ramsar, no Irã, que teve como objetivo "evitar a degradação das zonas úmidas e promover sua conservação, reconhecendo nelas funções ecológicas fundamentais e múltiplo valor econômico, cultural, científico e recreativo" (MILARÉ, 2011), p. 1512). As áreas pantanosas possuem grande importância na manutenção dos processos biológicos e suporte a vida, conforme cita (COUTINHO, 2006) (2006, p. 15), atuam como "fígados da paisagem" devido as funções que exercem nos ciclos hidrológicos, com intensa capacidade de controle e retenção de cheias, armazenamento de água e aumento de sua qualidade através de propriedades depurativas. As zonas úmidas apresentam uma série de funções e valores, segundo Davis (1994):

- Melhoria da qualidade da água;
- Armazenamento da inundação;
- Dessincronização entre tempestade e escoamento superficial;
- Ciclo de nutrientes (compostos orgânicos);

- Habitat para vida aquática;
- Áreas de recreação passiva;
- Educação e pesquisa;
- Estética e valorização paisagística.

Dessa forma, a recuperação de áreas úmidas através da recriação de ecossistemas pantanosos vem ganhando cada vez mais força com os sistemas fitorremediadores, elementos chave na fusão entre tratamento de águas residuais e proteção do meio ambiente. O primeiro wetland construído foi projetado em 1952, pelo Instituto Max Planck, localizado em Pion, na Alemanha e foi construído em 1977, em Othfresen (MASI, 2004). O resultado foi positivo e logo a tecnologia foi implantada nos Estados Unidos, Inglaterra e Canadá.

Entre 1970 e 1980 as pesquisas na área se intensificaram, sendo que no início da década de 90 já haviam em média 500 wetlands construídos de fluxo sub-superficial horizontal na Alemanha, Dinamarca, Áustria e Suíça (EPA, 1993). Em menos de 10 anos foram registradas mais de 5 mil unidades de wetlands construídos em operação na Europa (MASI, 1999). No Brasil, a implementação dessa tecnologia está acontecendo de forma mais lenta, mas vem ganhando força com o sistema de Jardins Filtrantes® oferecidos pela empresa Phytorestore Brasil.

No final da década de 90, as grandes companhias de saneamento, como SABESP e SANEPAR, reconheceram a eficiência do sistema junto à comunidade científica e agências de controle ambiental. Em 1998, a conferência “Wetlands Systems for Water Pollution Control” ocorreu em Águas de São Pedro/SP, confirmando a aceitação do sistema de wetlands construídos no Brasil (SILVA, 2007).

Figura 12. Número em variações de espécies de plantas nativas.



Fonte: Atlas of Global Conservation (University of California Press, 2010). Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/news/10096716> Acesso em 21 de agosto, 2015.

Nosso país oferece condições climáticas favoráveis para fitorremediação, uma vez que no clima tropical o conjunto “substrato-microrganismos-plantas” apresentam maior desempenho, assegurando a depuração do meio contaminado, além disso a diversidade de espécies de plantas aumenta o leque de atuação, conforme é possível ver na Figura 12 (SILVESTRE; PEDRO-DE-JESUS, 2002).

Moura (2014) analisou o desempenho dos sistemas de biorretenção na mitigação da poluição difusa ocasionada pelas águas de chuva, segundo sua pesquisa, boa parte da poluição que atinge os rios é originada da poluição difusa escoada em eventos chuvosos, incorporada na atmosfera e no solo. O investimento em dispositivos de biorretenção podem reduzir drasticamente a contribuição de impurezas que atingem os corpos hídricos nos trechos urbanos, evitando o fenômeno de eutrofização e consequente morte dos rios.

A avaliação da tecnologia foi feita pelo pesquisador através de um protótipo implementado na Cidade Universitária Armando Salles de Oliveira (CUASO-USP), São Paulo, ilustrado na Figura 13, que ficou em funcionamento entre março 2013 e março 2014. Sua eficiência foi comprovada em sete eventos chuvosos na capital, o piloto "jardim de chuva" apontou redução de 95,49% das cargas poluidoras acumuladas. Foi concluído que a vegetação apresenta papel fundamental na manutenção das capacidades hidráulica e biológica deste tipo de dispositivo, pois o crescimento das raízes evitou a compactação do solo e colmatção dos componentes inertes (material granular), além disso o processo de fitorremediação tem grande

influência na melhoria da qualidade da água pluvial devido a interação simbiótica entre plantas e microrganismos metabolizadores das substâncias indesejadas (MOURA, 2014).

Figura 13. Canteiros do experimento realizado pelo pesquisador na análise de eficiência do dispositivo de biorretenção. Do lado esquerdo o canteiro G, apenas com grama, do lado direito o canteiro J, com espécies arbustivas/herbáceas.



Fonte: Moura, 2014, p.112.

Algumas aplicações da tecnologia estão em funcionamento na cidade de São Paulo, como é o caso do piloto “Oficina Jardim de Chuva UMAPAZ”, Universidade Aberta do Meio Ambiente e Cultura de Paz, localizada no Parque Ibirapuera, sob responsabilidade da Prof.^a Brigitte Baum e implementado com apoio da FLUXOS – Design Ecológico em 2016, conforme Figura 14. O projeto foi concebido com o objetivo de receber, armazenar, depurar e infiltrar o escoamento superficial proveniente de uma área gramada (340m²) e dois telhados adjacentes (180m²). O cálculo da área de contribuição considerou uma área total de 273m², sendo o índice de escoamento adotado de 95% para os telhados e 30% para o gramado. Foi levantado ainda, o índice pluviométrico médio recorrente na capital — 20,5mm de chuva, com base nos dados do Portal Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE) e a altura de lâmina d’água, através de teste de percolação *in loco*, resultando em 20cm (0,2m). O seguinte cálculo resultou na área de construção do Jardim de Chuva:

$$273 \text{ m}^2 \times 20,5 \text{ mm} = 5,597 \text{ L} \approx 5,6 \text{ m}^3$$

$$5,6 \text{ m}^3 / 0,2 \text{ m} = 28 \text{ m}^2 \cong \mathbf{30 \text{ m}^2}$$

A área de 30 m² foi escavada à uma profundidade aproximada de 1m, e preenchida em duas camadas de meio suporte, primeiramente material drenante (h=30cm) e por cima uma mistura de solo (50cm): 50% de areia, 25% solo fértil, 25% de composto orgânico. Diversas espécies de plantas foram utilizadas, dentre elas: *Crinum erubenses*, *Cyperus alternifolius*, *Canna limbata*, *Equisetum giganteum*, etc.

Figura 14. Oficina Jardim de Chuva, UMAPAZ - Parque Ibirapuera, 2017



Fonte: Acervo pessoal

Outra aplicação da fitorremediação para gestão de águas urbanas, é a melhoria de águas fluviais. Alguns rios urbanos são diariamente poluídos devido ao lançamento de esgotos sem tratamento, resíduos sólidos e demais substâncias carregadas pelas chuvas. O excesso de carga orgânica na água diminui a taxa de oxigênio dissolvido, o que eleva o mau odor e provoca a mortalidade de peixes e demais seres aquáticos. Nesse tipo de intervenção é possível adotar estruturas flutuantes sob o próprio rio ou jardins adjacentes que recebem água desviada; em ambos os casos a manutenção da qualidade da água ocorre através da capacidade

autodepurativa na integração entre plantas, microrganismos e água. Esses projetos devem ser implementados juntamente com a revegetação das margens (mata ciliar), promovendo (1) a estabilização do solo com a trama radicular das plantas e controle da umidade, (2) a função de barragem ou um filtro no controle do escoamento superficial e (3) a resistência no carregamento de sedimentos para o rio.

O Parc du Chemin de l'Ile, em Nanterre, na França, ilustrado na Figura 15, foi concebido como parte de um projeto para revitalização urbana e despoluição do Rio Sena, em 2006. O parque é um agradável espaço de convívio, onde as pessoas passeiam e fazem piquenique aos finais de semana, mas os seus jardins não são apenas embelezadores da paisagem, são jardins de fitorremediação que recebem parte da água poluída do Rio Sena. Durante a passagem pelos jardins filtrantes, que ocorre por gravidade, a água é progressivamente despoluída e adquire uma qualidade muito melhor, podendo ser utilizada para reuso ou irrigação. Em algumas épocas do ano, quando o índice de poluição aumenta, a água tratada é devolvida para o rio com a finalidade de aumentar a taxa de oxigênio dissolvido, evitando a morte dos peixes.

As águas poluídas apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido pois o mesmo é consumido no processo de decomposição da matéria orgânica. O oxigênio dissolvido é vital para a preservação da vida aquática e, portanto, é um indicador de boa qualidade. Os dispositivos de fitorremediação podem reintroduzir oxigênio no líquido através dos processos naturais que acontecem na rizosfera, pois as raízes das plantas são capazes de injetar oxigênio no líquido em que estão em contato. Caso haja a presença de algas (comum, em alguns casos), a fotossíntese realizada por elas também recupera o oxigênio, porém, é necessário atentar para que não haja um alastramento das mesmas e produzir o efeito contrário.

Figura 15. Parc du Chemin de l'Ile, Nanterre – França, 2012



Fonte: Acervo privado cedido por Phytorestore Brasil, 2011

A fitorremediação também vem sendo aplicada em projetos de tratamento primário e secundário de efluentes domésticos e industriais, podendo substituir as convencionais Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), ou atuar como refinamento. Os Jardins Filtrantes®, sistema desenvolvido pela empresa Phytorestore, são pequenos ecossistemas planejados que recriam de forma otimizada as condições ideais para ocorrência de processos naturais depuradores, ao mesmo tempo em que agregam valorização arquitetônica, paisagística e social. Os projetos são desenvolvidos com base em cinco princípios que refletem o compromisso com o desenvolvimento sustentável:



Tratamento. Os resultados são garantidos de acordo com as exigências da legislação e dos órgãos ambientais.



Paisagismo. Valorização da arquitetura e do espaço urbano, transformando-os em áreas de convívio acessíveis ao público.



Biodiversidade. Criação de áreas que estimulam o crescimento da fauna e da flora, enriquecendo o ecossistema local.



Economia. Eficiência econômica que se estende desde a construção com materiais e mão de obra local, passando pela operação de baixo custo e amplia-se até o reuso dos subprodutos.



Gestão. Sustentabilidade operacional devido ao ciclo de manutenção independente de insumos externos.

Localizado no município de Benevides/PA, o ecoparque industrial implementou um sistema de tratamento de efluente sanitário e industrial através de fitorremediação, adotando o modelo de Jardins Filtrantes®. Desde 2014, o sistema trata o esgoto dos 720 funcionários das fábricas, além de parte do efluente industrial, totalizando 120m³/dia. O sistema ocupa uma área de 2.500m² (superfície de tratamento) e o resultado das análises feitas após a saída dos jardins é satisfatório, atendendo ao CONAMA 430/11, conforme Tabela 14.

Tabela 14. Rendimento padrão dos Jardins Filtrantes® para tratamento de efluente doméstico

	MES	DBO	DQO	Nitrogênio	Fósforo
Saída dos Jardins	>95%	>85%	>85%	50 a 70%	30 a 60%
Lagoa Terminal	95%	85%	90%	90%	50%
Rendimento Global	>99%	>97%	>98%	>95%	>65%

Fonte: Acervo privado cedido por Phytorestore Brasil, 2012

Os jardins ficam localizados na entrada do ecoparque industrial, agregando valor paisagístico e social à área, inclusive atuando como cartão postal e marketing ecológico, como ilustra a Figura 16.

Figura 16. Jardins Filtrantes® para Tratamento de Efluentes Industriais e Sanitários - Natura Ecoparque Belém



Fonte: Revista TAE Edição Nº 34 - dezembro/janeiro de 2017 - Ano VI, pg. 10

2.5.4 POTENCIAL DE APLICAÇÃO

Além da eficiência técnica no que diz respeito a tratamento, os projetos de fitorremediação aplicados à arquitetura paisagística podem ser concebidos de modo a integrar-se na paisagem, recriando zonas de aspecto natural. A composição estética e a integração dos jardins na paisagem permitem uma “revegetação” do local de implantação, aumentando suas áreas verdes. Os benefícios de espaços verdes são inúmeros, dentre eles está a (1) aproximação das pessoas, que passam a interagir mais à medida que usam um espaço comum; (2) a valorização imobiliária, devido ao conforto térmico e visual; e (3) a melhoria dos parâmetros de poluição no meio ambiente local. Dessa forma, a fitorremediação aplicada à tipologias verdes representam uma intervenção sustentável que pode ser adaptada à cada região de implantação — indo desde a escolha das plantas local até o funcionamento indiferente as variações de temperatura, podendo ser projetados para qualquer região e em diferentes escalas, de acordo com a demanda e tipo de poluição.

A fitorremediação apresenta diversos benefícios, pois alia a funcionalidade depurativa com a valorização da arquitetura e da paisagem urbana, transformando-os em espaços de convívio acessíveis ao público. Além disso, cumpre um importante papel ecológico com a criação de áreas que estimulam o crescimento da fauna e da flora, enriquecendo o ecossistema local. Essa técnica está em consonância com o desenvolvimento sustentável, pois sua eficiência se estende à construção com materiais e mão-de-obra local, operação de baixo custo e amplia-se ao reuso dos subprodutos. Por fim, ainda é operacionalmente sustentável devido ao ciclo de manutenção independente de insumos químicos, é um processo natural e de baixo impacto ambiental.

As cidades sustentáveis vêm buscando alternativas no planejamento inteligente da paisagem urbana, sendo que a integração entre os aspectos ambientais, sociais e econômicos são fundamentais para conquistar a harmonia entre uma vida próspera sem sobrecarregar os recursos naturais. É através dessa visão holística, que a fitorremediação está sendo proposta como uma estratégia da arquitetura paisagística, pois é capaz de colaborar para a melhoria da qualidade ambiental de forma economicamente eficiência e socialmente inclusiva, ao mesmo tempo em que promove o aumento de infraestrutura verde na cidade (LEPAGE, 2011).

A visibilidade dessa questão ambiental tem ganhado cada vez mais força desde a década de 70, quando a revista *Veja* divulgou uma pesquisa apontando que para 80% da população urbana, o maior problema das cidades é a poluição. Ela está em todo lugar: no ar, no solo e na água; é inevitável não sentir as consequências da má gestão dos recursos naturais. A poluição urbana mata indiretamente 8 pessoas por dia só em São Paulo, onde a perspectiva de vida é dois anos menor do que em outras regiões (SCHIVARTCHE, 2005).

Por se tratar de um processo natural, a fitorremediação é uma alternativa pouco intrusiva e amplamente compatível com parques, praças, telhados verdes, e demais estruturas vegetadas, dessa forma o resultado final são áreas de convívio e lazer, além do enriquecimento da biodiversidade local. Justamente por ser um processo natural, podem também ser observadas algumas adversidades relacionadas a vulnerabilidade das plantas quanto às variações climáticas e doenças/pragas. Além disso, leva um certo tempo para o completo desenvolvimento da planta e para a formação de uma robusta zona de raízes, sendo que a atuação ideal da fitorremediação não é imediata a implantação da vegetação.

Ainda assim, a proposta é válida, pois esses pontos são minimizados no Brasil, país de clima tropical, sem invernos rigorosos, que favorece o crescimento vegetal. A própria natureza promove a seleção natural, sendo que somente as espécies mais resistentes as adversidades locais sobrevivem e se adaptam as condições, por isso a escolha das plantas é restrita as espécies nativas ou adaptadas. De qualquer forma, para a proposta que está sendo feita, o tempo não é um fator tão crítico, uma vez que a implementação de infraestrutura verde faz parte de um processo muito maior de regeneração das cidades, o que demanda um planejamento a longo prazo.

Tabela 15. Pontos positivos e pontos de alerta na implementação de soluções através de fitorremediação

PONTOS POSITIVOS	PONTOS DE ALERTA
Aplicação da técnica “in situ”, solução local	Demanda grandes áreas de implantação
Processo natural, eficiente e não necessita de insumos químicos ou equipamentos complexos	Limites de tolerância à certos contaminantes por parte das plantas (capacidade suporte)
Nos casos de tratamento de compostos orgânicos, a biomassa resultante da poda pode ser reutilizada como adubo e fins similares	Dependência de fatores fora do controle humano, processo natural de sistema aberto (tempo de desenvolvimento das plantas para formação de uma rizosfera robusta)

Melhoria visual da paisagem, valorização social e criação de nichos ecológicos	Em casos de compostos inorgânicos pesados, a bioacumulação gera toxicidade ao meio
Aplica-se a grande variedade de poluentes, sendo eficiente na remoção de sedimentos finos, metais, nutrientes e bactérias, além de não gerar lodo contínuo	Com o tempo entra em processo de colmatção, dependendo do aporte de sedimentos, sendo necessária a troca do meio suporte e replantio das macrófitas
Baixo custo e baixa complexidade de operação e manutenção	
Baixo impacto ambiental, redução do volume de escoamento superficial e melhoria das águas da bacia hidrográfica	

Fonte: Elaborado pela autora com base em Matta; Tavares; Mahler, 2007

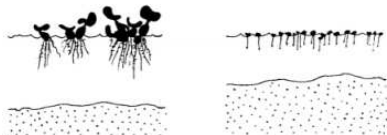
2.5.5 MACRÓFITAS AQUÁTICAS

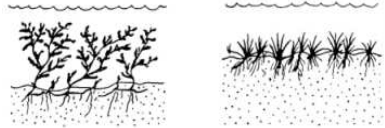
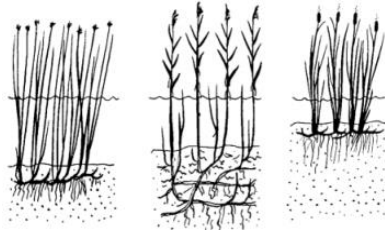
As macrófitas aquáticas são plantas resilientes ao meio alagado, englobam todas as plantas cujas partes fotossinteticamente ativas estão o tempo todo, ou por algum período de tempo, submersas em água ou flutuantes em sua superfície. Acredita-se que as macrófitas já foram plantas terrestres, mas que ao longo do processo evolutivo se adaptaram ao ambiente aquático e, por isso, apresenta grande resistência à diferentes tipos de ecossistemas (MATTÁ; TAVARES; MAHLER, 2007).

As macrófitas desempenham o papel de base biofísica para a formação do nicho ecológico na zona de transição entre os ambientes aquático e terrestre, servindo de esconderijo para predadores, locais para repouso e reprodução da fauna aquática, aves e répteis, ou seja, promove um ecossistema muito rico para biodiversidade (PINHEIRO, 2017).

As macrófitas são classificadas em quatro grupos baseados em seu biótipo, ou hábito, no ambiente aquático: (1) livres-flutuantes, (2) folhas flutuantes, (3) submersas enraizadas e (4) emersas, ou emergentes, conforme Tabela 16 (KADLEC; WALLACE, 2009).

Tabela 16. Classificação das macrófitas aquáticas

CLASSIFICAÇÃO	IMAGEM	DESCRIÇÃO	ESPÉCIES
(1) Livres-flutuantes		Plantas que vivem livres, flutuando sob a lâmina d'água	<i>Lemna minor</i> , <i>Spirodella polyrrhiza</i> , <i>Eichhornia crassipes</i>

(2) folhas flutuantes, ou flutuantes fixas		Plantas enraizadas no substrato, com caule submerso e folhas flutuantes sob a lâmina d'água	<i>Nymphaea odorata</i> , <i>Nuphar luteum</i>
(3) submersas enraizadas		Plantas enraizadas no substrato, com caule e folhas submersos	<i>Myriophyllum spicatum</i> , <i>Ceratophyllum demersum</i>
(4) emersas, ou emergentes		Plantas enraizadas no substrato, com tecidos aéreos que crescem acima do nível d'água	<i>Acorus calamus</i> , <i>Carex rostrata</i> , <i>Phragmites australis</i> , <i>Schoenoplectus (Scirpus) lacustris</i> , <i>Typha latifolia</i>

Fonte: Organizado pela autora com base em KADLEC; WALLACE, 2009, p. 65

A presença das plantas ajuda a reduzir os índices de poluição da água através dos processos físicos e biológicos da fitorremediação. As raízes compõem um ecossistema favorável para o desenvolvimento de fungos e bactérias, responsáveis por transformar a matéria orgânica complexa em nutrientes biodisponíveis para assimilação das plantas. Isso acontece, pois os microrganismos favorecidos consomem e digerem contaminantes orgânicos para sua nutrição e produção de energia, promovendo a degradação de vários compostos e substâncias complexas em componentes mais simples, reduzindo com isso o grau de toxicidade e possibilitando a absorção pelas plantas (MATTA; TAVARES; MAHLER, 2007).

A presença das plantas estimula a atividade e o desenvolvimento microbiano abaixo do solo por meio dos exsudatos provenientes das raízes, que fornecem nutrientes aos microrganismos; também por meio de matéria vegetal em decomposição, que enriquece o solo com carbono e mais nutrientes; e por fim, através de condições ambientais favoráveis, como sombreamento e aumento da umidade do solo.

A degradação dos compostos orgânicos também pode ocorrer através de enzimas radiculares (produto da exsudação) capazes de degradar o composto. Os produtos mineralizados resultantes dessa quebra são em parte absorvidos pela planta como nutrientes necessários para o seu desenvolvimento. Segundo Silva (2007, p.17):

“As plantas exercem papel fundamental no tratamento, pois proporcionam superfície para a ligação de filmes microbianos (que executam a maior parte do tratamento); ajudam na filtração e adsorção de constituintes das águas residuais; transferem oxigênio para a coluna de água através das raízes e rizomas e proporcionam isolamento térmico (a biomassa no topo do leito ajuda a evitar as perdas de calor por convecção). Elas são responsáveis pela ciclagem dos nutrientes e a sombra promovida pelas folhas inibe o crescimento de algas sobre o substrato e as lâminas de água formadas na superfície.”

Para Brix (1994 e 1997), Reed et al (1995), U.S. EPA (2000b) e Tanner (2001) apud (BRASIL; MATOS; SOARES, 2007) (2007), as macrófitas aquáticas devem desempenhar as seguintes funções: (1) facilitar a transferência de gases como O₂, CH₄, CO₂, N₂O e H₂S; (2) estabilizar a superfície do leito através do desenvolvimento de um denso sistema radicular; (3) absorver os macronutrientes e micronutrientes que permitem o processo de fotossíntese da planta, (4) suprir a demanda de carbono biodegradável através dos exudatos e subprodutos da decomposição das plantas, viabilizando o processo de desnitrificação; (5) propiciar habitat para vida selvagem e (6) promover a melhoria dos aspectos estéticos da paisagem.

Muitas vezes os jardins fitorremediadores são projetados em monocultura, apenas com premissas relacionadas à eficiência na remoção da poluição, negligenciando as funções ecológicas e paisagísticas. No entanto, além da eficiência técnica no que diz respeito a tratamento, os projetos devem ser pensados em conjunto à arquitetura paisagística, recriando zonas de aspecto natural.

A policultura na fitorremediação proporciona vantagens devido ao desenvolvimento de diversas comunidades microbianas, enriquecendo o biofilme. Essa prática induz a resiliência do jardim, pois em situações de crise, como características da sazonalidade ou pragas e doenças que venham a atingir as plantas, dificilmente comprometerá todas as espécies, ou seja, o déficit não será total. Além disso, a diversidade de espécies permite a valorização da paisagem em projetos integrados com arquitetura e urbanismo.

Os estudos e projetos brasileiros relacionados a prática de fitorremediação nos últimos dez anos foram mapeados por (POÇAS et al., 2017) Poças et al (2017), excluindo-se as experiências sem controle e avaliação científica de seus parâmetros de implantação, conforme Tabela 17. Os resultados da busca foram compilados na tabela abaixo, indicando a relação de macrófitas mais utilizadas e as eficiências obtidas para remoção de DQO, DBO, Nitrogênio Total e Fósforo de cada espécie.

Tabela 17. Macrófitas aquáticas mais utilizadas em sistemas de fitorremediação implementados no Brasil

Sistema	Macrófita		Substrato	Porcentagem de Remoção (%)			
	Nome científico	Nome Popular		DQO	DBO	NTK	P
1	<i>Cyperus papiro nano</i>	Papiro anão	Brita + Areia	75%	88%		
2	<i>Cyperus papiro nano</i>	Papiro anão	Brita + Areia	93%	97%		
3	<i>Hemerocallis flava</i>	Lírio amarelo	Brita	72,1%			
4	<i>Hemerocallis flava</i>	Lírio amarelo	Brita	63,7%			
5	<i>Hemerocallis flava</i>	Lírio amarelo	Brita	72,2%			
6	<i>Hemerocallis flava</i>	Lírio amarelo	Brita	70%			
7	<i>Typha latifolia</i>	Taboa	Brita	79%	83%	37%	74%
8	<i>Oryza sativa L.</i>	Arroz	Solo + Areia		98%		
9	<i>Typha angustifolia</i>	Taboa	Rachão + Solo	41%	57%		
10	<i>Gramíneas</i>	-	Argila + Rachão	86%			
11	<i>Lolium multiflorum</i>	Azevém-italiano	Brita			34,3%	57,6%
12	<i>Avena strigosa</i>	Aveia	Brita			26,2%	50,5%
13	<i>Juncus sp</i>	Junco	Cascalho + Areia	76%		86%	100%
14	<i>Typha domingensis</i>	Taboa	Brita + Areia		90,4%		
15	<i>Hedychium coronarium</i>	Lírio-do-brejo	Brita + Areia		89,4%		
16	<i>Mentha aquatica</i>	Hortelã-da-água	Brita			13,6%	6,3%
17	<i>Vetiveria zizanioides L.Nash</i>	Vertiver	Brita + Areia				90,5%
18	<i>Hemerocallis flava</i>	Lírio amarelo	Brita	72,2%	90,8%	52,4%	42,3%
19	<i>Heliconia spp</i>	Caeté	Brita + Areia	89%	96%	33%	86%
20	<i>Eleocharis sp</i>	-		70%			100%

21	<i>Eleocharis sp</i>	-		50%			100,0%
22	<i>Lemnas</i>	Lentilha d'água				92%	90%
23	<i>Canna indica</i>	Beri	Brita				54%
24	<i>Vetiveria ziznioides L.Nash</i>	Vertiver	Brita				61%
25	<i>Typha latifolia</i>	Taboa	Escória	77%	76%	17%	38%
26	<i>Cynodon spp.</i>	grama-bermudas	Brita				15%
27	<i>Alternanthera philoxeroides</i>	Erva-de-jacaré	Brita				15%
28	<i>Cyperus alternifolius</i>	Papiro chinês	Brita + Areia	99%	99%		
29	<i>Hymenachne grumosa</i>	Carnivão	Brita + Areia	81,6%	89%	29,6%	51,6%
30	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Pinheirinha-d'água		85,5%	89,0%	32,4%	51,6%
31	<i>Eichhornia crassipes</i>	Aguapé		55%	51%	64%	57%
32	<i>Typha domingensis</i>	Taboa	Areia grossa	70%	52%	73%	16%

Fonte: Poças et al., 2017, p. 316

Figura 17. Papiro (*Cyperus papiros*), Talia (*Thalia dealbata*), Chapéu-de-couro (*Echinodorus macrophyllus*) e Ninféia (*Nymphaea ssp.*), respectivamente



Fonte: Acervo pessoal

2.5.6 MEIO SUPORTE, SUBSTRATO OU LEITO FILTRANTE

O substrato tem funções de atuar como meio suporte tanto das macrófitas quanto do biofilme, possibilitar a retenção mecânica de sólidos e uniformizar o escoamento no filtro. Com relação ao material utilizado, há uma enorme variedade de opções, no entanto o mais utilizado no Brasil é a pedra britada. Isso se deve ao fato de ser um material estruturalmente leve, biológica e quimicamente inerte, apresenta facilidade de controle da granulometria e é de fácil aquisição em todos os locais do país.

A uniformidade granulométrica do substrato é muito importante para obter uma melhor distribuição do fluxo e um maior índice de vazios, que, consequentemente, aumenta o

aproveitamento da área. Dessa maneira, a porosidade e a permeabilidade do material são os principais fatores que influenciam no escoamento do líquido pelo leito filtrante.

Na UNICAMP materiais alternativos foram testados pelo grupo PROSAB, com destaque para gomos de bambu (*Bambusa tuldooides*), que foi aplicado no leito filtrante com cortes de 4cm de diâmetro e altura. Os resultados foram positivos, observou-se que as características iniciais do material foram mantidas, revelando potencial para longa durabilidade, grande volume de vazios, baixo peso e bom desempenho, além de apresentar baixo custo de aquisição (CAMPOS, 1999).

As macrófitas aquáticas são plantadas diretamente no substrato, que terá diferentes composições de acordo com as tipologias de jardim. A porosidade dos substratos influencia diretamente no escoamento hidráulico durante o processo de filtração das águas contaminadas, sendo que, quanto menor a permeabilidade maior é o nível de degradação dos poluentes devido a retenção em contato com a zona de raízes e a filtração mecânica.

Segundo Paoli (2010), o meio suporte deve ser um material capaz de manter o fluxo hidráulico ao longo do tempo juntamente com seu potencial reativo, ou seja, a capacidade de promover adsorção de compostos inorgânicos. O ideal é que no primeiro trecho o substrato não permita elevada condutividade hidráulica, para melhor formação do biofilme de bactérias, já no final quando a concentração de sólidos e de matéria orgânica é menor, outros poluentes devem ser removidos por adsorção, necessitando de um substrato mais poroso.

Estudos mostram que, em média, após 10 anos de operação ocorre a colmatação do substrato, havendo a necessidade de troca do mesmo (COOPER et al., 1999). Esse fenômeno ocorre devido a deposição de minerais e matéria orgânica no trecho inicial do meio suporte e o desenvolvimento das raízes das plantas que ocupam os poros. Esses resíduos (ou sólidos) totais se referem a matéria que permanece após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra de água/efluente durante um determinado tempo e temperatura.

Na natureza, quando os resíduos sólidos são abundantes e se depositam nos leitos dos corpos d'água podem causar seu assoreamento. Se o material vem das margens do próprio corpo d'água, denota-se um processo erosivo que pode acarretar prejuízos futuros. No caso de

águas contaminadas, muitas vezes a separação desses sólidos presentes pode ser dificultada por se encontrarem muito particulados. Nos sistemas de fitorremediação é promovida a remoção desses resíduos pela passagem mecânica através dos vegetais e substratos, a fricção da passagem possibilita a deposição dos sólidos totais e consequentemente a melhoria deste parâmetro de avaliação, também muito ligado à turbidez. Após um período, é formada uma camada de lodo superficial bastante mineralizado (colmatação), que pode ser removido e comercializado ou reutilizado como adubo no paisagismo ou áreas florestais.

2.5.7 INFRAESTRUTURA HIDRÁULICA

A malha hidráulica tem a função de transporte do líquido, cumprindo as funções de: alimentação, drenagem e encaminhamento, tanto na parte interna quanto externa ao jardim. Nos jardins cujo meio suporte compõe um ambiente aeróbio, também são utilizados tubos, do tipo corrugado, com o objetivo de promover a circulação natural do ar.

É interessante que o líquido seja encaminhado de um filtro para o outro através de tubulações com inclinação mínima de 0,5%, para escoamento por gravidade. O controle de fluxo é feito através de válvulas, caixas de passagem e demais dispositivos hidráulicos.

2.5.8 MECANISMOS DA FITORREMEDIAÇÃO

A fitorremediação possui cinco mecanismos de interação com os contaminantes orgânicos e inorgânicos do meio, são eles (1) fitoextração, (2) fitodegradação, (3) fitovolatilização, (4) fitoestimulação e (5) fitoestabilização, exemplificados na Tabela 18.

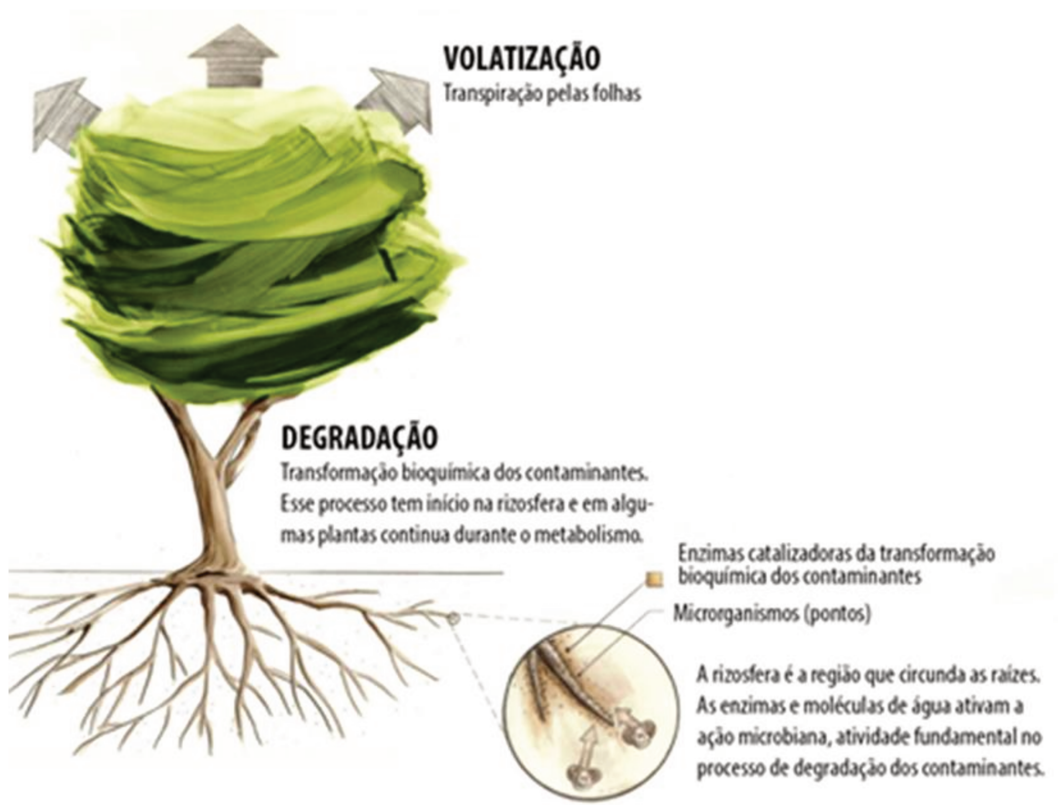
Tabela 18. Mecanismos da fitorremediação

1 FITOEXTRAÇÃO 	A fitoextração é o mecanismo de remediação no qual as plantas têm a capacidade de acumular em seus tecidos contaminantes extraídos do solo, água ou ar, sem degradá-los. Dessa forma, as espécies são plantadas e posteriormente colhidas, visando eliminar as substâncias tóxicas do local. O destino do material contaminado varia com a capacidade de bioacumulação da planta e do risco ambiental representado. Dependendo do caso, o tecido vegetal pode ser incinerado, depositado em aterro, coprocessado na fabricação de cimento, ou, em caso de aproveitamento, utilizado para produção de fibras e móveis. Existe uma variação do processo de fitoextração, caracterizado pelo acúmulo de contaminantes apenas nas raízes, denominado rizofiltração. Esse mecanismo é aplicado na remoção de contaminantes inorgânicos — metais como Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn e os radionuclídeos.
--	---

2 FITODEGRADAÇÃO 	A fitodegradação é o processo de remediação no qual as plantas têm capacidade de absorver e metabolizar os poluentes através das propriedades de hidrofobicidade (grau de mistura com a água), solubilidade (capacidade de dissolver em líquido) e polaridade (cargas elétricas). Esse mecanismo é aplicado na remediação de compostos orgânicos fazendo uso de diversas espécies de plantas aquáticas (macrófitas).
3 FITOVOLATIZAÇÃO 	A fitovolatilização é o processo de remediação no qual ocorre a transformação de poluentes em estado sólido ou líquido para estado gasoso, o que pode ser ambientalmente menos impactante. A volatilização pode ocorrer pela biodegradação na rizosfera ou o poluente pode ser absorvido pela planta, e após passar por diversos processos metabólicos internos, é liberado através da superfície da folha. Esse mecanismo é aplicado no controle hídrico para contenção de contaminantes (pluma de contaminação), fazendo uso de espécies como <i>Populus</i> e <i>Gossypium</i>, capazes de absorver grandes quantidades de água.
4 FITOESTIMULAÇÃO 	O quarto mecanismo, denominado de fitoestimulação é o processo no qual os microrganismos associados e/ou beneficiados pela presença vegetal (simbiose), estão envolvidos direta ou indiretamente na degradação dos contaminantes. A variação desse processo é chamada de rizodegradação, pois ocorre nas raízes, muitas vezes as condições na rizosfera são favoráveis devido a aeração, umidade e exsudatos (açúcares, ácidos orgânicos, aminoácidos, enzimas) que favorecem o crescimento de microrganismos, inclusive pode apresentar uma contagem até cem vezes maior do que em áreas sem influência de raízes. A aplicação desse processo é adequada para controle de contaminantes orgânicos.
5 FITOESTABILIZAÇÃO 	Por fim, o mecanismo de fitoestabilização pode ocorrer em três formas: (1) física, (2) química, (3) físico-química. Na fitoestabilização física, o processo ocorre devido a simples presença do vegetal, que funciona como uma barragem contra erosão superficial e a lixiviação do poluente. Na fitoestabilização química, o processo ocorre por meio de mudança química da zona das raízes e consequente alteração química do contaminante, isso porque os níveis de solubilidade, mobilidade do metal e dissolução de compostos orgânicos sofrem alteração por intermédio da mudança do pH do solo e pela exsudação (transpiração) de substâncias pelas raízes. Esse mecanismo é aplicado no combate de componentes inorgânicos e a seleção das espécies é feita de acordo com a tolerância às contaminações.

Fonte: Elaborado pela autora com base em Matta; Tavares; Mahler, 2007

Figura 18. Esboço dos mecanismos da fitorremediação



Fonte: Adaptado pela autora com base em Great Ecology. Disponível em: <http://greatecology.com/biologically-mediated-remediation/> Acesso em 02 de setembro, 2015

2.5.9 MECANISMOS DE REMOÇÃO DOS POLUENTES

Em contato com as raízes das plantas, substratos e microrganismos simbiotes, os poluentes e seus compostos sofrem diversos processos que, ao final, vão reestabelecer o equilíbrio físico, químico e biológico à um padrão mais próximo ao que seria encontrado na natureza, descaracterizando a contaminação.

Tabela 19. Mecanismos de remoção dos poluentes tradicionalmente encontrados em águas contaminadas através de alagados construídos

POLUENTES	MECANISMOS DE REMOÇÃO
Sólidos suspensos	Sedimentação, Filtração
Matéria orgânica solúvel	Degradação biológica aeróbia e anaeróbia
Nitrogênio	Metabolização pela planta, Amonificação, Nitrificação e desnitrificação biológicas
Fósforo	Adsorção, Metabolização pela planta, Adsorção e troca de cátions
Patógenos	Predação, Morte natural, Irradiação UV
Metais	Complexação, precipitação, Absorção pela planta, Oxidação e redução, bioquímicas, Sedimentação, Filtração

Fonte: Adaptado pela autora com base em Mendonça, 2015, pg. 42.

a) PROCESSOS FÍSICOS

Os processos físicos ocorrem através da passagem mecânica do líquido por partes dos vegetais e pelo meio suporte. A fricção da passagem possibilita a deposição dos sólidos suspensos e materiais particulados, e consequentemente a melhoria do parâmetro SST, que também está muito ligado à turbidez. Sendo assim, a sedimentação e a filtração os principais processos físicos relacionados à remoção de poluentes em alagados construídos.

b) PROCESSOS QUÍMICOS

Os processos químicos ocorrem nas superfícies das plantas, dos sedimentos e do substrato através da capacidade de sorção, incluindo adsorção e absorção, desses elementos na retenção de contaminantes, principalmente o fósforo. Os metais pesados também são imobilizados nos alagados construídos devido aos processos químicos, uma vez que, em contato com a água, são compostos insolúveis.

Os fenômenos de oxidação e fotodegradação também são processos químicos, que por sua vez, ocorrem na presença da luz solar e exposição aos gases atmosféricos. Eles são responsáveis pela morte de organismos patogênicos (PAOLI, 2010).

c) PROCESSOS BIOLÓGICOS

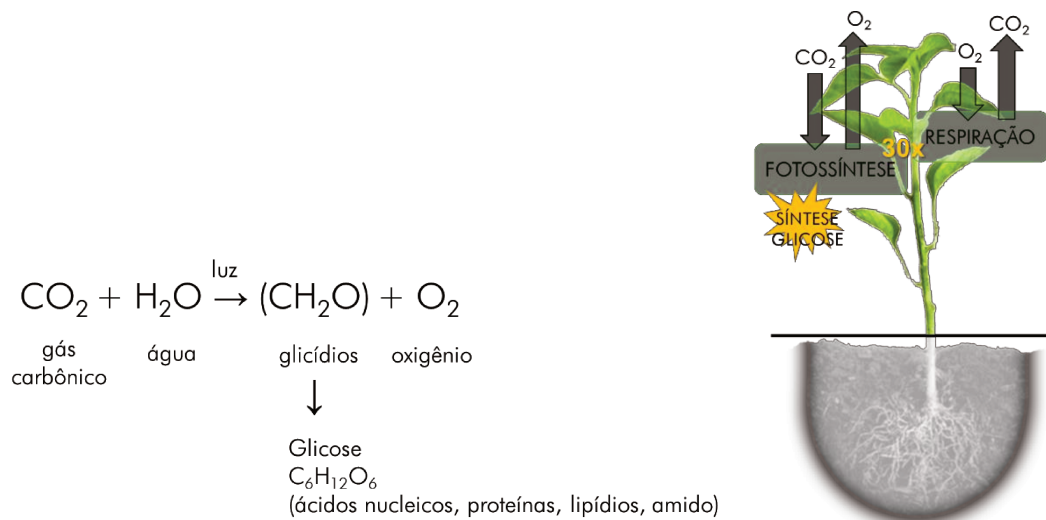
Os processos biológicos ocorrem em função dos diversos microrganismos envolvidos na fitorremediação, inclusive as próprias plantas (metabolização). São eles: biodegradação, fitodegradação, fitoestabilização e a fitovolatização. Esses processos acontecem em estágios aeróbios, anaeróbios e facultativos, de acordo com o meio, e estão diretamente relacionados com a redução dos parâmetros DBO, N (nitrificação e desnitrificação), P (incorporação do fósforo ao protoplasma) e OD (fotossíntese).

2.5.10 REMOÇÃO DE POLUENTES

As plantas são organismos vivos em constante atividade para se manter em condições favoráveis à sobrevivência. Um dos processos naturais das plantas mais conhecido é a fotossíntese, Figura 19, também denominada nutrição orgânica: processo realizado pelas

plantas para a produção de energia necessária para a sua própria sobrevivência. A nutrição das plantas é autotrófica, ou seja, elas mesmas produzem a matéria orgânica que lhes servem de alimento. Para isso, a planta utiliza água, luz solar e gás carbônico do ar atmosférico para obter glicose (que será convertida em energia), e ainda libera oxigênio como subproduto. Daí vem a famosa analogia das áreas verdes com os pulmões da cidade.

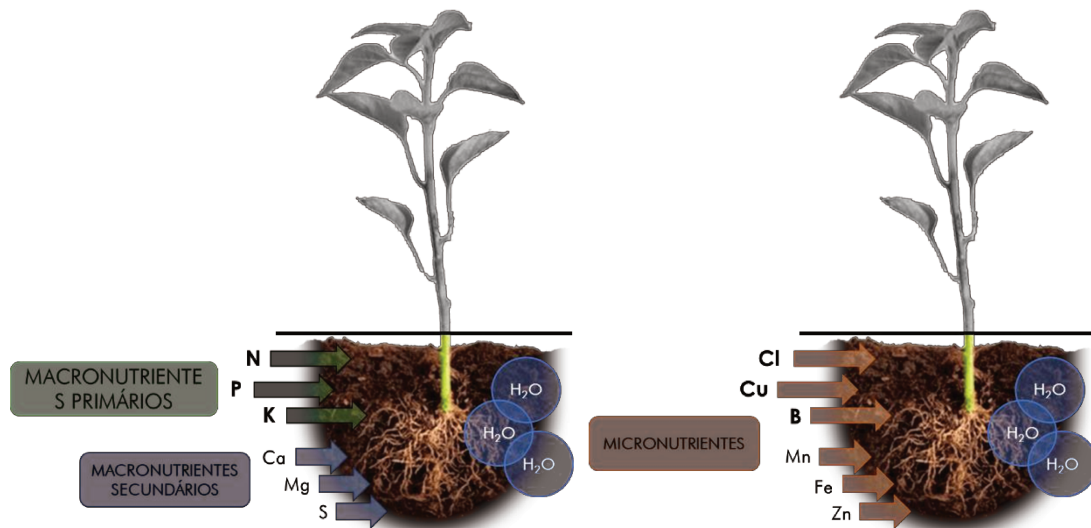
Figura 19. Processo de fotossíntese das plantas, nutrição orgânica



Fonte: Elaborado pela autora

Os processos tradicionais que acontecem acima da terra são muito conhecidos, porém os processos de nutrição inorgânica, Figura 20, que ocorrem na rizosfera, não são tão difundidos. É através das raízes que as plantas retiram os sais minerais (macronutrientes primários, secundários e micronutrientes), completando as condições favoráveis para o processo da fotossíntese. Os sais minerais são fundamentais para síntese proteica, ATP e ácidos nucleicos, além de apresentarem relações nas trocas iônicas e movimentação dos estômatos para as trocas gasosas com o meio (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Figura 20. Absorção de sais minerais pelas plantas, nutrição inorgânica



Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 20. Papel fisiológico dos nutrientes

NUTRIENTE	PAPEL FISIOLÓGICO
Nitrogênio (N)	Essencial para a síntese protéica e de ácidos nucléicos.
Fósforo (P)	Essencial para a síntese de ATP e de ácidos nucléicos.
Potássio (K)	Relacionados as trocas iônicas entre a célula e o meio; envolvido nos movimentos de abertura dos estômatos.
Enxofre (S)	Utilizado para a síntese de aminoácidos essenciais.
Magnésio (Mg)	Componente da molécula de clorofila.

Fonte: Adaptado pela autora com base em Epstein and Bloom, 2006

Os nutrientes em excesso nas águas poluídas são nutrientes fundamentais para a sobrevivência das plantas, sendo que, são os microrganismos em relação de simbiose nas raízes que promovem a transformação desses contaminantes complexos em formas mais simples, permitindo a absorção vegetal e sua própria alimentação. Dessa maneira, é possível concluir que a remoção de poluentes através dos mecanismos biológicos da fitorremediação, são também os mecanismos de nutrição das plantas e microrganismos.

Nos sistemas fitorremediadores os processos físicos e químicos também envolvem o substrato e os fluxos hidráulicos controlados para compor o ambiente favorável. Esse conjunto promove a remoção de poluentes de maneira eficiente, como será apresentado nos itens a seguir.

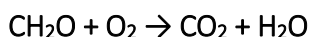
a) MATERIA ORGÂNICA

A matéria orgânica é representada pelos parâmetros: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que representa a quantidade de oxigênio que é necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água através da decomposição microbiana aeróbia (que consome oxigênio); e Demanda Química de Oxigênio (DQO), que por sua vez, indica a quantidade de matéria orgânica suscetível de ser oxidada por meios químicos.

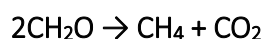
Os microrganismos que habitam a rizosfera necessitam de duas fontes para sobreviver, energia e carbono, para o seu metabolismo e reprodução. A primeira pode ser suprida através de luz solar ou por reações de oxidação-redução. A segunda varia de acordo com a classificação desses microrganismos: (1) autotróficos, que tem sua fonte de carbono no o dióxido de carbono da atmosfera – CO₂, ou (2) heterotróficos, que tem como fonte de carbono o carbono orgânico.

Dessa maneira, a redução de DBO/DQO nos sistemas fitorremediadores ocorre basicamente pelas interações biológicas de decomposição promovida por esses microrganismos, tanto por decomposição aeróbia, com a utilização de oxigênio comoceptor final de elétrons (agente oxidante), mas principalmente por decomposição anaeróbia, em que os microrganismos utilizam outros aceptores de elétrons que não o oxigênio – nitrato, sulfato, gás carbônico (PAOLI, 2010).

Na decomposição aeróbia, a matéria orgânica é removida por bactérias heterotróficas, liberando apenas gás carbônico e água, de acordo com a seguinte reação (COOPER et al., 1996).



Já na decomposição anaeróbia, a matéria orgânica é removida por bactérias anaeróbias ou facultativas, que liberam substâncias mais complexas, como ácidos e álcoois. De uma maneira geral, através da ação das bactérias anaeróbicas o carbono presente na matéria orgânica é transformado em metano e dióxido de carbono, neste caso pode ser representado pela seguinte reação.



b) NITROGÊNIO

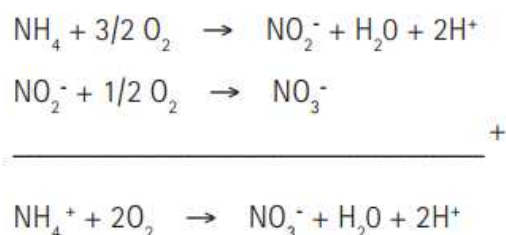
O material nitrogenado em águas residuais é composto principalmente de nitrogênio amoniacal (gasoso, NH_3 ; e salino, NH_4^+) e nitrogênio orgânico (ureia, aminoácidos e outras substâncias orgânicas como o grupo amino). Ainda é possível que ocorra traços de formas oxidadas do nitrogênio, nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). A soma da concentração de nitrogênio orgânico e amoniacal é chamada de NTK - nitrogênio total Kjeldahl.

A remoção biológica de nitrogênio em sistemas de tratamento se dá pelos processos de nitrificação e desnitrificação, em sequência. No primeiro, bactérias autotróficas promovem a oxidação biológica de amônia (NH_4^+) para nitrito (NO_2^-) e, principalmente nitrato (NO_3^-). Neste processo é necessária a presença de oxigênio dissolvido, dessa maneira, só é possível em ambiente aeróbio.

Já na desnitrificação, o nitrato (NO_3^-), ou o nitrito (NO_2^-), é reduzido para nitrogênio molecular, sendo material orgânico o redutor, juntamente com bactérias heterotróficas mediando o processo. O resultado dos processos sequenciais de nitrificação e desnitrificação é a conversão de nitrogênio amoniacal em nitrogênio molecular — que se desprende como gás da fase líquida (BASTOS; SPERLING, 2009).

A reação de nitrificação requer a mediação de bactérias específicas e se realiza nos dois seguintes passos sequenciais: no primeiro passo, a amônia é oxidada para nitrito (nitritação) através da ação bioquímica de bactérias como as do gênero *Nitrossomonas*. No segundo passo, a oxidação de nitrito para nitrato (nitratação) é mediada por bactérias como as do gênero *Nitrobacter*. Ambos os gêneros *Nitrossomonas* e *Nitrobacter* somente desenvolvem atividade bioquímica na presença de oxigênio dissolvido, por isso é obrigatório ambientes aeróbios. Os dois passos podem ser escritos como:

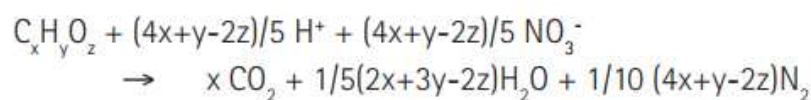
Equação 1. Reação de nitrificação e nitratação



Fonte: Bastos; Von Sperling, 2009, p. 177

A desnitrificação é a redução biológica de nitrato para nitrogênio molecular, sendo o material orgânico como agente redutor. Admitindo-se uma fórmula geral estrutural $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$ para o material orgânico, então a reação de redução pode ser escrita como:

Equação 2. Redução em caso de nitrato



Fonte: Bastos; Von Sperling, 2009, p. 178

A eficiência da desnitrificação depende diretamente da disponibilidade de material orgânico para a redução de nitrato (ou nitrito) e da temperatura (que influencia na velocidade do processo). Os valores experimentais indicados por Bastos e Von Sperling (2009) mostram uma forte dependência da temperatura até 20 °C, sendo que a taxa de nitrificação aumenta mais que a taxa de nitratação. Nas regiões tropicais, como o Brasil, é comum temperaturas maiores que 23 °C em esgotos, por esta razão, na zona tropical é possível operar o sistema de tal modo que há ocorrência de nitrificação, mas não de nitratação.

No processo de fitorremediação, a forma pela qual as macrófitas incorporam o nitrogênio na biomassa é a assimilação, processo que implica na conversão do nitrogênio orgânico em formas biodisponíveis para reserva nas células e tecidos das plantas, como amônia NH_4^+ e nitrato NO_3^- . O nitrogênio também sofre várias transformações nas diversas tipologias de sistemas alagados construídos, como: translocação do nitrogênio, incluindo a sedimentação (ressuspensão); difusão da forma dissolvida, adsorção/dessorção de nitrogênio solúvel pelas partículas do meio, amonificação (ou mineralização), volatilização da amônia ($\text{NH}_4^+ > \text{NH}_3$ gás),

reações de nitrificação/desnitrificação promovidas por bactérias, fixação de nitrogênio (N_2 , N_2O gases > N-org).

A capacidade de retirada de nitrogênio através do processo de assimilação pelas macrófitas e, desta forma, a quantidade que pode ser removida se a planta for podada, é aproximadamente, segundo (BRIX, 1997) (1997), na faixa de 200 a 2500 kg N.ha⁻¹.ano⁻¹. O mesmo autor indica que, se as plantas não forem podadas, uma grande quantidade de nitrogênio que foi incorporada à biomassa retornará ao meio devido à morte e à decomposição dos seus tecidos.

c) FÓSFORO

No esgoto doméstico, o fósforo está predominantemente presente na forma de fosfatos ou ligado a certos aminoácidos, compondo o fósforo orgânico. No Brasil, a principal fonte de fósforo no esgoto está nos polifosfatados presentes nos sabões em pó, outra fonte importante de fosfato vem do metabolismo humano em decorrência do consumo de proteínas animais.

Nos sistemas de tratamento biológico ocorre a mineralização quase que completa do fósforo orgânico e, conseqüentemente, o fosfato passa a predominar, caso não haja perdas excessivas de sólidos no sistema. Como a presença de fosfato na água causa a eutrofização, fenômeno que reduz a qualidade da água bem como suas possibilidades de uso, por isso foi preciso estabelecer padrões limites da concentração de fósforo para lançamento nos cursos d'água (CONAMA 357/05), cujos valores são dependentes do fator de diluição, do uso da água e de outras condições locais (FLORENCIO; BASTOS; AISSE, 2006).

Nos sistemas fitorremediadores de fluxo subsuperficial, a remoção de fósforo é baseada no ciclo biogeoquímico deste elemento, e pode envolver vários processos. Os mecanismos primários de remoção de fósforo incluem adsorção, filtração e sedimentação. O fósforo particulado, por exemplo, é removido por sedimentação, associado com os sólidos suspensos. Outros processos incluem complexação/precipitação e assimilação, sendo que os principais mecanismos de remoção de fósforo neste caso é a incorporação em tecidos de organismos vivos e retenção pelo meio físico (DORNELAS, 2008).

Quanto à incorporação de fósforo nos organismos vivos, a faixa de concentração incorporada no tecido das macrófitas varia entre 0,1 a 0,4 % em peso seco (KADLEC; KNIGHT; WALLACE, 1996), e uma remoção de fósforo (incorporação seguido de poda) de aproximadamente 30 a 150 kg.m⁻².ano⁻¹ (BRIX, 1997). No entanto, como o fósforo é um macronutriente para as plantas, o aumento da biomassa vegetal não deve ser diretamente relacionado a uma capacidade de remoção deste fósforo a longo prazo, visto que, ao morrer, os tecidos dessas plantas irão se decompor e liberar fósforo novamente no ambiente. A retenção e incorporação do fósforo pela microbiota podem ocorrer em uma escala de tempo inferior a uma hora, ao passo que 90% é liberado no ambiente nas próximas seis horas. Quanto à retenção pelo meio físico, o fósforo é armazenado nos sedimentos, nas plantas, no biofilme localizado na rizosfera e nos demais resíduos (KADLEC, KNIGHT, 1996).

d) SÓLIDOS SUSPENSOS

Boa parte dos poluentes presentes nas águas contaminadas estão relacionadas à quantidade de material particulado presente. Os sistemas fitorremediadores promovem a remoção desse material por processos físicos de filtração e sedimentação, a fricção da passagem mecânica através dos vegetais e dos substratos, possibilita a adesão dos sólidos ou sua deposição.

Os alagados construídos são muito eficientes na redução de SST, pois atuam como um verdadeiro filtro de água. Dessas partículas retidas no meio filtrante por mecanismos físicos, uma parte será solubilizada, outra parte será assimilada à biomassa microbiana desenvolvida no meio, e uma terceira parte será acumulada no sistema e mineralizados com o passar do tempo (VYMAZAL, 2008).

e) DESINFECÇÃO

As águas contaminadas apresentam altas densidades de organismos patogênicos, destacam-se as formas encistadas de protozoários e ovos de helmintos. O mapeamento de toda a variedade de organismos patogênicos presentes nas águas contaminadas seria de alto custo, por isso, por convenção coletiva determinou-se os coliformes fecais termotolerantes como o grupo de bactérias que melhor indicam a contaminação por dejetos de animais de sangue quente.

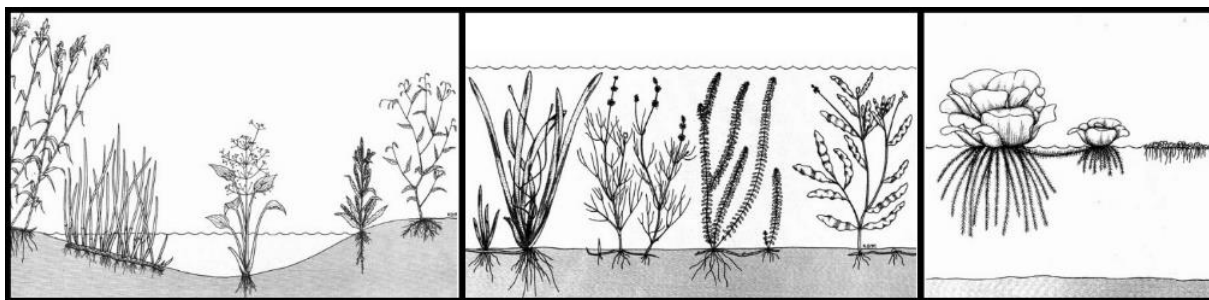
Os sistemas de fitorremediação oferecem uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos particularmente eficientes na remoção de organismos patogênicos: (1) processos físicos: filtração e sedimentação; (2) processos químicos: oxidação, exposição aos biocidas excretados pelas raízes das plantas e absorção pela matéria orgânica; (3) processos biológicos: predação por nematoides e protistas, ataque pelas bactérias e vírus e morte natural (SEZERINO et al., 2015).

Os fatores ambientais como temperatura e radiação solar pode melhorar o desempenho da desinfecção em alagados construídos, além disso, Kadlec; Wallace (2009) afirmam que a policultura favorece a remoção de patógenos porque apresentam uma variedade maior de microrganismos no meio poroso e que podem ser predadores de patógenos.

2.5.11 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS FITORREMEIADORES

Vymazal (1998) classifica os alagados construídos em três principais tipologias, de acordo com a macrófita aquática predominante no ecossistema, Figura 21, sendo assim: (1) flutuantes, (2) submersos e (3) emergentes. No primeiro, as plantas podem ser enraizadas com folhas flutuantes na superfície da água ou flutuantes livres. Já na segunda tipologia, as plantas podem ser enraizadas, crescendo totalmente debaixo d'água ou livres, flutuando debaixo d'água. Por fim, na terceira tipologia as plantas são enraizadas no sedimento com folhas que crescem além do nível d'água. Essa tipologia (3) é subdividida em outras duas classificações: (I) fluxo superficial e (II) fluxo sub-superficial (horizontal, vertical e híbridos).

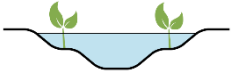
Figura 21. Alagados construídos: emergentes, submersos e flutuantes (respectivamente)



Fonte: Desenho de David Mackay em Vymazal, 2008.

a) FLUXO SUPERFICIAL

Tabela 21. Composição de um sistema fitorremediador de fluxo superficial segundo melhores práticas da Phytorestore Brasil

COMPOSIÇÃO DO SISTEMA FITORREMEIADOR DE FLUXO SUPERFICIAL		
	PROFUNDIDADE	1,30 m de profundidade total, sendo 80cm de lâmina d'água
	MEIO FILTRANTE	30cm de areia branca no fundo da lagoa e no topo do banco, sendo que nas covas das plantas é obrigatório terra vegetal 10cm de areia branca no talude entre fundo e banco
	MALHA HIDRÁULICA	Tubulação de alimentação à 1,10m do fundo Tubulação de drenagem apoiada no fundo e no nível da lâmina d'água (drenagem por transborde)
	VEGETAÇÃO	Macrófitas emergentes (aprox. 5 mudas/m ²) Macrófitas flutuantes fixas, enraizadas (aprox. 2 mudas/m ²)
	MEIO	Anaeróbico, permanece constantemente alagado

Fonte: Elaborado pela autora

Devido ao tempo de detenção hidráulica (TDH) estendido, é gerada uma estabilidade hidráulica que favorece a sedimentação e a desinfecção através da penetração de raios solares UV.

b) FLUXO SUB-SUPERFICIAL VERTICAL

Tabela 22. Composição de um sistema fitorremediador de fluxo sub-superficial vertical segundo melhores práticas da Phytorestore Brasil

COMPOSIÇÃO DO SISTEMA FITORREMEIADOR SUB-SUPERFICIAL DE FLUXO VERTICAL		
	PROFUNDIDADE	1,00 m
	MEIO FILTRANTE	20cm de brita nº1 no topo 20cm de brita nº2 no meio 30cm de brita nº3 no fundo do filtro
	MALHA HIDRÁULICA	Tubulação de alimentação à 90cm do fundo Tubulação de aeração à 30cm do fundo (apoiada na camada de brita nº3) Tubulação de drenagem apoiada no fundo
	VEGETAÇÃO	Macrófitas emergentes (aprox. 5 mudas/m ²)
	MEIO	Aeróbico, não permanece constantemente alagado

Fonte: Elaborado pela autora

Como o próprio nome sugere, o fluxo hidráulico no sistema é vertical, ou seja, a água contaminada infiltra no substrato de cima para baixo, caracterizando alta condutividade hidráulica, pois o substrato não permanece constantemente saturado. Dessa maneira, essa etapa do tratamento ocorre em presença do oxigênio e permite a ocorrência de importantes processos químicos e mecânicos como a nitrificação e a mineralização dos depósitos orgânicos resultantes dos Sólidos Suspensos Totais (SST), esse meio também promove a remoção da carga de DBO e DQO.

c) FLUXO SUB-SUPERFICIAL HORIZONTAL

Tabela 23. Composição de um sistema fitorremediador de fluxo sub-superficial horizontal segundo melhores práticas da Phytorestore Brasil

COMPOSIÇÃO DO SISTEMA FITORREMEIADOR SUB-SUPERFICIAL DE FLUXO HORIZONTAL		
	PROFUNDIDADE	80 cm
	MEIO FILTRANTE	Brita nº3 nas extremidades, margeando as tubulações de entrada e saída, com altura de 50cm Brita nº2 no meio, com altura de 50cm
	MALHA HIDRÁULICA	Tubulação de alimentação à 40cm do fundo Tubulação de drenagem apoiada no fundo
	VEGETAÇÃO	Macrófitas emergentes (aprox. 5 mudas/m ²)
	MEIO	Anaeróbio, permanece constantemente alagado

Fonte: Elaborado pela autora

Novamente, como o próprio nome sugere, o fluxo hidráulico no jardim é horizontal, ou seja, a água contaminada percorre o substrato de um lado ao outro. O sistema é caracterizado por alta estabilidade hidráulica, pois o substrato permanece constantemente saturado. Dessa maneira, essa etapa do tratamento ocorre em ambiente anóxico e como resultado da baixa capacidade de transferência de oxigênio, tem destaque os processos químicos envolvidos na desnitrificação e solubilização de fosfatos. Dessa maneira, o FH é muito satisfatório na redução dos parâmetros Nitrogênio Total, Fósforo Total, DBO e DQO.

d) SISTEMAS HÍBRIDOS

Os sistemas híbridos são formados pela composição de das duas últimas tipologias: fluxo vertical e fluxo horizontal. Nas estruturas de fluxo horizontal subsequentes às estruturas de fluxo vertical, são estabelecidas condições suficientes para que o processo de desnitrificação

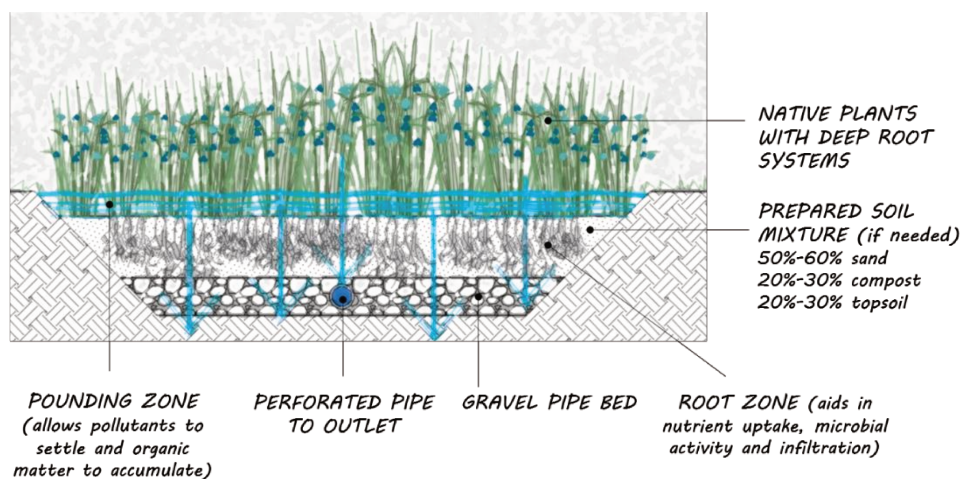
ocorra de maneira satisfatória, isso porque, primeiramente, nesta etapa o meio permanece constantemente saturado gerando um ambiente anóxico. Em segundo lugar, porque é uma etapa posterior a ocorrência da nitrificação (fluxo vertical), que disponibiliza o nitrato, a ser convertido em nitrogênio gasoso.

2.5.12 TIPOLOGIAS PARA DESENHO URBANO

a) JARDINS DE CHUVA

Estrutura projetada em escavação com preenchimento em material granular de alta permeabilidade e vegetação arbustiva para biorretenção, armazenamento, tratamento, evapotranspiração e infiltração da água de chuva, além do diferencial paisagístico e valorização do ambiente ao redor. A implementação desse tipo de infraestrutura promove a redução de volume, vazão e escoamento superficial, armazenamento e tratamento da água, aumento da infiltração, recarga do lençol e devolução da água ao ciclo natural.

Figura 22. Perfil de um Jardim de Chuva

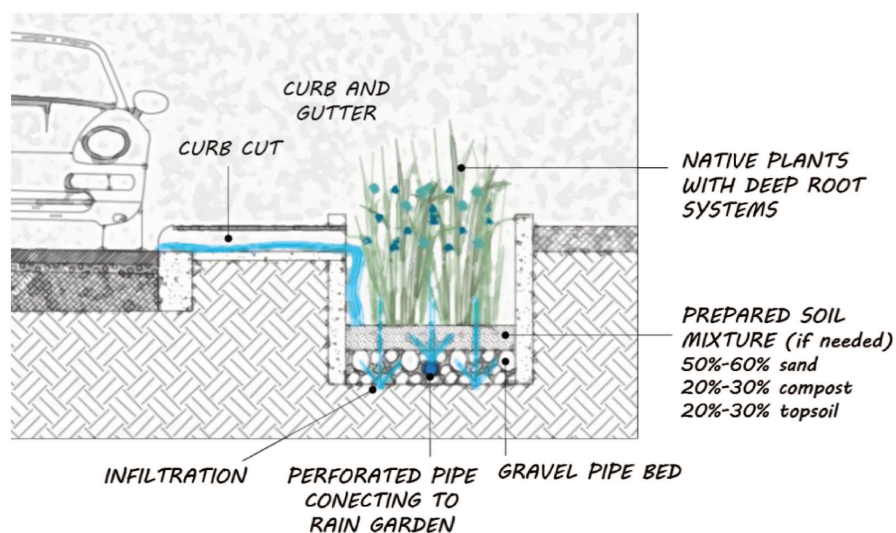


Fonte: Elaborado pela autora em (MENDES; PINA, 2017)

b) BIOVALETAS

Estrutura projetada em escavação com seção trapezoidal ou parabólica, para transporte do escoamento superficial em baixa velocidade devido as pequenas inclinações. Essa infraestrutura promove o aumento do tempo de concentração e redução da velocidade de escoamento da água, redução da descarga de pico e da vazão, aumento da infiltração no solo e melhoria qualitativa da água.

Figura 23. Perfil de uma Biovaleta

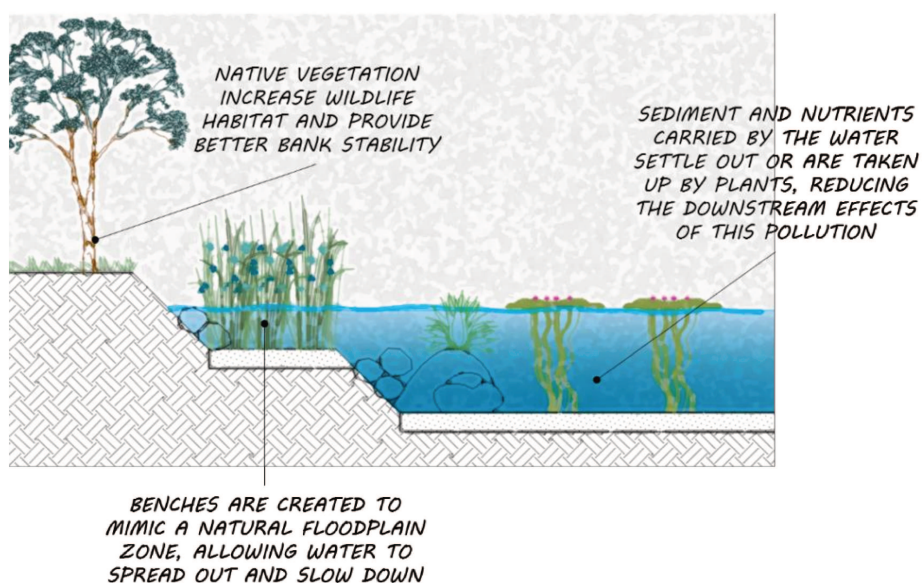


Fonte: Elaborado pela autora em MENDES; PINA, 2017

c) LAGOA PLUVIAL

Estrutura projetada em escavação para reter o escoamento superficial a longo prazo, mantendo um volume morto (lagoa) permanentemente. A presença de lâmina d'água continua favorece a autodepuração através de mecanismos físicos e biológicos, assim além de reduzir volume, trata a qualidade da água. Favorece o controle quantitativo das cheias urbanas através da redução de volume, controle qualitativo da água por sedimentação e decomposição biológica e redução de carga contaminante a jusante.

Figura 24. Perfil de uma Lagoa Pluvial

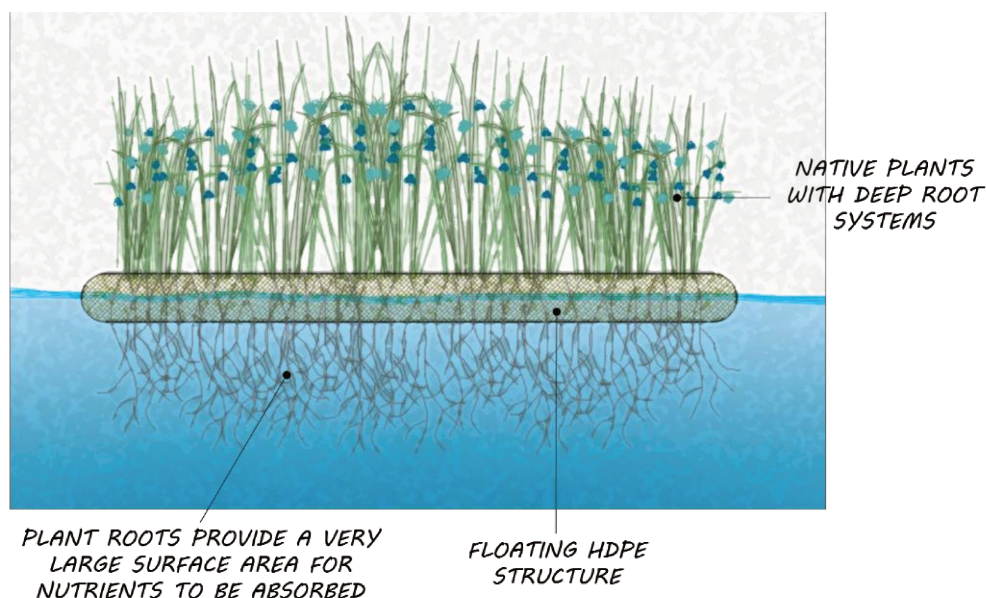


Fonte: Elaborado pela autora em MENDES; PINA, 2017

d) ILHAS FLUTUANTES

Estruturas flutuantes resistentes às intempéries colocadas sob a lâmina d'água para proporcionar melhoria natural da qualidade da água através das raízes prolongadas que ficam abaixo d'água. A rizosfera submersa promove o estabelecimento de biofilmes aquáticos benéficos que purificam a água através da degradação, sorção e transformação metabólica de nutrientes e impurezas. A estrutura pode ser modular e versátil, personalizada para centenas de formas e tamanhos, atendendo a diferentes demandas.

Figura 25. Perfil de uma Ilha Flutuante

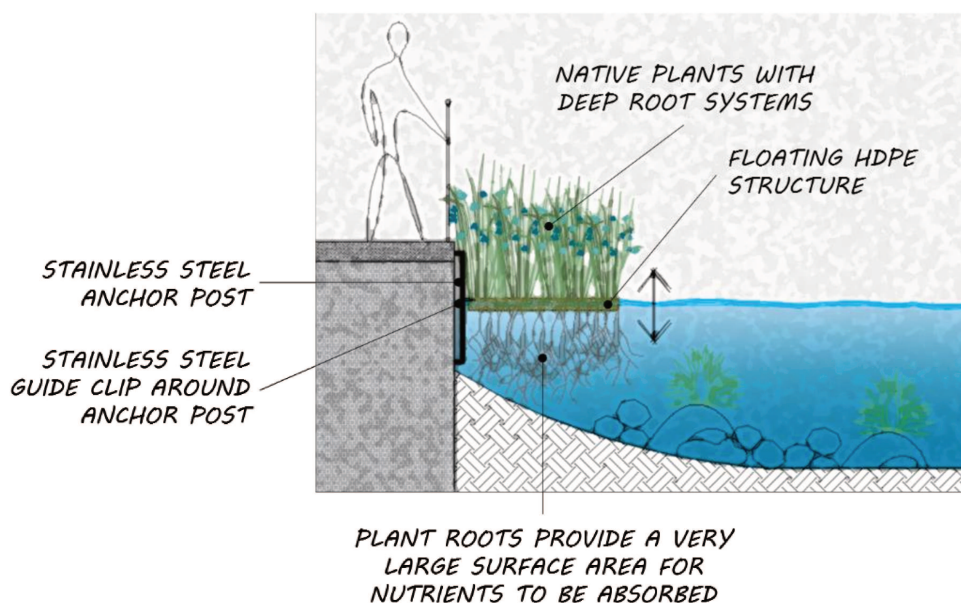


Fonte: Elaborado pela autora em MENDES; PINA, 2017

e) MARGENS FLUTUANTES

Estruturas modulares flutuantes resistentes às intempéries, geralmente construídas em aço inoxidável e PEAD. Projetados para promover a melhoria da qualidade da água em rios e canais através do desenvolvimento da vida aquática simbiótica na rizosfera. A biodiversidade traz força para o corpo hídrico, que se torna mais resiliente às inevitáveis contribuições de poluição difusa e/ou pontual providas do escoamento superficial, atividades agrícolas, despejos de esgoto sem tratamento e outros. As margens flutuantes revitalizam o ambiente, pois atuam diretamente na redução dos altos níveis de nutrientes presentes nas águas contaminadas, evitando a eutrofização, mitigando odores desagradáveis e promovendo o aumento da beleza local, da visita de turistas e valorização imobiliária.

Figura 26. Perfil de uma Margem Flutuante

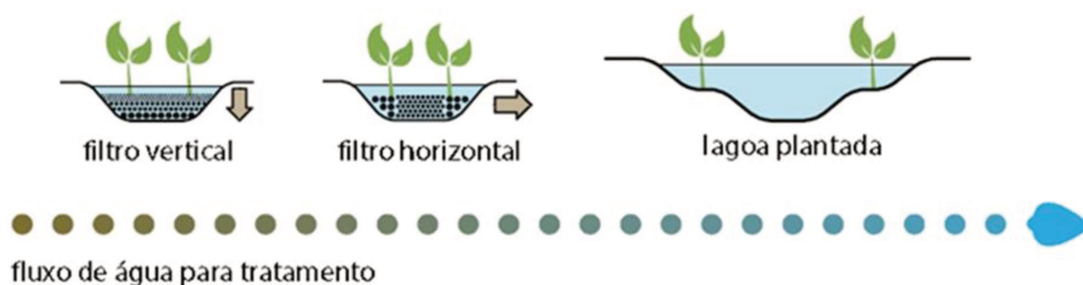


Fonte: Elaborado pela autora em MENDES; PINA, 2017

f) JARDINS FILTRANTES

Os Jardins Filtrantes são pequenos ecossistemas planejados que recriam de forma otimizada as condições ideais para ocorrência da fitorremediação em diferentes estágios, a fim de promover o tratamento de efluentes domésticos, industriais e lodos, ao mesmo tempo em que agregam valorização arquitetônica, paisagística e social. São compostos por alagados construídos emergentes de fluxo sub-superficial híbrido — no qual o filtro de fluxo vertical antecede o filtro de fluxo horizontal — combinado com um filtro de fluxo superficial. Ou seja, são três tipologias sequenciadas denominadas de (a) Filtro Vertical, (b) Filtro Horizontal e (c) Lagoa Plantada.

Figura 27. Fluxograma de um Jardim Filtrante

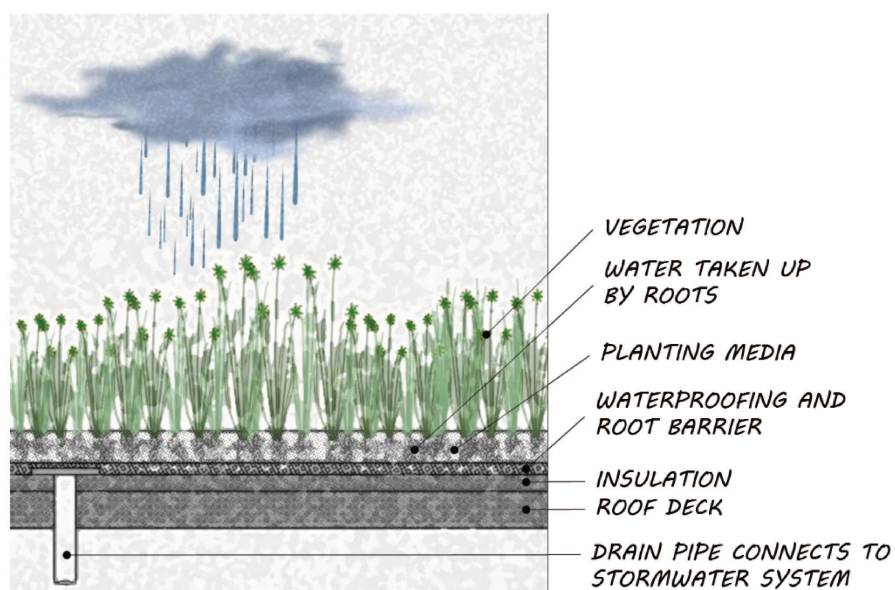


Fonte: Cedido por Phytorestore Brasil, arquivo privado

g) TELHADO VERDE

Estrutura vegetada sob superfícies construídas para aumentar as áreas permeáveis nas cidades. Embora seja uma técnica que não propicia a infiltração direta, é capaz amortizar o escoamento superficial direto e traz benefícios ao meio ambiente. Sua implementação favorece o aumento de área verde útil e revegetação urbana, redução do volume de água encaminhada ao sistema de drenagem, retorno da água de chuva ao seu ciclo natural.

Figura 28. Perfil de um Telhado Verde



Fonte: Elaborado pela autora em MENDES; PINA, 2017

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida através da modalidade de ordem prática aplicada com delineamento em estudo de caso. Primeiramente, foi apresentada uma revisão de literatura exploratória através da técnica de mapeamento sistemático (Systematic Mapping Study – SMS), que teve como objetivo ampliar o conhecimento científico, analisar as publicações mais relevantes e atuais disponíveis nas bases de dados conveniadas à UNICAMP e identificar os gaps na literatura, demonstrando a importância dessa pesquisa.

As revisões literárias e consultas bibliográficas representam um trampolim em direção ao sucesso na elaboração das questões-chave na pesquisa. Isso porque as bibliografias fornecem importantes informações e conhecimento geral na área de interesse do pesquisador. Por outro lado, a revisão literária promove a síntese de alguns assuntos, direcionando novas ideias e críticas. Essas ideias provenientes do processo são uma importante fonte para elaboração de questionamentos originais e enriquecedores na geração de conhecimento para comunidade científica. Esses estudos são também muito importantes para consciência do pesquisador de que nenhuma ideia é tão nova a ponto de não existir referências no assunto. O pesquisador precisa ter o senso de que embora a pesquisa agregue ideias e valores, não será um projeto iniciado do zero. Os estudos se desenvolvem a partir de uma base e devem contribuir para a literatura (WANG; GROAT, 2013).

Em um segundo momento, a análise de estudo de caso foi aplicada para o reconhecimento de tendências projetuais. Essa metodologia permitiu capturar o esquema de referência e a definição da situação, permitir um exame detalhado do processo organizacional e esclarecer fatores particulares ao caso que podem levar a um maior entendimento da causalidade. Dessa maneira, a adoção do estudo de caso visa descrever, classificar, contextualizar e compreender, sendo um dos mais ecléticos métodos de pesquisa (MCCLINTOCK; BRANNON; MAYNARD-MOODY, 1983).

O método do Estudo de Caso, classificado como qualitativo (GOODE; HATT, 1967), é mais apropriado para situações amplas e complexas, quando o conhecimento existente não é suficiente para sustentar os questionamentos ou quando o fenômeno não pode ser estudado

fora do contexto onde naturalmente ocorre (BONOMA, 1985). Essa estratégia visa responder às perguntas geralmente iniciadas por “como” ou “porquê” - questões explicativas e não tem um roteiro rígido para o seu desenvolvimento.

"Um estudo de caso é um paradigma empírico que investiga um fenômeno contemporâneo no contexto da vida real, especialmente quando as fronteiras entre fenômeno e contexto não estão claramente evidentes" (YIN, 2013, p.125).

As informações referentes ao estudo de caso foram fornecidas pela empresa multinacional, especializada em fitorremediação através do sistema de Jardins Filtrantes®, Phytorestore Brasil, localizada em São Paulo/SP; e através da experiência adquirida pela autora durante o acompanhamento da implantação do projeto durante o ano de 2016 no Rio de Janeiro/RJ. Inclusive, a vivência em campo e a consequente proximidade com o projeto justifica a escolha do estudo de caso apresentado nessa pesquisa.

Em continuidade, a maior contribuição desta pesquisa talvez seja o reconhecimento das tendências projetuais, pois visa estabelecer as aplicações da fitorremediação, integrando-a aos estudos de arquitetura da paisagem e ampliação dos conhecimentos arquitetônicos na área ambiental. A expectativa é que esse estudo amplie o alcance da fitorremediação perante aos arquitetos como uma estratégia no planejamento urbano. A difusão do conceito de rede multifuncional de infraestruturas verdes integradas à paisagem urbana como uma estratégia para mitigação e melhoria da qualidade do meio ambiente urbano induz a visão holística do desenvolvimento urbano sustentável.

3.1 ESTUDO DE CASO: CENTRO DE PESQUISA & INOVAÇÃO – RIO DE JANEIRO/RJ

O caso analisado retrata o projeto de um Centro de Pesquisa & Inovação, localizado no Rio de Janeiro, Brasil pioneiro na implementação da técnica de fitorremediação em distintas infraestruturas verdes para gestão das águas pluviais e residuais:

- Águas pluviais: coleta, transporte, armazenamento e melhoria da qualidade;

- Águas residuais: tratamento das águas cinzas e negras providas de usos sanitários e industriais;
- Reuso: descargas sanitárias, lavagens e resfriamento da torre de ar condicionado.

FICHA TÉCNICA

Centro de Pesquisa & Inovação

Localização: Ilha do Bom Jesus, Cidade Universitária - Ilha do Fundão, Rio de Janeiro/RJ – Brasil

Área total do empreendimento: 30.000 m²

Áreas Verdes (total): 15.860 m²

Áreas Verdes (fitorremediação): 2.368 m²

Dispositivos adotados (infraestrutura verde): Biovaletas, Jardim de Chuva, Lagoa Pluvial (de armazenamento, para posterior reuso da água) e Jardins Filtrantes (wetlands construídos para tratamento de efluentes).

Ano de inauguração: maio/2017

Implantação dos dispositivos de fitorremediação (infraestrutura verde): julho/2016 a janeiro/2017

Objetivo: coletar as águas de chuva do site e purificá-la a fim de permitir o reuso. Primeiramente, a chuva é encaminhada através de biovalas perimetrais para os jardins pluviais. Dentro dos jardins, a água é tratada por fitorremediação durante um tempo determinado e, em seguida, é encaminhada para bacia de retenção, onde parte de seu volume infiltra e parte é destinado ao tanque de reuso do edifício.

Capacidade máxima de armazenamento: 1 hora de um evento de chuva de tempo de retorno 5 anos (92,2mm/h).

Fonte 1. Elaborado pela autora.

A Ilha do Fundão é um bairro situado na Ilha do Governador, Zona Norte da cidade do Rio de Janeiro, Figura 29. É uma ilha artificial, criada em 1950 a partir do aterro sobre um conjunto de pequenas ilhas que já existiam. Essas obras tiveram início juntamente com a construção da Cidade Universitária, para ser sede da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), representando o mais importante campus até hoje. Porém a história dessa região começou muito antes, quando ainda era composta por um complexo de pequenas ilhas, dentre elas a Ilha do Bom Jesus, que abriga um rico patrimônio histórico e cultural da cidade.

O local banhado pela Baía de Guanabara já foi cercado de água por todos os lados, mas hoje tem acesso por terra. A entrada fica ao lado da Coppead, o instituto de pós-graduação e pesquisa em Administração da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), dentro da Cidade Universitária. Seu maior tesouro é a Igreja do Bom Jesus da Coluna, construída em 1705 por padres franciscanos, e a Vila Militar, que abrigou militares que trabalham no quartel do

Centro e seus parentes. A igreja foi tombada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Cultural (Iphan) em 1990 e restaurada de 2004-2008, com captação de recursos junto ao Banco Nacional de Desenvolvimento Social (BNDES), dando origem ao 1º Santuário Militar do país.

A Ilha do Bom Jesus ainda é propriedade do exército, no entanto, negociações quanto à forma de cessão do espaço foram aprovadas em 2011 para a construção de uma extensão do Parque Tecnológico da UFRJ, com laboratórios que serão usados por mais de dez empresas como GE, Siemens e L'Oréal para o desenvolvimento de soluções inovadoras em meio ambiente, tecnologia da informação e energia. Também denominado como “Polo Verde”, o parque tecnológico da Ilha do Bom Jesus foi inaugurado em 2012 e vem negociando a vinda de diversas empresas multinacionais que se comprometerem a ocupar o espaço seguindo um modelo ecologicamente sustentável.

Figura 29. Ilha do Bom Jesus, Rio de Janeiro - Brasil



Fonte: OpenStreetMap, 2017

Segundo divulgações da Subsecretaria de Comunicação do GERJ, a L'Oréal, empresa de cosméticos especializada em produtos para cabelos, perfumes, protetores solares e produtos dermatológicos focará seu Centro de Pesquisa e Inovação para a América Latina no desenvolvimento de produtos adaptados ao mercado brasileiro e latino-americano, com potencial de comercialização em outros países.

“O novo Centro de Pesquisa & Inovação da L'Oréal será o sexto da empresa no mundo e o primeiro no Brasil. O projeto tem metas de sustentabilidade que incluem economia de 40% no uso de água através

do sistema de reaproveitamento de água da chuva e tratamento de efluentes. A construção também contará com ventilação natural e uso de energia solar. O centro terá um jardim da biodiversidade com exemplares da flora brasileira.” (MOITAS, 2012)

Os campos de Pesquisa & Inovação não são puramente criativos, mas também se baseiam em um entendimento das necessidades dos consumidores conciliando a visão do mercado atual e no futuro. As equipes de P&I são compostas por mais de trinta especializações dividida em 4 áreas principais: (1) pesquisa avançada, desenvolve conhecimento nas principais áreas científicas e na criação de modelos de avaliação preditiva; (2) pesquisa aplicada, cria fórmulas e desenvolve novos conceitos de produtos; (3) desenvolvimento, desenvolve novas fórmulas para oferecer às marcas produtos seguros e inovadores e (4) funções de suporte, cuidam de assuntos regulatórios, patentes, pesquisas com consumidores, gestão de recursos, etc.

3.1.1 PROTOCOLO DE ANÁLISE

O protocolo de análise, na Tabela 24, para o desenvolvimento do estudo de caso teve como base um instrumento desenvolvido com referência nas macro-categorias de destaque observadas na revisão bibliográfica, compondo quesitos de análise, conforme apresentado a seguir.

Tabela 24. Relação das categorias e quesitos utilizados como base para o desenvolvimento do estudo de caso

CARACTERÍSTICAS	LÍQUIDO	DESING & TIPOLOGIA	FLUXO SUPERFICIAL
	SUBSTRATOS		FLUXO SUBSUPERFICIAL
	SEDIMENTOS		FLUXO HÍBRIDO
	VEGETAÇÃO		ESTRUTURA CONSTRUTIVA
	MICRORGANISMOS		INFRAESTRUTURA HIDRÁULICA
	BIODIVERSIDADE		HRT (hydraulic residence time)
	VALORIZAÇÃO DA PAISAGEM		HLR (hydraulic loading rate)
CAPACIDADE DEPURATIVA	SEDIMENTAÇÃO	HIDROLOGIA	AMORTECIMENTO DA VAZÃO

OPERAÇÃO & MANUTENÇÃO	FILTRAGEM	VANTAGENS	ARMAZENAMENTO DA ÁGUA
	ADSORÇÃO		CICLO DE NUTRIENTES
	ABSORÇÃO		INFILTRAÇÃO
	BIODEGRADAÇÃO		SIMPLICIDADE CONSTRUTIVA
	DESINFECÇÃO		BAIXO CUSTO DE GESTÃO
	PODA DA VEGETAÇÃO		REUSO DE ÁGUA
	LIMPEZA		BIODIVERSIDADE
	CONTROLE DOS FLUXOS		INTEGRAÇÃO DA PAISAGEM
	MEDIÇÃO DE VAZÃO		DEMANDA DE ÁREA
	ANÁLISE DE QUALIDADE		VARIABILIDADE DA EFICIÊNCIA
	FISCALIZAÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO	LIMITAÇÕES	LIMITE DE TOLERÂNCIA DAS PLANTAS
	PRAGAS E MOSQUITOS		COLMATAÇÃO
	MONITORAMENTO		IRRIGAÇÃO NAS SECAS

Fonte: Elaborado pela autora

4. A CONCEPÇÃO DO PROJETO

O Centro de Pesquisa & Inovação foi idealizado através dos valores embutidos no core do grupo L'Oréal: inovação, empreendedorismo, mente aberta, excelência e responsabilidade. O foco das atividades é a beleza universal, facilitando o acesso a produtos cosméticos e a aceleração da regionalização para adequação aos costumes locais. Para atingir esse objetivo, o Rio de Janeiro foi escolhido para ser sede do centro de pesquisa e inovação, sendo que os laboratórios têm a missão de intensificar o desenvolvimento de produtos inovadores adaptados ao mercado brasileiro e latino americano.

Desde 2001, o grupo vem sendo premiado acerca das temáticas de inovação, gestão, desenvolvimento sustentável e comunicação financeira. Em 2013, no início do projeto do Centro de P&I, o grupo L'Oréal lançou o programa Sharing Beauty With All, pautado na responsabilidade socioambiental, com o objetivo de desenvolver suas atividades com impacto positivo. Em complemento, o programa estabelece os compromissos de sustentabilidade para 2020 e se baseia em quatro pilares: inovar, produzir, viver e desenvolver de forma sustentável.

- Inovar: A cada inovação ou atualização dos produtos busca-se melhorar seu perfil ambiental ou social, como por exemplo a redução da pegada ambiental das novas fórmulas, busca por matérias-primas renováveis, embalagens de menor impacto ambiental, produtos adaptados a regionalidade, etc;
- Produzir: A produção deve ser mais responsável, sendo necessária a redução da emissão de CO₂ nas fábricas, escritórios e centros de distribuição, inclusive no transporte. Reduzir o consumo de água e a geração de resíduos, com o objetivo de zerar o envio de lixo para aterros;
- Viver: Oferecer ao consumidor a opção de produtos avaliados quanto ao impacto ambiental e social, trazendo nos rótulos informações relacionadas à pegada ecológica;
- Desenvolver: O desenvolvimento deve sempre trazer impactos positivos para as comunidades através de trabalho direto ou fornecimento solidário, distribuição inclusiva, treinamento vocacional (setor de beleza), vagas inclusivas e programas de educação fundamental.

O sistema de economia linear fundamentado no fluxo “extrair-transformar-descartar” está cada vez mais obsoleto, mesmo a reciclagem no fim da vida útil do produto gera altos volumes crônicos de perdas. Os direcionadores de mudanças apontam fatores que vem trazendo a economia linear ao colapso, são eles a própria urbanização, a pressão demográfica, a volatilidade dos preços, perdas econômicas e estruturais, avanços tecnológicos e por fim, a aceitação de novos modelos de negócios pelos pioneiros. Dessa maneira, o pilar econômico da sustentabilidade vem sendo transformado em um modelo circular, no qual a regeneração e restauração estão presentes por princípio. A economia circular representa um ciclo contínuo de desenvolvimento positivo que elimina a noção de resíduo desde o princípio, mantendo o mais alto nível de utilidade o tempo todo (GRAEDEL; ALLENBY, 2003).

Através desses ideais, o grupo buscou soluções inovadoras e de cunho sustentável. Desde 2005 os projetos ao redor do mundo vêm implementando sistemas alternativos para gestão da água, solo e resíduos. O Centro de Pesquisa e Inovação localizado em Shanghai/China, Figura 30, foi o primeiro a adotar jardins de chuva para o manejo das águas pluviais. Projetados de forma integrada ao projeto arquitetônico o partido foi trazer curvas orgânicas que representam a pesquisa biológica e ciências sociais, contrastando com as linhas rígidas e refinadas da arquitetura construída. O projeto também possui diferenciais em termos de economia de energia, ações sociais e manejo de resíduos, sendo o primeiro projeto do grupo a atingir a certificação LEED GOLD.

Figura 30. Jardim de chuva implementado no Centro de Pesquisa e Inovação de Shanghai/China



Fonte: Cedido por Phytorestore, acervo privado

O projeto francês também adotou, desde 2015 adotou um projeto inovador que tem as plantas como protagonistas para o processamento do lodo em composto, ver Figura 31. O filtro plantado, como é conhecido o projeto, tem área aproximada de 1000m² e capacidade para processar todo o lodo do site em composto fertilizante através da técnica de fitorremediação.

Figura 31. Filtro plantado para processamento do lodo em composto no site francês



Fonte: Cedido por Phytorestore, arquivo privado

No Brasil, o prédio da nova sede, também localizado no Rio de Janeiro (Porto Maravilha), Figura 32 , foi inaugurado em 2016 com o slogan de ser marco em modernidade e eficiência. O padrão internacional de qualidade foi projetado para atender às melhores práticas em sustentabilidade, conforto e saúde. Começando com a maneira de trabalhar, o projeto apresenta um ambiente aberto, em que todos podem se enxergar, sendo que a vista 360°

compõem a rotina nas posições de trabalho e não tem lugares fixos, possibilitando que os colaboradores trabalhem onde quiserem. A vista para a área externa também foi favorecida, além de contemplar a Baía de Guanabara, a fachada toda de vidro é um meio de aproveitar a luz natural, sendo que à noite é substituída por iluminação de LED. A tecnologia de baixo impacto ambiental também está presente na captação de energia solar para a frenagem dos 11 elevadores internos. O projeto almeja às certificações LEED Gold, AQUA e Qualiverde (selo criado pela Secretaria Municipal de Urbanismo junto à Prefeitura do Rio de Janeiro), sinônimas de alta qualidade.

Figura 32. Prédio da nova sede no Rio de Janeiro (destaque)



Fonte: L'Oréal Talentos, disponível em: <https://www.lorealtalentos.com.br/nova-sede-loreal-porto-maravilha/> acesso em 09 de outubro de 2017

a) O Programa de Necessidades

Frente as referências de outras unidades implantadas e em combinação com os princípios e ideais do grupo, o projeto do Centro de Pesquisa e Inovação do Brasil apresentou

um programa de necessidades voltado para soluções alternativas em diversos aspectos. No que se refere à implantação da fitorremediação, se destacam:

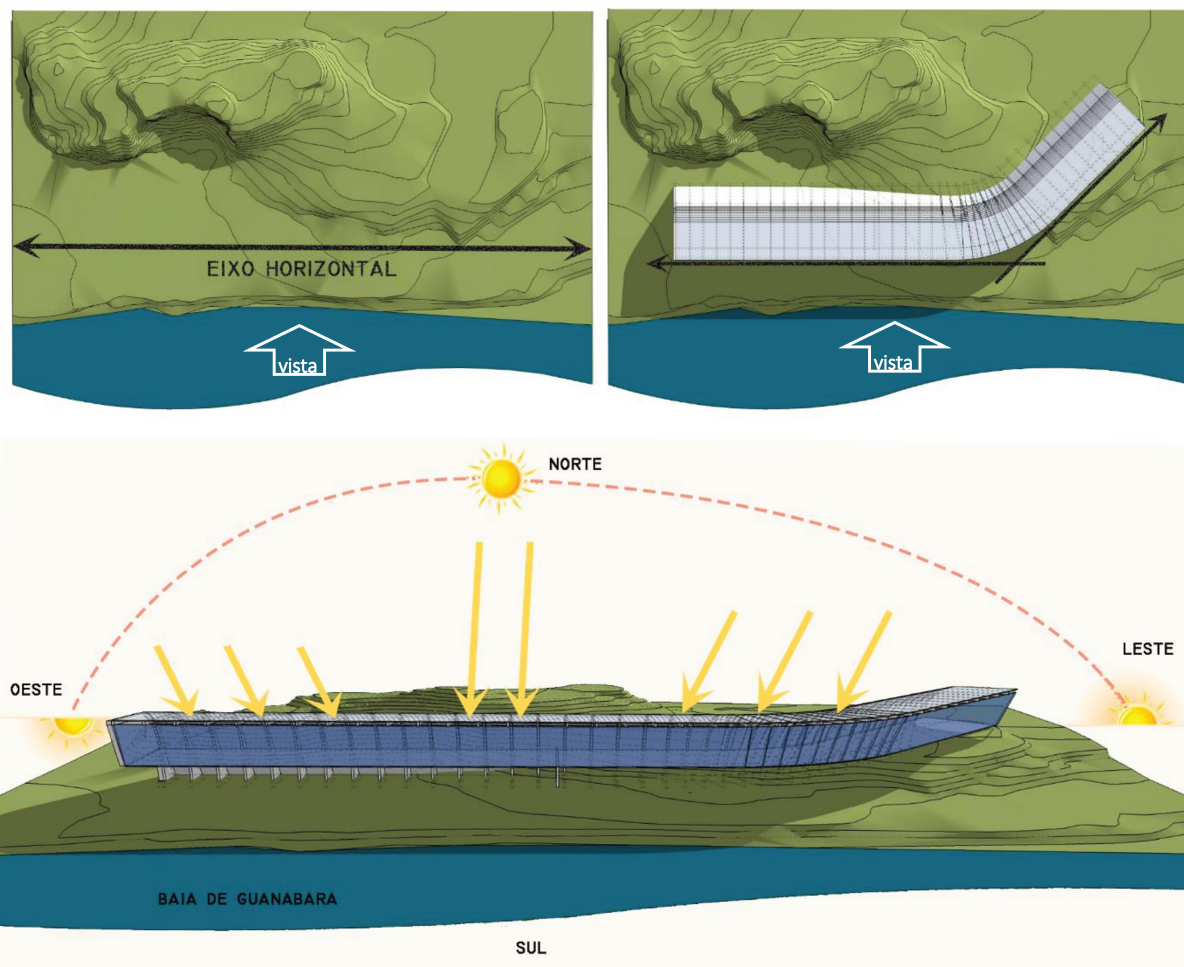
- Gestão de baixo impacto ambiental das águas pluviais e residuais, toda água do site deve permanecer no site;
- Manejo florestal com transplante e compensação ambiental das espécies nativas;
- Favorecimento das áreas verdes nativas e integração entre paisagem e arquitetura e
- Multifuncionalidade, reuso, regeneração, recursos renováveis e sistemas baseados na natureza.

4.2.1 PROCESSO DE PROJETO INTEGRADO

Para atingir os objetivos solicitados pelo cliente, os escritórios envolvidos nas diversas temáticas do projeto atuaram de maneira integrada desde o início. Dessa maneira, trabalharam paralelamente a equipe RAF Arquitetura, o escritório americano Perkins+Will e a empresa Phytorestore Brasil. O primeiro passo foi a análise do lugar, que mostrou vocação para horizontalidade na implantação do prédio, tanto devido à topografia quanto as dimensões favorecidas no eixo horizontal do lote.

A fim de atender a linguagem internacional de linearidade nos projetos da L'Oréal, a concepção se iniciou a partir de um primeiro traço retilíneo e paralelo à Baía de Guanabara, ver Figura 33, que por sua vez, tinha vocação nata para ser a vista principal do prédio, ainda mais por ser a fachada sul do terreno, cuja iluminação natural é favorecida por raios solares indiretos, obtendo-se claridade sem sacrificar o conforto térmico. Dessa maneira, foi decidido que seria projetada uma grande fachada de vidro linear e longilínea no sentido horizontal do terreno. Para melhor se adequar à topografia e aos elementos existentes no local, como ruas e árvores, a extremidade leste do edifício tem uma inclinação sentido norte, proporcionando assimetria e dinâmica ao design.

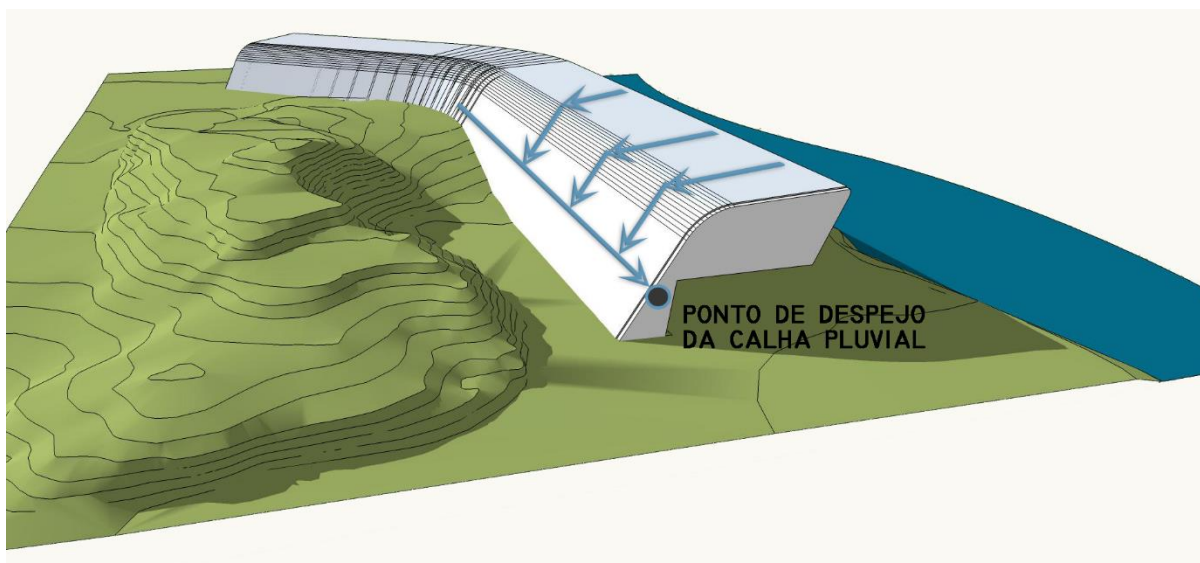
Figura 33. Desenvolvimento do projeto, concepção de traçado inicial



Fonte: Elaborado pela autora

O desenho arquitetônico também foi condicionado a liberar o máximo possível de área verde ao redor do edifício para implementação de infraestrutura verde integrada ao manejo de águas do site. Além da forma longilínea e estreita, o telhado foi desenhado para facilitar o escoamento pluvial através de uma seção abaulada com inclinação para parte posterior, direcionando essa água para uma calha já integrada no desenho da seção do telhado, conforme Figura 34.

Figura 34. Escoamento pluvial pelo telhado até ponto de despejo

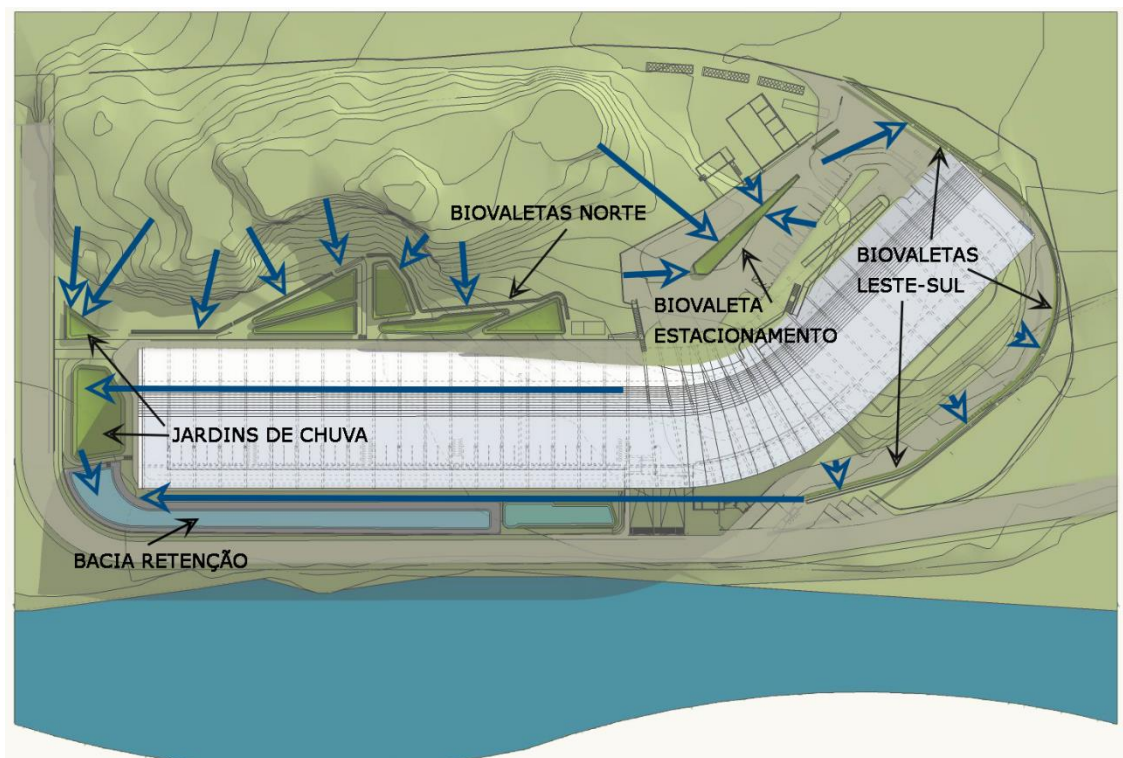


Fonte: Elaborado pela autora

A distribuição espacial da infraestrutura verde ao redor do prédio integrou-se com a arquitetura para que a infraestrutura predial fosse otimizada, ver Figura 35. Primeiramente, os jardins de chuva foram posicionados na lateral oeste do terreno, direção de escoamento da calha pluvial do telhado, facilitando o transporte da água. A partir desta definição, as biovaletas foram distribuídas de acordo com as áreas de contribuição pluvial, determinadas pela topografia do terreno e pelas áreas cinzas. Dessa maneira, adjacentes às ruas e ao estacionamento, foram projetadas biovaletas que contornam a pavimentação de noroeste à sul, conectando-se no trecho final, por tubulação ao jardim de chuva. A área norte do terreno também conta com biovaletas adjacentes ao morro rochoso, transportando a água pluvial para o jardim de chuva à oeste.

Devido à premissa de reuso de água no site, os jardins de chuva foram projetados com impermeabilização no fundo, evitando a infiltração no solo. Esse jardim é conectado com o tanque de reuso por tubulações subterrâneas, mas também tem um transborde de segurança (*overflow*) para a bacia de retenção, localizada na fachada sul do terreno. Em grandes eventos chuvosos, a bacia de retenção atua como um amortecedor do pico de chuva, ela tem capacidade de armazenar 800m³ e alta permeabilidade devido ao revestimento em gabião colchão, favorecendo a infiltração no solo.

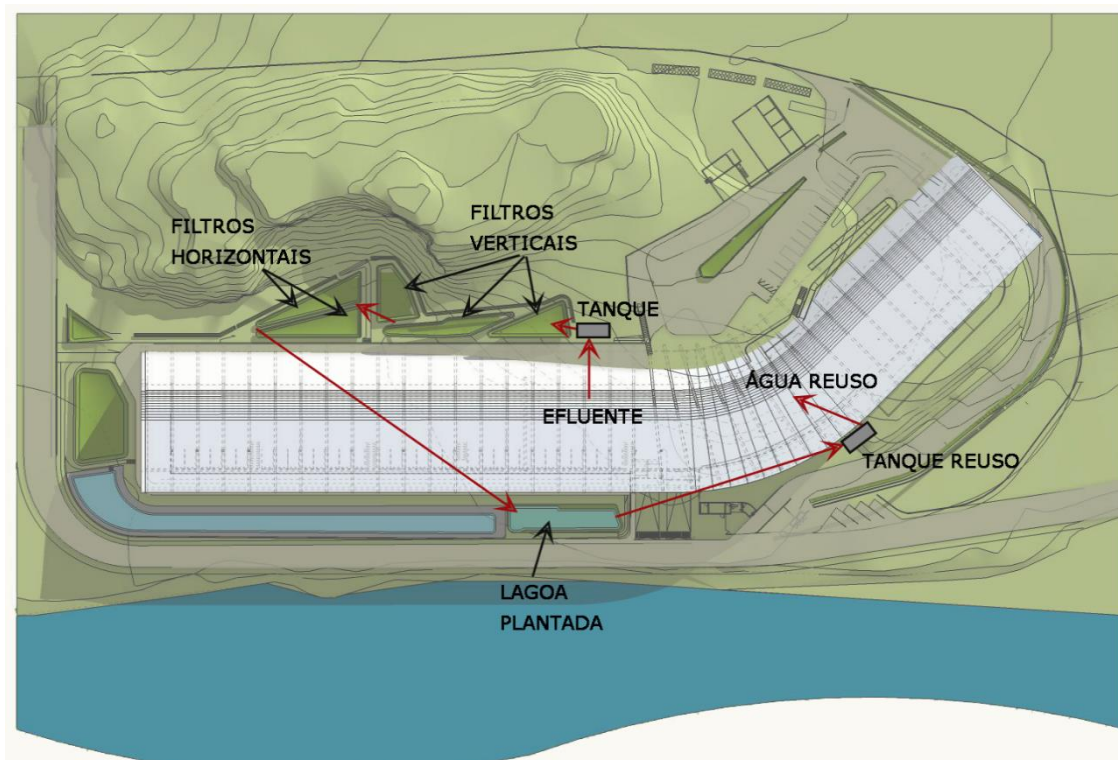
Figura 35. Escoamento natural das águas do site, drenagem do telhado e posicionamento dos dispositivos de chuva



Fonte: Elaborado pela autora

Ainda em atendimento à premissa de gestão das águas do site atrelada à infraestrutura verde, adotou-se o sistema de Jardins Filtrantes para o tratamento dos efluentes domésticos e industriais, ver Figura 36. A solução híbrida é composta por três etapas: (A) filtros verticais, (B) filtros horizontais e (C) lagoa plantada. Para distribuição desses jardins no terreno é fundamental o estudo solar, uma vez que a eficiência do sistema está diretamente atrelada à fotossíntese. Como a área livre à norte do terreno não era suficiente para a implantação das três etapas, optou-se por privilegiar as etapas A e B, pois além de serem os filtros com maior quantidade de plantas, são as fases mais críticas do tratamento devido ao recebimento de esgoto bruto (filtros verticais) e semi-tratado (filtros horizontais). A etapa C (lagoa plantada) foi locada na fachada sul, o que representou uma inovação na maneira de projetar ao fragmentar as etapas do sistema. A implantação da lagoa na fachada sul também favoreceu a composição da paisagem para o observador de dentro do prédio e facilitou a conexão com o tanque de reuso.

Figura 36. Fluxo de tratamento dos efluentes doméstico e industrial nos dispositivos de fitorremediação



Fonte: Elaborado pela autora

O desenho dos jardins que compõe a infraestrutura verde multifuncional projetada para o prédio, foi inspirada na organicidade do paisagismo nos sites internacionais e buscou homenagear um dos cartões-postais mais belos do Rio de Janeiro: o Pão de Açúcar. Para completar o partido da paisagem, o plano de plantação dos jardins compõe um desenho em ondas, referência aos cabelos ondulados das mulheres brasileiras e as praias da cidade.

4.2.2 DIRETRIZES DO DIMENSIONAMENTO

a) Águas Pluviais

O primeiro passo para o dimensionamento dos dispositivos de biorretenção das águas pluviais foi a análise do histórico pluviométrico da região. A diretoria de estudos e projetos, gerência de programas especiais e sistemas de alerta do Rio de Janeiro juntamente com a Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, lançou em 2014 (época de desenvolvimento do projeto), o relatório GEO-RIO/DEP/GPE - N.º 01/2014, com dados pluviométricos referentes ao ano de 2013 na cidade do Rio de Janeiro, ver Tabela 25.

Com base neste documento, a média anual de chuvas foi 127,9mm, a maior chuva em 24h foi 198mm e a maior chuva em 1h de precipitação foi 92,2mm, ambas em dezembro.

Tabela 25. Registros Pluviométricos do Sistema Alerta Rio para o ano de 2013

Estações Telepluviométricas	Registros Pluviométricos (mm) do Sistema Alerta Rio para o ano de 2013												TOTAL ANUAL	MÉDIA ANUAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		
Alto da Boa Vista	578,4	95,8	447,2	147,0	307,0	83,8	358,6	111,2	213,8	163,0	256,8	306,8	3069,4	255,8
Anchieta	380,8	116,8	187,2	76,8	49,2	23,4	76,2	4,6	54,2	71,6	196,6	380,8	1618,2	134,9
Av. Brasil/Mendanha	499,0	109,4	192,0	111,2	33,6	27,4	128,6	4,4	60,6	108,0	198,6	175,8	1648,6	137,4
Bangu	444,0	71,8	190,2	61,2	46,4	16,6	67,6	7,8	42,2	59,8	137,6	166,2	1311,4	109,3
Barra/Barrinha*	-	105,2	195,8	116,0	137,8	66,6	116,6	18,8	91,0	99,6	158,2	169,8	1275,4	115,9
Barra/Riocentro	276,8	91,6	208,4	101,8	135,8	75,0	121,8	27,6	79,6	69,6	128,2	191,8	1508,0	125,7
Campo Grande	507,8	125,4	203,0	157,8	79,0	55,0	108,2	10,0	56,6	75,0	155,6	114,2	1647,6	137,3
Copacabana	192,2	47,6	125,6	50,6	119,0	42,6	90,4	17,0	72,4	93,0	124,6	144,2	1119,2	93,3
Estrada Grajaú/Jacarepaguá	404,6	79,0	267,0	118,6	83,2	50,4	123,2	15,0	89,2	68,6	133,2	211,4	1643,4	137,0
Grajaú	383,4	100,4	283,6	74,0	95,0	31,6	85,6	24,6	66,0	78,4	122,2	260,8	1605,6	133,8
Grande Méier	456,4	122,6	259,8	65,4	58,4	24,0	69,8	11,4	55,6	64,6	135,4	267,6	1591,0	132,6
Grota Funda	362,0	165,6	187,4	145,2	162,2	75,2	141,2	26,8	88,2	58,8	138,2	124,6	1675,4	139,6
Guaratiba	213,4	116,6	132,0	89,8	50,0	48,4	71,6	6,6	54,8	47,0	116,2	56,4	1002,8	83,6
Ilha do Governador	267,2	78,8	249,0	61,6	31,8	25,2	64,2	5,2	59,6	61,6	145,8	188,0	1238,0	103,2
Irajá	376,8	108,2	191,6	75,8	51,2	32,8	75,0	2,2	71,8	63,6	163,4	340,6	1553,0	129,4
Jacarepaguá/Cidade de Deus	262,2	67,4	184,6	75,6	99,4	91,2	86,8	7,4	71,4	54,2	87,8	221,8	1309,8	109,2
Jacarepaguá/Tanque	380,4	83,4	179,4	108,4	61,4	62,4	101,4	4,2	67,6	51,8	131,0	316,0	1547,4	129,0
Jardim Botânico	301,4	63,2	221,8	90,8	184,8	67,2	122,8	36,8	74,2	87,2	152,6	173,4	1576,2	131,4
Laranjeiras	243,6	76,6	196,8	61,2	143,4	36,8	109,6	21,8	66,0	92,8	129,0	191,6	1369,2	114,1
Madureira	369,4	87,0	181,2	89,6	46,6	42,6	80,0	1,6	64,4	56,6	133,4	356,2	1508,6	125,7
Penha	294,0	85,4	185,6	72,4	30,8	20,8	68,6	4,4	64,4	61,8	140,8	266,4	1295,4	108,0
Piedade	347,2	85,8	231,0	74,2	34,8	23,0	61,2	1,8	54,2	48,4	120,0	305,2	1386,8	115,6
Recreio dos Bandeirantes	344,8	109,6	205,8	87,0	120,4	67,8	107,2	17,8	82,8	61,8	129,4	142,0	1476,4	123,0
Rocinha	402,0	70,6	251,0	105,2	230,0	132,8	214,6	74,4	130,8	100,8	190,4	198,6	2101,2	175,1
Santa Cruz	481,4	186,4	281,4	142,4	93,4	46,8	134,0	2,0	55,6	71,0	152,6	107,2	1754,2	146,2
Santa Teresa	304,2	83,4	210,6	73,2	149,0	37,0	133,0	18,8	62,6	78,0	133,0	210,2	1493,0	124,4
Saúde	285,8	79,8	184,2	82,0	70,0	26,6	103,2	9,8	65,0	64,0	121,4	199,0	1290,8	107,6
Sepetiba	227,2	93,4	122,4	68,4	86,8	46,8	103,8	4,8	44,6	50,6	151,4	74,8	1075,0	89,6
São Cristóvão	292,0	78,6	214,8	93,6	61,2	20,4	88,2	9,4	44,2	31,8	90,4	143,0	1167,6	97,3
Tijuca	353,8	83,4	358,0	85,0	169,2	42,6	171,8	22,2	75,0	88,8	138,4	221,0	1809,2	150,8
Tijuca/Muda	390,0	101,2	398,0	68,6	173,0	39,4	139,2	39,8	69,0	89,0	133,2	288,0	1928,4	160,7
Urca	256,4	60,4	155,6	40,4	132,0	45,6	83,2	16,0	66,6	77,0	114,0	144,6	1191,8	99,3
Vidigal	298,0	57,0	182,4	96,8	135,8	85,2	118,2	34,2	94,2	72,8	159,6	164,6	1498,8	124,9
Médias Pluviométricas da Rede Alerta Rio	349,3	93,6	220,1	89,9	104,9	48,9	112,9	18,8	73,0	73,4	143,0	206,7	1534,4	127,9

Fonte: Relatório Anual de Chuvas, produzidos pela Fundação Geo-Rio, 2013

Para entender mais a fundo o histórico de chuvas da cidade, foram levadas em consideração informações pluviométricas datadas desde 1997, portanto TR=5 anos (para época de desenvolvimento do projeto). O resultado da análise foi uma média anual entre 1997-2012 de 107mm de chuva, revelando uma diferença de +19,6% em relação à média anual de 2013, conforme Tabela 28.

Tabela 26. Comparativo entre a média mensal em 97/2012 e 2013

COMPARAÇÃO: Média Mensal da Rede em 97/2012 e Média Mensal da Rede em 2013													Média Anual da Rede
MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
Média Mensal da Rede - 97/12 (mm)	172,3	93,6	136,9	119,8	89,5	60,7	70,4	45,2	87,6	112,3	130,6	164,6	107,0
Média Mensal da Rede - 2013 (mm)	349,3	93,6	220,1	89,9	104,9	48,9	112,9	18,8	73,0	73,4	143,0	206,7	127,9
Diferença (mm)*	177,0	0,0	83,2	-29,9	15,4	-11,8	42,5	-26,4	-14,6	-38,9	12,4	42,1	20,9
Diferença (%)*	102,7	0,0	60,8	-25,0	17,2	-19,4	60,4	-58,4	-16,7	-34,6	9,5	25,6	19,6

* - Diferença entre a média mensal da Rede em 2013 e a média mensal da Rede no período de 1997 a 2012

Fonte: Relatório Anual de Chuvas, produzidos pela Fundação Geo-Rio, 2013

Esse estudo demonstrou que o ano de 2013 foi de grande intensidade pluviométrica quando comparado às médias históricas dos 5 anos anteriores, confirmando que os dados de 2013 representavam as máximas e, portanto, era seguro adotar os números como base de dimensionamento. Para tanto, utilizou-se a maior chuva em 1h de precipitação, pois o objetivo principal era a dessincronização do pico de chuva e armazenamento para melhoria da qualidade da água (fitorremediação) e posterior reuso e infiltração.

Evento de chuva adotado= 92,2mm/1h, TR=5 anos

Tabela 27. Relatório de chuva do mês de dezembro 2013, Rio de Janeiro

SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS			
FUNDAÇÃO GEO-RIO			
Relatório do Mês de Dezembro – 2013			
Média Histórica* (fonte INMET 1966-1990):		Dezembro	134,2 mm
Média de 2013 (fonte GEO-RIO):			206,8 mm
Média de 2012 (fonte GEO-RIO):			44,1 mm
ESTAÇÕES	Precipitação no mês (mm)	Chuva máxima em 24 horas (mm)	Chuva máxima em 1 hora (mm)
1 Vidigal	164,6	76,2	61,2
2 Urca	144,6	70,2	40,4
3 Rocinha	198,6	81,2	64,6
4 Tijuca	221,2	120,4	42,4
5 Santa Tereza	210,2	129,8	32
6 Copacabana	144,2	81,6	31,2
7 Grajaú	260,8	133,4	63,2
8 I. Governador	188	129,2	36,8
9 Penha	266,4	179,2	39,6
10 Madureira	356,2	198	60,4
11 Irajá	340,6	190,4	49,2
12 Bangu	166,2	86,8	30,8
13 Piedade	305,2	185	60,8
14 Jacarepaguá/Tanque	316	150,4	64,4
15 Saúde	199	131,8	44,2
16 Jd. Botânico	173,4	75,8	56,6
17 Barra/Itanhangá	169,8	76,4	23
18 Jacarepaguá/Cid.de Deus	221,8	106,4	49,8
19 Barra/Riocentro	192	97,6	40,6
20 Guaratiba	56,4	21,6	10,2
21 Est.Grajaú/ Jacarepaguá	211,4	83,2	63,2
22 Santa Cruz	107,2	24	19
23 Grande Méier	267,6	164,4	44,4
24 Anchieta	381	196,4	59,2
25 Grota Funda	124,6	64,4	42,2
26 Campo Grande	114,2	34,2	21
27 Sepetiba	74,8	30,6	14,2
28 Alto da Boa Vista	306,8	134,8	77,8
29 Av.Brasil/Mendanha	176	87,6	29,6
30 Recreio dos Bandeirantes	142,2	65,2	31,2
31 Laranjeiras	191,6	109	40,8
32 São Cristóvão	143	86,4	18,4
33 Tijuca/Muda	288	117,2	92,2

* Estação Rio de Janeiro (Aterro do Flamengo)
Maior Precipitação Registrada

Fonte: Relatório Anual de Chuvas, produzidos pela Fundação Geo-Rio, 2013

A segunda etapa do dimensionamento foi o traçado das áreas de contribuição do terreno e os respectivos coeficientes de escoamento, determinados pela permeabilidade do solo. No caso, foram considerados os coeficientes: 0,05 para pavimento intertravado permeável aplicado na rua de acesso interna ao prédio e estacionamento; 0,2 para áreas de terreno natural, pois o solo do Rio de Janeiro possui muita vegetação entre rochas; 1,0 para cobertura que é totalmente impermeável, conforme dados na Tabela 28.

Tabela 28. Áreas de contribuição do site e volume de chuva esperado

Área de Contribuição	Áreas Reais (m ²)	Coeficiente de Escoamento	Áreas Ativas (m ²)	Volume de Chuva (m ³)
Terreno natural	5073,31	0,20	1014,66	93,55
Rua de acesso e estacionamento	3125,12	0,05	156,26	14,41
Cobertura do prédio	6250,25	1	6250,25	576,27
TOTAL				684,23

Fonte: Elaborado pela autora

Sabendo que, para o evento de chuva escolhido, a expectativa é de 685m³ de água pluvial no site, primeiramente foi dimensionada a bacia de retenção, que deveria ter capacidade para armazenamento integral do volume precipitado, ou seja:

$Volume\ da\ bacia\ de\ retenção = 685m^3$
--

Para o dimensionamento do jardim de chuva, considerou-se a relação 1:1 entre volume e área, ou seja, a cada 1m³ de chuva é necessário 1m² de jardim de chuva para melhoria da qualidade da água. Essa relação provém de estudos desenvolvidos pela Phytorestore na França, nos quais foi concluído que a água pluvial (em ambientes urbanos) precisa entre 15 a 20min de retenção no jardim de chuva para apresentar as primeiras melhorias em qualidade. Dessa forma, desenvolveu-se o seguinte raciocínio:

Considerando o jardim de chuva com 1m de profundidade, preenchido com brita nº2:

Coefficiente de permeabilidade da brita= 0,3

A cada 1m³ de jardim, é possível armazenar 0,3m³ de água

Para o evento de chuva escolhido= 685m³/1h, por regra de três, temos que em 18min precisaríamos armazenar 205,5m³ de água

685m³ → 1h

X m³ → 18min (0,3h)

X= 205,5m³

Ou seja:

205,5m³ de água armazenada representam 0,3m³ do volume total do jardim devido a permeabilidade da brita, por regra de três, o volume total do jardim deve ser 685m³

205,5m³ → 0,3m³ de jardim

X m³ → 1m³ de jardim

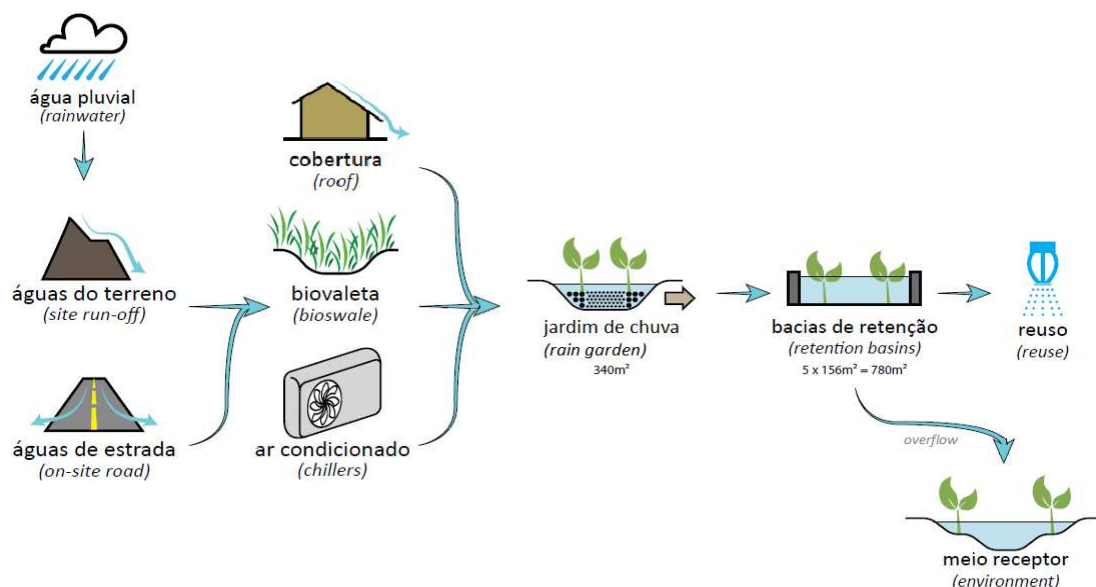
X= 685m³

Como a profundidade do jardim é 1m, seriam necessários 685m² de zona de raízes, confirmando a proporção 1:1. Para a opção de 15min (0,25h) de retenção, a proporção diminuiria para 1:0,83, demandando uma área de 570m² e assim por diante. Nesse momento, foi preciso verificar a área de implantação disponível no projeto.

Área do Jardim de Chuva= 685m²

Como as biovaletas tinham como objetivo, neste projeto, o encaminhamento desacelerado das águas pluviais, foi considerada inclinação máxima de 0,01%, sendo que em trechos cujo terreno tem inclinação superior a esse valor, as biovaletas devem ser fragmentadas e compensadas em altura para interligação, como um efeito cascata. Todos os dispositivos de biorretenção têm um extravasor (*overflow*) para que em eventos chuvosos superiores ao estimado não haja alagamento.

Figura 37. Esquema de distribuição das águas pluviais pelos dispositivos de fitorremediação



Fonte: Adaptado pela autora de acervo cedido pela Phytoresource

b) Efluentes Doméstico e Industrial

O dimensionamento dos Jardins Filtrantes para tratamento dos efluentes domésticos e industriais do Centro de Pesquisa e Inovação tomou como base os dados estimados para dinâmica de trabalho nos laboratórios internacionais e hábitos regionais de consumo de água per capita para atividades como restaurante e banheiros, uma vez que as atividades no Brasil ainda não tinham sido estabelecidas.

Para tanto, foi considerada população fixa de 400 pessoas entre funcionários e terceiros, e 150 visitantes, compondo a população flutuante diária, no total são 650 pessoas. Segundo a cartilha de águas da Federação do Comércio de Bens, Serviços e Turismo do Estado de São Paulo (FecomercioSP), o consumo de água varia de 50 a 80 litros/hab.dia. Dessa forma foi considerado o cenário mais crítico por ser um centro de pesquisa com laboratório para desenvolvimento de novos produtos. Ou seja, a vazão diária de efluente doméstico e industrial estimada para o dimensionamento do sistema de tratamento foi 52.000L/dia, ou 52m³/dia. Esse número é importante para o dimensionamento do tanque de aeração e recebimento, conforme demonstrado abaixo:

650 habitantes x 80 litros/hab.dia = 52.000 litros/dia
Considerando 8 horas de geração de efluente por dia, devido ao horário comercial de funcionamento do Centro de Pesquisa e Inovação:
 $52\text{m}^3/\text{dia} \div 8\text{h}/\text{dia} = 6,5\text{m}^3/\text{h}$ (vazão média diária)
Considerando que na vazão de pico (almoço), a vazão média seja duplicada por hora, temos:
 $6,5\text{m}^3/\text{h} \times 2 = 13\text{m}^3/\text{h}$ (vazão de pico do dia)
Foi considerado que a vazão de pico duraria 2 horas, assim o volume do tanque tem que ser capaz de armazenar 26m³ de efluente bruto

Por outro lado, a caracterização dos efluentes foi estimada em duas etapas, integrada ao projeto de arquitetura para levantamento da quantidade de vasos sanitários, pias, estações de trabalho no laboratório, chuveiros para testes dos produtos e movimentação no restaurante. Na primeira etapa a caracterização do efluente doméstico foi estimada com base nas características físico-químicas dos esgotos fornecidas por (METCALF AND EDDY, 1991), ver Tabela 29. Na segunda etapa, foram analisadas as características do efluente industrial dos centros de pesquisa internacionais, ajustando ao ritmo de trabalho esperado para o Brasil. Abaixo, a estimativa total para caracterização do efluente misturado:

Tabela 29. Estimativa de caracterização do efluente misturado

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR
DBO _{5,20} (concentração)	mg/l	400,00
DBO _{5,20} (carga)	g/dia	20800
DQO (concentração)	mg/l	1000,00
DQO (carga)	g/dia	52000
SST (concentração)	mg/l	600,00
SST (carga)	g/dia	31200
N _{amoniaco} (concentração)	mg/l	33,70
N _{amoniaco} (carga)	g/dia	1752,4
Fósforo Total (concentração)	mg/l	26,67
Fósforo Total (carga)	g/dia	1386,667
O&G Total (concentração)	mg/l	115,00
O&G Total (carga)	g/dia	5980

Fonte: Elaborado pela autora

Após a estimativa de vazão e caracterização dos efluentes doméstico e industrial, foi necessário fazer a conversão desses dados para a unidade de equivalente habitante (EH), ou equivalente populacional (EP). Esse termo é usualmente utilizado na área do saneamento como um valor de referência para a relação carga orgânica biodegradável por habitante da aglomeração. Por padrão, segundo a NBR 12209 - Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário, adota-se 54 g de DBO_{5,20}/hab.dia. Em continuidade, segundo Dacach, 1084 o equivalente habitante (EH) pode ser definido como:

EH= Di/Dh, onde:

EH= equivalente habitante ao esgoto de uma indústria, por exemplo (hab)

Di= demanda diária (g)

Dh= demanda de oxigênio devido a DBO adotada como mínimo, neste caso 54g/hab.dia

$$20.800 \text{ g (carga prevista na caracterização do efluente)} \div 54 \text{ g de DBO}_{5,20}/\text{hab.dia} = 385,19 \text{ EH}$$

A relação entre equivalente habitante e área de tratamento nos sistemas de *wetlands* construídos varia de acordo com a prática e conhecimento único de cada empresa ou pesquisador. A Phytorestore Brasil, responsável pelo projeto do caso em questão, aplicou uma relação EH:m² de $\approx 1,5\text{m}^2$ para cada unidade de EH. Esse número não é um padrão à ser replicado, pois cada solução é única e leva em consideração uma gama de parâmetros, principalmente as espécies vegetais, que fazem parte de conteúdo confidencial da tecnologia.

$$1,5m^2/EH \times 385 EH = 578m^2$$

Conforme os cálculos acima, a área total de tratamento por fitorremediação é de 578m², distribuídos em três filtros verticais de 116m²/cada e dois filtros horizontais, igualmente 116m²/cada. Da mesma maneira, a proporção de distribuição da área dimensionada entre as tipologias de filtros atende uma relação de conhecimento específico e prática de cada empresa ou pesquisador. Neste caso – novamente, não é um padrão a ser replicado – a relação foi 0,9 FV:0,6 FH, totalizando 1,5 na área total.

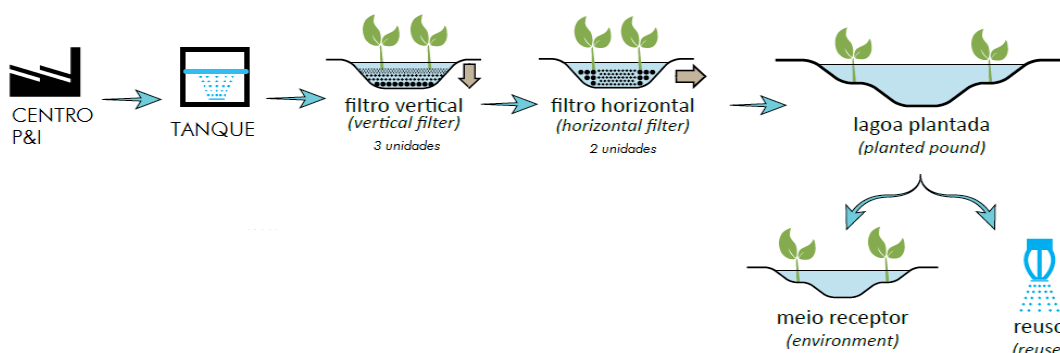
$$\begin{aligned} \text{Área total de Filtros Verticais} &= 0,9m^2/EH \times 385 EH = 346,5m^2 \text{ (dividida em 3 filtros de } 116m^2/\text{cada)} \\ \text{Área total de Filtros Horizontais} &= 0,6m^2/EH \times 385 EH = 231m^2 \text{ (dividida em 2 filtros de } 116m^2/\text{cada)} \end{aligned}$$

Para completar o dimensionamento do sistema, a Lagoa Plantada, última etapa, segue uma lógica diferente no cálculo de áreas. Por se tratar de uma etapa onde o tratamento já não é mais realizado integralmente na zona de raízes e, portanto, não depende da relação de degradação de carga orgânica por área, o dimensionamento da lagoa plantada não é feito por equivalente habitante (EH) e sim por tempo de detenção hidráulico (TDH). O TDH deve ser suficiente para penetração e dissolução do oxigênio, sedimentação, estabilização da matéria orgânica residual (das etapas anteriores) e desinfecção por exposição da água aos raios solares UV. A Phytorestore Brasil definiu, de forma exclusiva para este projeto, um TDH de três dias, ou seja, a vazão diária de projeto deve ser armazenada na lagoa durante três dias:

$$\begin{aligned} \text{Volume da Lagoa Plantada} &= 52m^3/d \times 3 \text{ dias} = 156m^3 \text{ (armazenamento)} \\ \text{Considerando a profundidade média da lagoa de } 0,8m: \\ \text{Área de lâmina d'água da Lagoa Plantada} &\approx 195m^2 \end{aligned}$$

O dimensionamento dos sistemas, tanto pluvial quanto efluentes, determina os números mínimos à serem atendidos para garantir eficiência, porém como se trata de um projeto integrado entre paisagem e arquitetura, as áreas acabam sendo um pouco maiores de acordo com o processo criativo e desenho no terreno. Além disso, na área total de intervenção foram incorporados taludes, caminhos e pontos de vistoria (PV) da tubulação enterrada, inclusive caixas de passagem para manobra de válvulas.

Figura 38. Fluxo de tratamento dos efluentes pelos dispositivos de fitorremediação



Fonte: Adaptado pela autora de acervo cedido pela Phytoresource

4.2.3 ELEMENTOS DO PROJETO

A concepção para o projeto do Centro de Pesquisa & Inovação teve como uma das premissas as metas de sustentabilidade ecológica relacionadas à implantação e operação do site. Dessa maneira a questão de manejo das águas pluviais e residuais foram extremamente importantes para aprovação do empreendimento. No total, são 30.000 m² de terreno, dos quais 15.800 m² são áreas verdes e 2.850 m² são áreas filtrantes. As áreas de fitorremediação estão distribuídas em diferentes tipologias espalhados pelo terreno, compondo a infraestrutura verde do site para gestão das águas pluviais e águas residuais, conforme áreas na Tabela 30.

Tabela 30. Tipologias dos elementos que compõe o projeto

TIPOLOGIA		ÁREA _{MÍN} (m ²) ²⁰	ÁREA _{REAL} (m ²) ²¹	VOL (m ³) ²²
Manejo das Águas Pluviais (MAP)	1- Biovaletas (BV)	-	236,39	354,5
	2- Jardim de Chuva (JC)	570	570,47	570,47
	3- Bacia de Retenção (BR)	442 -ou 685m ³	974,87	1.511
	0- Tanque de aeração	6,5 -ou 26m ³	11,25	45
Jardins Filtrantes (JF)	A- Filtros verticais (FV) e B- filtros horizontais (FH)	580	586,46	109,23
	C- Lagoa Plantada (LP)	195	204,35	163,6

²⁰ Área mínima corresponde à área calculada no dimensionamento e representa o mínimo para garantir a eficiência do sistema, além disso essa área engloba apenas a área filtrante, desconsiderando os caminhos técnicos ao redor dos jardins, taludes e demais áreas de paisagismo complementar.

²¹ Área real corresponde à área construída em integração com o terreno e com o projeto de arquitetura, também representa apenas a área filtrante.

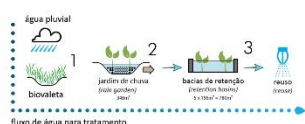
²² Volume de armazenamento real, não considera a borda livre de segurança. Nos jardins, o volume de armazenamento considera apenas volume livre de permeabilidade entre as britas, neste caso, 30% do volume total.

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 39. Infográfico ilustrativo com a divisão entre os dispositivos para manejo das águas pluviais e dispositivos para tratamento de efluentes

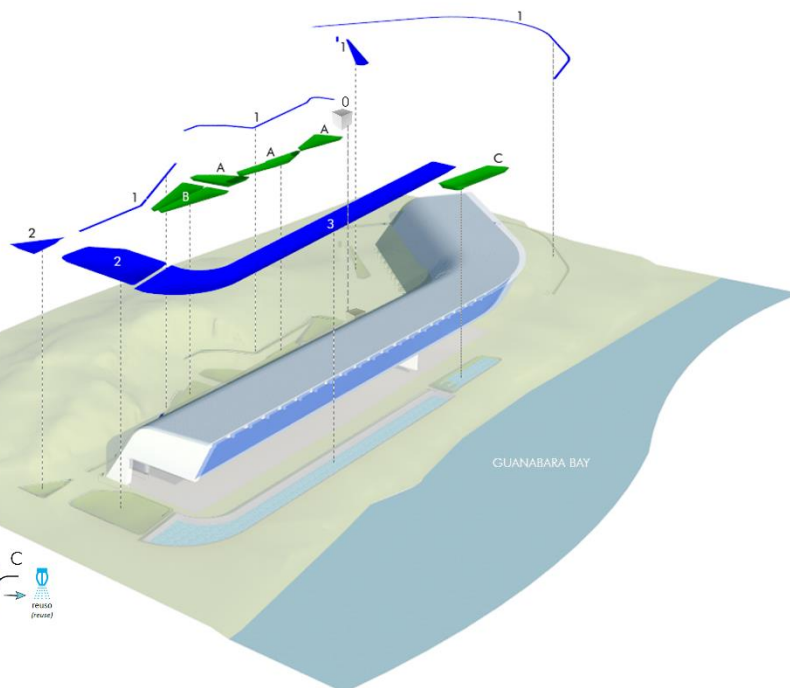
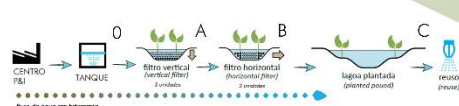
MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS
(TELHADO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL)
rainwater filtering gardens
(roof and streets runoff)

- 1- BIOVALETAS bioswales
- 2- JARDIM DE CHUVA rain garden
- 3- BACIA DE RETENÇÃO retention basin



JARDINS FILTRANTES PARA TRATAMENTO
(EFFLUENTE INDUSTRIAL E DOMÉSTICO)
wastewater filtering garden
(industrial effluent and sewage)

- 0- TANQUE DE AERAÇÃO aeration tank
- A- FILTROS VERTICAIS vertical filters
- B- FILTROS HORIZONTAIS horizontal filters
- C- LAGOA PLANTADA planted pond



Fonte: Adaptado pela autora com base em acervo cedido pela Phytoresource

a) Biovaletas (BV)

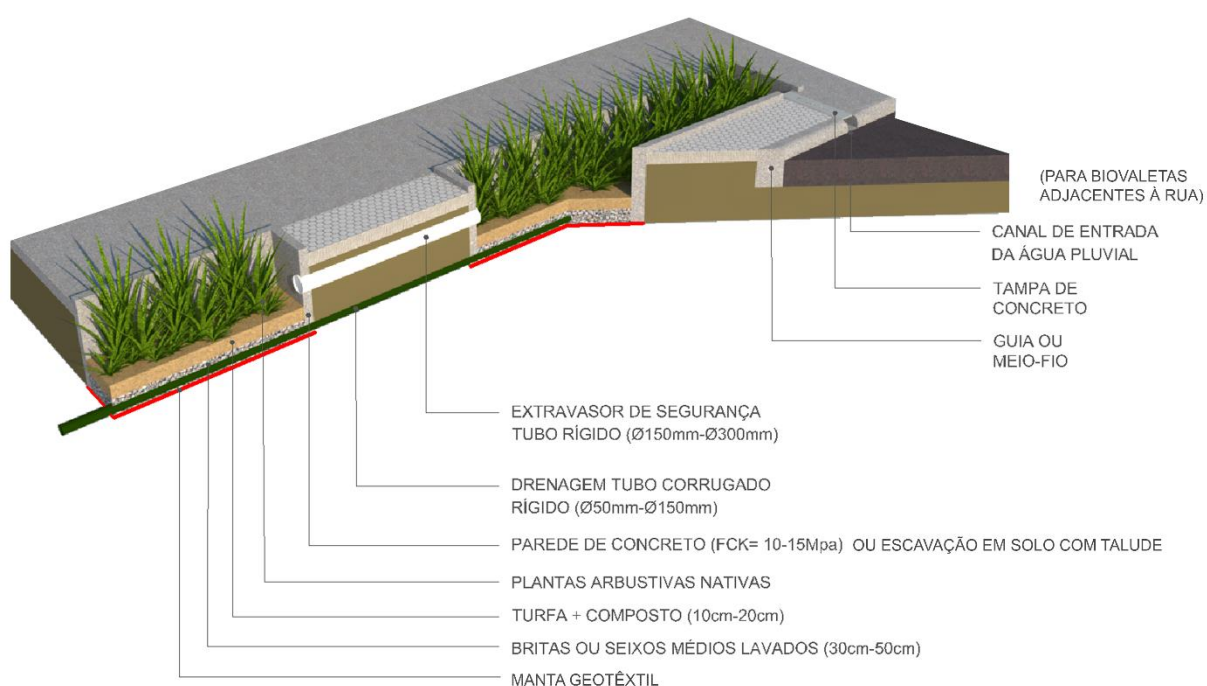
As biovaletas distribuídas pelo site são responsáveis pelo lento escoamento das águas pluviais, visando o amortecimento dos picos de chuva, baixo impacto à jusante e transporte ao jardim de chuva (JC). Durante esse processo, devido ao lento escoamento, o fenômeno de fitorremediação e filtragem mecânica promovem a melhoria da qualidade da água, além de favorecer a infiltração no solo.

São valas lineares escavadas no solo, preenchidas com britas ou seixos médios (granulometria entre 19-38 mm), sendo que entre a camada de solo e a camada de britas, existe uma camada separadora composta por manta geotêxtil. Acima das britas, há ainda uma camada de turfa fértil, material de origem vegetal formado pela deposição de restos de plantas em terrenos alagadiços. A turfa é um material com elevado percentual de matéria orgânica (cerca de 90%), que, incorporado ao solo, aumenta a atividade microbiana. Além disso, a Capacidade de Retenção de Água (CRA) da turfa é alta, cerca de 300-700% do seu peso em água, o que faz com que a umidade próxima às raízes seja mantida por um período prolongado.

Assim, mesmo em período de estiagem ou deficiência hídrica, a planta terá água e nutriente em maior disponibilidade.

As macrófitas são plantadas diretamente na turfa, desenvolvendo sua área de raízes entre turfa e britas. No fundo da vala, tubulações corrugadas para drenagem, preferencialmente em PVC (Policloreto de polivinila), são instaladas para facilitar o escoamento por seção livre. Além disso, entre uma biovaleta e outra, quando há recortes, são instaladas tubulações de overflow (ver detalhes em APÊNDICE B), ou transborde de segurança, acima do nível da turfa, permitindo que a água escoe mais rapidamente até o ponto de despejo em eventos chuvosos acima do valor adotado em projeto.

Figura 40. Seção perspectivada de uma biovaleta



Fonte: Adaptado pela autora com base em acervo cedido pela Phytorestore

b) Jardim de Chuva (JC)

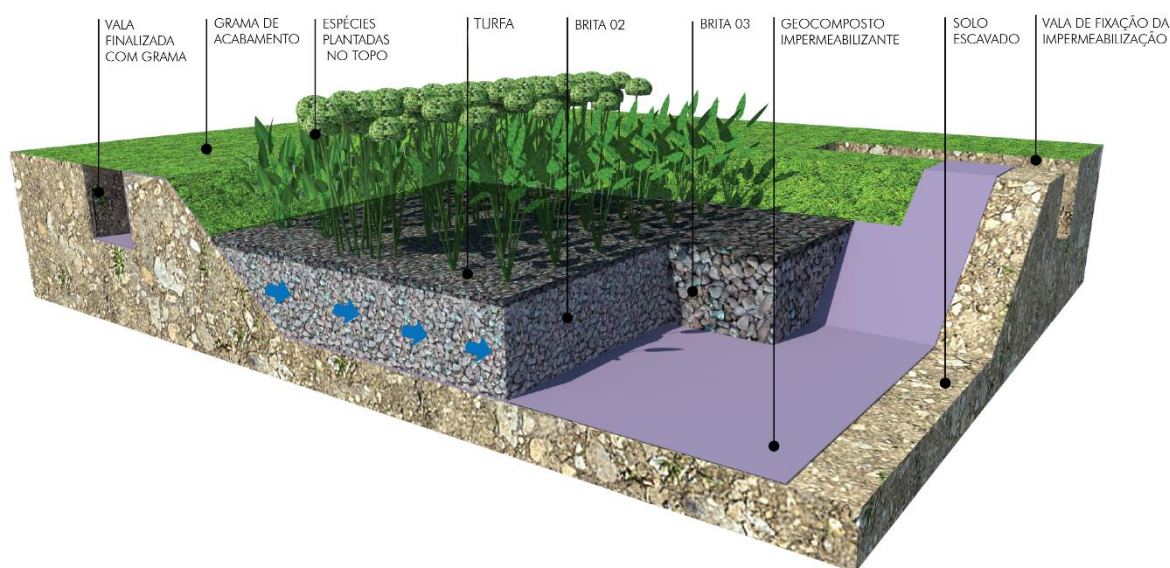
O jardim de chuva, localizado na ala oeste do terreno, recebe a água transportada pelas biovaletas (BV) e a drenagem da cobertura do edifício. É responsável pela amortização do pico de chuva, armazenamento e melhoria da qualidade das águas pluviais. Por se tratar de um jardim destinado ao acúmulo de água, o ambiente que se desenvolve no substrato (ou meio suporte) é anóxico, promovendo o crescimento do biofilme bacteriano anaeróbico na rizosfera.

Nessas condições os mecanismos da fitorremediação reduzem as concentrações de DQO, DBO, N, P e SO₄.

A composição do jardim de chuva é muito semelhante ao filtro de fluxo sub-superficial horizontal. Construído em escavação no solo, o jardim de chuva foi impermeabilizado com o triplo complexo impermeabilizante geotêxtil-PEAD-geotêxtil (ver detalhes em APÊNDICE C) e preenchido com material granular médio (19-38 mm). Acima da camada de brita é opcional a colocação de uma fina camada de turfa, dependendo das características pluviométricas da região, torna-se uma medida de segurança para que as plantas não sofram tanto com a escassez. Neste caso, como o plantio foi realizado em época de chuvas, as macrófitas foram plantadas diretamente na brita e permanecem em ambiente alagado à menos que a taxa de evapotranspiração seja maior que os eventos chuvosos. Em caso de seca completa, o sistema possui um modo operacional que permite a recirculação da água tratada da lagoa plantada para o jardim de chuva.

A composição das instalações hidráulicas no interior do jardim de chuva se resume aos tubos PVC de alimentação (chegada na parte superior da brita) e drenagem (tubulação com rasgos no fundo – ver detalhes em APÊNDICE H). A drenagem é controlada por válvula, para o caso de alguma manutenção/operação que exija o esvaziamento do jardim, caso contrário a saída de água ocorre por extravasão (*overflow*) na parte de superior da brita através de uma caixa com tampa em grelha (ver detalhes em APÊNDICE F).

Figura 41. Seção perspectivada de um jardim de chuva



Fonte: Adaptado pela autora com base em acervo cedido pela Phytorestore

c) Bacia de Retenção (BR)

A bacia de retenção, localizada na parte sul do terreno, recebe a água proveniente do jardim de chuva (JC). Sua principal função é a dessincronização entre escoamento superficial e pico de chuva, infiltração e recarga do lençol freático, armazenamento e retenção. A bacia de retenção foi projetada para abrigar vegetação adaptada às situações de rápido alagamento e maiores períodos de seca, sendo que o paisagismo foi desenhado para compor ilhas, com rochas implodidas na própria obra, quando a bacia estivesse alagada. As espécies que suportam maior tempo e/ou lâmina d'água de alagamento foram recomendadas para plantio no fundo da bacia de retenção, direto no solo, conforme a tolerância ia diminuindo, gradualmente as espécies deveriam ser plantadas mais próximas à superfície das ilhas.

Tabela 31. Espécies resilientes ao meio aquático variável

ESPÉCIE	FAMÍLIA	BIOMA	SOLO	LÂMINA D'ÁGUA (Máxima)	HORAS ENCHARCAMENTO	Recomendação
Chapéu de Couro <i>Echinidorus sp</i>	Alismataceae	Restinga, Diversos	Latossolo amarelo, Hidromórfico	0,40m	72 horas	10
Sagitaria <i>Sagitaria sagittifolia</i>	Alismataceae	Restinga, Diversos	Hidromórfico	0,40m	Dias	10
Amarilis vermelho <i>Hippeastrum stylosum</i>	Amarillydaceae	Restinga	Arenoso, Hidromórfico	0,30m	24 horas	9
Pacová <i>Phylodendron martianum</i>	Araceae	Restinga, diversos	Hidromórfico	0,30m	24 horas	8
Aninga acú <i>Montrichardia linifera</i>	Araceae	Restinga, Diversos	Arenoso, Latossolo amarelo, Hidromórfico	2,0m	dias	10
Guaimba do Brejo <i>Phylodendron brasiliensis</i>	Araceae	Restinga, diversos	Latossolo amarelo, Hidromórfico	1,0m	dias	10
Erva Capitão <i>Hydrocotyle bonariensis</i>	Araliaceae	Restinga	Arenoso	0,40m	24 horas	10
Aricanga do Brejo <i>Geonoma schottiana</i>	Arecaceae	Restinga	Hidromórfico	2m	72 horas	10
Guriri <i>Allagoptera arenaria</i>	Arecaceae	Restinga	Arenoso	0,40m	12 horas	7
Picão da Praia <i>Spagneticola trilobata</i>	Asteraceae	Restinga, diversos	Latossolo amarelo, Hidromórfico	1,50m	24 horas	10
Caixeta <i>Tabebuia cassinoides</i>	Bignoniaceae	Restinga	Hidromórfico	2m	meses	10 A

Samambaia vermelha <i>Baccharis singularis</i>	Blechnaceae	Restinga, diversos	Arenoso, Latossolo amarelo, Hidromórfico	0,20 m	dias	10
Erva balleira <i>Cordia curassavica</i>	Boraginaceae	Restinga, Cerrado	Arenoso, Latossolo amarelo, Hidromórfico	0,50m	72 horas	10
Clúsia <i>Clusia fluminensis</i>	Cluseaceae	Restinga	Arenoso, Latossolo amarelo, Hidromórfico	0,50m	48 horas	10
Abaneiro <i>Clusia hilariana</i>	Clusiaceae	Restinga	Arenoso, Hidromórfico	1,50m	72 horas	10
Clúsia grande <i>Clusia hilariana</i>	Clusiaceae	Restinga	Arenoso, Hidromórfico	2,0m	dias	10 A
Corda de viola rosa <i>Ipomoea triloba</i>	Convolvaceae	Restinga	Arenoso	0,10m	12 horas	10
Campainha <i>Ipomoea cairica</i>	Convolvulaceae	Restinga	Arenoso	0,10m	12 horas	10
Campainha branca <i>Ipomoea imperati</i>	Convolvulaceae	Restinga	Arenoso	0,10m	24 horas	10
Salsa da praia rosa <i>Ipomoea pescaprae</i>	Convolvulaceae	Restinga	Arenoso	0,30m	24 horas	10
Eleocharis <i>Eleocharis sp</i>	Cyperaceae	Restinga, Diversos	Latossolo amarelo, Hidromórfico	1,0m	dias	10
Cavalinha Gigante <i>Equisetum giganteum</i>	Equisetaceae	Restinga, Diversos	Latossolo amarelo, Hidromórfico	0,50m	72 horas	10 (invasora)
Ponta Dura <i>Gaylussacia brasiliensis</i>	Ericaceae	Restinga	Hidromórfico	0,60m	48 horas	9
Canudo de Pito <i>Senna pendula</i>	Fabaceae	Restinga, diversos	Latossolo amarelo, Hidromórfico	0,80m	48 horas	10 A

Esponjinha <i>Abarema brachystachya</i>	Fabaceae	Restinga	Arenoso, Hidromórfico	0,40m	24 horas	8
Grama Amendoim <i>Arachys repens</i>	Fabaceae Leguminosae	Diversos	Latossolo amarelo, arenoso	0,80m	12 horas	10
Meladinha, <i>Stylosanthes viscosa</i>	Faboideae	Restinga, Dunas	Arenoso	0,50m	12 horas	7
Planta canhota <i>Scaevola plumieri</i>	Goodeniaceae	Restinga	Arenoso	1,00m	12 horas	8
Iris Neomarica <i>Neomarica gracilis</i>	Iridaceae	Restinga	Arenoso, Hidromórfico	0,20m	12 horas	10
Junco <i>Juncus sp</i>	Juncaceae	Restinga, Diversos	Latossolo amarelo,Hidromórfico	0,60m	dias	10
Cebolama <i>Crinum sp</i>	Liliaceae	Restinga, Diversos	Latossolo amarelo,Hidromórfico	0,20m	12 horas	9
Flor do Guarujá <i>Turnera ulmifolia</i>	Malvaceae	Restinga	Arenoso	0,50m	24 horas	8
Hibisco do mangue <i>Hibiscus pernanbucensis</i>	Malvaceae	Restinga, diversos	Latossolo amarelo,Hidromórfico	2,0m	dias	9 A
Algodão da praia <i>Hibiscus tiliaceus</i>	Malvaceae	Restinga, diversos	Latossolo amarelo,Hidromórfico	2,0m	dias	9 A
Talia <i>Thalia delbata</i>	Maranthaceae	Restinga, Diversos	Latossolo amarelo,Hidromórfico	0,50m	72 horas	10
Trevo de quatro folhas <i>Marsilea sp</i>	Marsileaceae	Restinga, Diversos	Hidromórfico	0,20m	Dias	10
Quaresmeira da Praia <i>Pteroleps glomerata</i>	Melastomataceae	Restinga	Hidromórfico	0,20m	48 horas	9 (invasora)

Orelha de Onça <i>Tibouchina clavata</i>	Melastomataceae	Restinga, diversos	Arenoso, Latossolo amarelo,Hidromórfico	0,50m	24 horas	9
Orelha de onça pequena <i>Tibouchina asperior</i>	Melastomataceae	Restinga, Diversos	Arenoso, Latossolo amarelo,Hidromórfico	0,30m	24 horas	8
Ninfóide <i>Nymphoide indica</i>	Menyanthaceae	Restinga, Diversos	Latossolo amarelo,Hidromórfico	0,20m	Dias	10
Papagaio <i>Heliconia psitacorum</i>	Musaceae	Restinga, diversos	Latossolo amarelo,Hidromórfico	0,50m	72 horas	10
Pitanga Preta da Restinga <i>Eugenia sulcata</i>	Myrtaceae	Restinga	Arenoso	0,20m	12 horas	7
Cruz de Malta <i>Ludwigia sp</i>	Onagraceae	Restinga, Diversos	Latossolo amarelo,Hidromórfico	1,0m	Dias	10
Palmito <i>Euterpe edulis</i>	Palmae	Restinga, diversos	Arenoso, Latossolo amarelo,Hidromórfico	2,0m	dias	10 A
Açaí <i>Euterpe oleraceae</i>	Palmae	Restinga, diversos	Arenoso, Latossolo amarelo,Hidromórfico	2,0m	dias	10
Capim do breij <i>Panicum subulatum</i>	Poaceae	Restinga	Latossolo amarelo	0,10m	48 horas	7 (Muito invasora)
Rabo de Burro <i>Andropogon bicornis</i>	Poaceae	Restinga, diversos	Arenoso, Latossolo amarelo,Hidromórfico	0,20 m	dias	7
Pontederia azul <i>Pontederia lanceolata</i>	Pontederiaceae	Restinga, Diversos	Hidromórfico	0,50m	Dias	10
Samanbaia do Mangue <i>Acrostichum danaeifolium</i>	Pteridaceae	Restinga	Arenoso, Hidromórfico	0,20m	dias	10
Tabôa <i>Typha dominguensis</i>	Thyphaceae	Restinga, diversos	Latossolo amarelo,Hidromórfico	1,0m	anos	9 (invasora)

Fonte: Cedido por Phytorestore, acervo privado

d) Tanque de Aeração

O tanque de aeração, localizado na porção norte do terreno compõe a primeira etapa do tratamento de efluentes. Sua principal função é o armazenamento temporário do efluente proveniente do poço de esgoto do prédio e pela aeração do líquido através de agitação

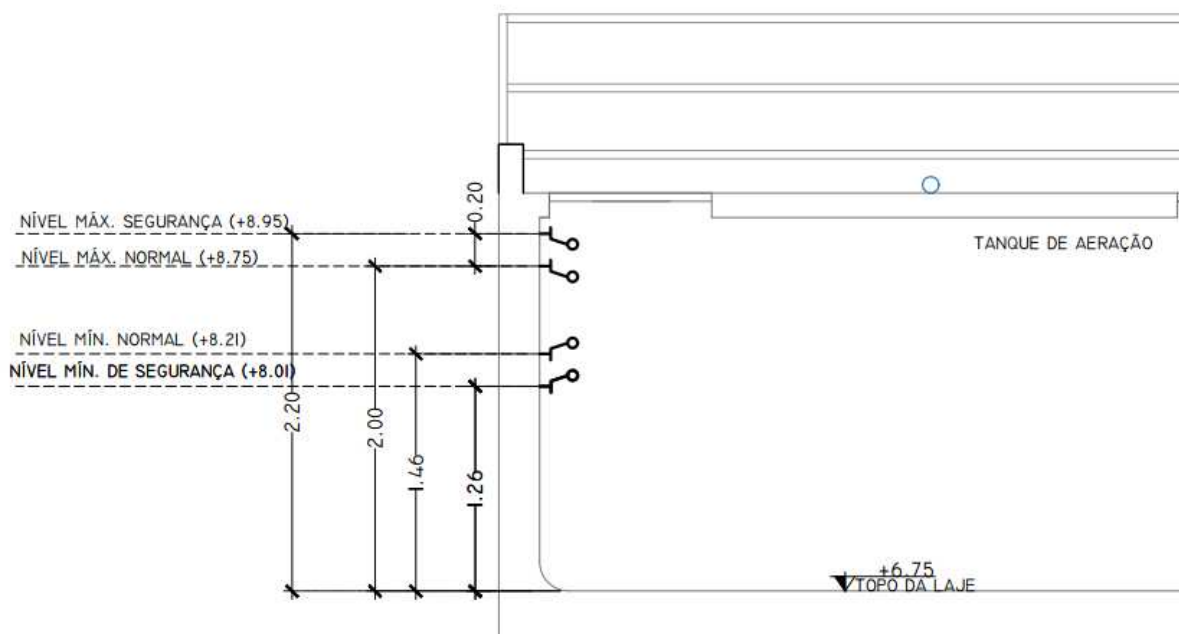
com ar inserido (aerador Venturi submersível). A aeração constante é fundamental para manter o ambiente aeróbico, evitando odores, além de favorecer a suspensão de micropartículas sólidas, evitando a sedimentação. Foram instalados dois aeradores, pois sempre é recomendado ter um equipamento reserva (*backup*), porém não é recomendado que fique sem uso, dessa maneira os aeradores funcionam paralelamente e simultaneamente durante períodos de 1h45 e 15 min de intervalo (desligamento). Os intervalos de desligamento não podem ser coincidentes para os dois aeradores, evitando que o efluente fique sem oxigenação. No caso de ausência de efluente no tanque, os aeradores devem ser desligados para evitar a queima dos equipamentos.

A alimentação do filtro vertical (FV) é feita de forma controlada, por bateladas, isso significa que o esgoto é liberado para o jardim toda vez que o volume de projeto é atingido no tanque. Esse sistema de controle por bateladas automatizado através de boias de nível, como uma caixa d'água. Para isso, são fixadas quatro boias de nível: (1) nível mínimo; (2) nível máximo; (3) nível mínimo de segurança, caso a boia de nível mínimo (1) falhe; e (4) nível máximo de segurança, caso a boia de nível máximo (2) falhe.

Obs: O nível mínimo de segurança fica posicionado acima do aerador, garantindo que o equipamento trabalhe sempre submerso.

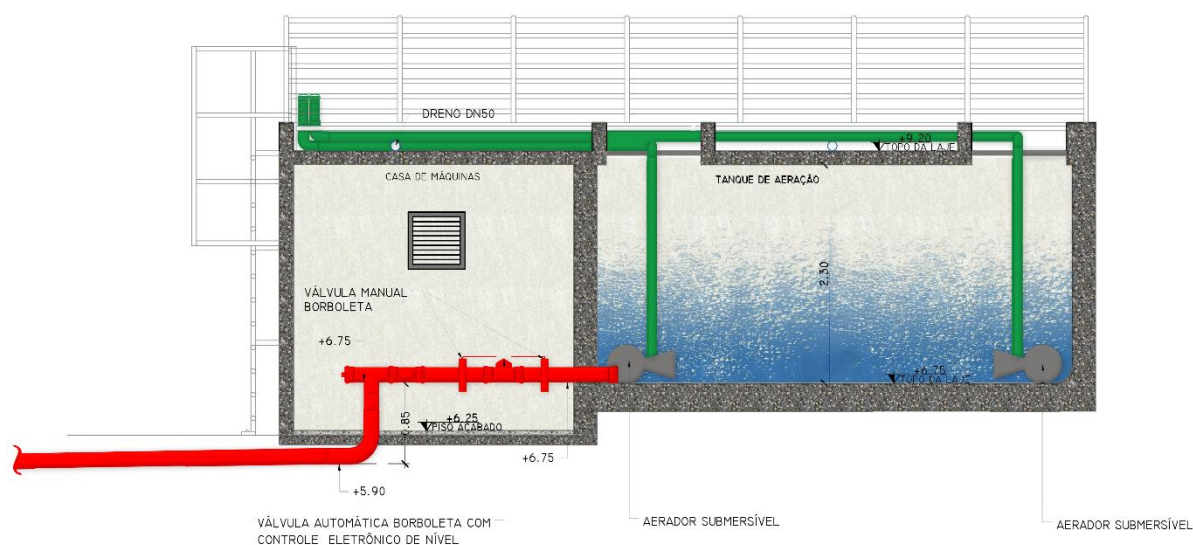
Obs: O volume de projeto é calculado considerando que uma batelada forme uma lâmina de 7cm sobre a brita do jardim, ou seja, se a área do filtro vertical é 116m^2 , o volume de batelada deve ser: $116 \times 0,07 = 8,12\text{m}^3$.

Figura 42. Indicação das boias de nível reguladoras



Fonte: Cedido por Phytorestore, acervo privado

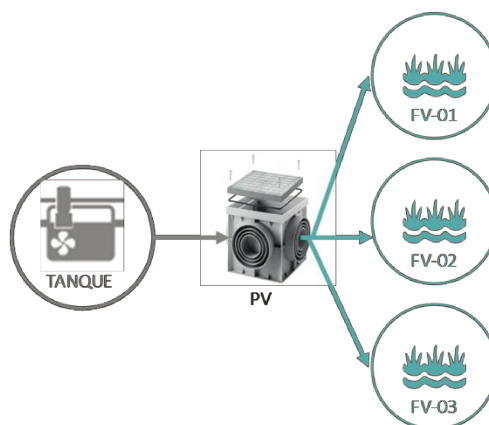
Figura 43. Corte ilustrativo do tanque de aeração e seus elementos



Fonte: Adaptado pela autora com base em acervo cedido pela Phytorestore

Quando o efluente atinge o nível máximo (2) +2.00 é enviado um sinal para o painel elétrico, que por sua vez aciona o atuador elétrico acoplado à válvula borboleta e libera o fluxo (escoamento por gravidade) para o filtro vertical (FV). A válvula fica aberta até o nível do efluente descer para o mínimo (1) +1.46, quando um novo sinal é enviado para o painel e a válvula fecha.

Figura 44. Primeira etapa de distribuição do fluxo para os jardins



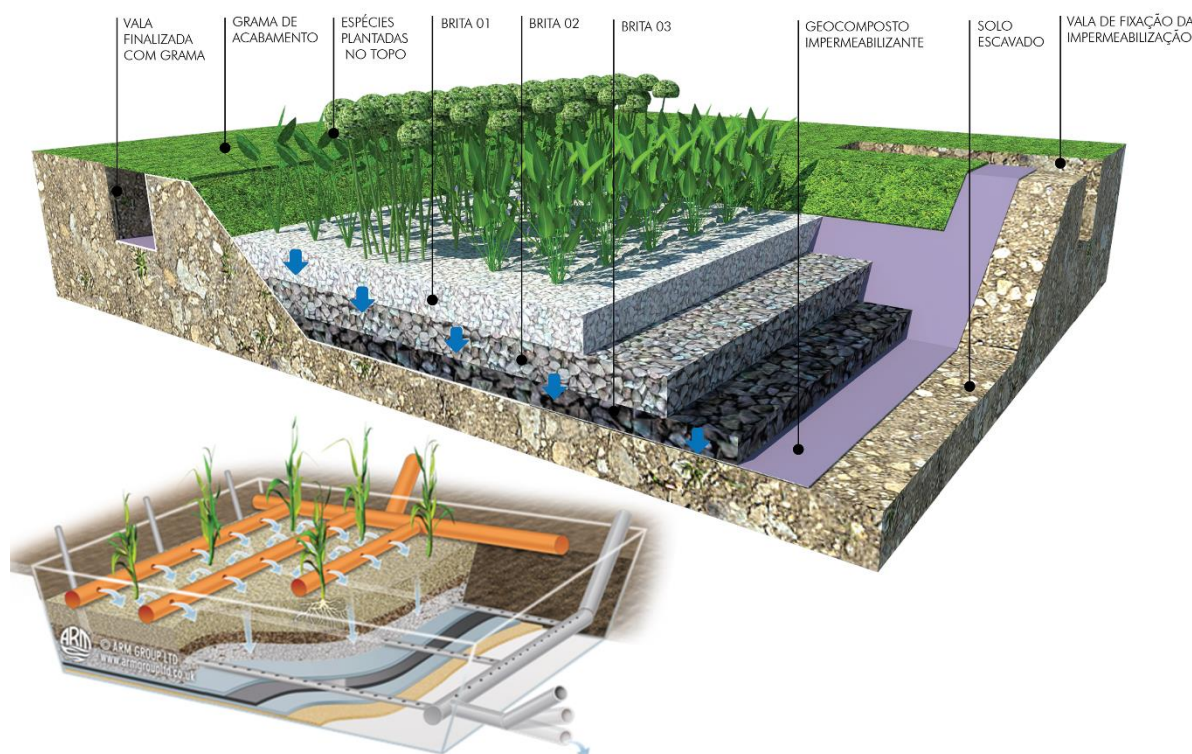
Fonte: Elaborado pela autora

e) Filtro Vertical (FV)

O filtro vertical recebe o esgoto bruto proveniente do tanque de aeração e dá início ao tratamento biológico em fase aeróbia. Como o próprio nome sugere, o fluxo hidráulico no jardim é vertical, ou seja, a rede hidráulica de alimentação é distribuída na parte superior do jardim, 20cm acima da brita sustentada por apoios (ver detalhes APÊNDICE H). O efluente infiltra no substrato de cima para baixo, sendo que o tempo estimado para passagem completa do esgoto até o fundo do jardim (drenagem) é de 2 horas.

Assim como o jardim de chuva (JC), o filtro vertical tem a composição básica de escavação em solo, impermeabilização por complexo impermeabilizante geotêxtil-PEAD-geotêxtil e preenchimento com três diferentes camadas de material granular: brita fina (9,5-19mm), brita média (19-38 mm) e brita grossa (38-50mm), respectivamente em camadas verticais de 20cm, 20cm e 30cm, do topo para o fundo (ver detalhes APÊNDICE D).

Figura 45. Seção perspectivada de um filtro vertical



Fonte: Adaptado pela autora com base em acervo cedido pela Phytorestore (acima); ARM GROUP LTD UK (abaixo)

O FV é caracterizado por alta condutividade hidráulica, pois o substrato não permanece constantemente saturado. Dessa maneira, essa etapa do tratamento ocorre em presença do oxigênio e permite a ocorrência de importantes processos químicos e mecânicos como a nitrificação e a mineralização dos depósitos orgânicos resultantes dos Sólidos Suspensos Totais (SST), esse meio também promove a remoção da carga de DBO e DQO.

Os filtros verticais são operados com alternância semanal para que cada um “descanse” durante 15 dias. Esse período de aparente inatividade é importante para que ocorra a biodegradação dos sólidos retidos mecanicamente nas primeiras camadas do substrato, assim, mesmo sem receber efluente bruto durante duas semanas, os filtros em descanso estão trabalhando.

O projeto foi desenvolvido com três unidades de filtros verticais para atender ao rodízio, dessa maneira, cada tubulação de entrada nos jardins possui uma válvula borboleta instalada em caixas de passagem (ou pontos de vistoria – PVs) no caminho técnico adjacente aos filtros. Como os três filtros verticais funcionam em revezamento semanal, em regime

normal duas válvulas estarão fechadas, enquanto a terceira estará aberta para proporcionar a passagem do efluente para um único FV. A troca de abertura de válvula é feita de maneira manual, pelo operador do Jardim Filtrante, todas as terças-feiras às 9h da manhã. Desta forma, o FV que estava em uso até terça-feira tem duas semanas de intervalo, conforme Tabela 32.

Tabela 32. Operação para rodízio dos jardins verticais através das válvulas de alimentação

VÁLVULA DE ALIMENTAÇÃO			
	FV-01	FV-02	FV-03
Semana 01	Aberta	Fechada	Fechada
Semana 02	Fechada	Aberta	Fechada
Semana 03	Fechada	Fechada	Aberta

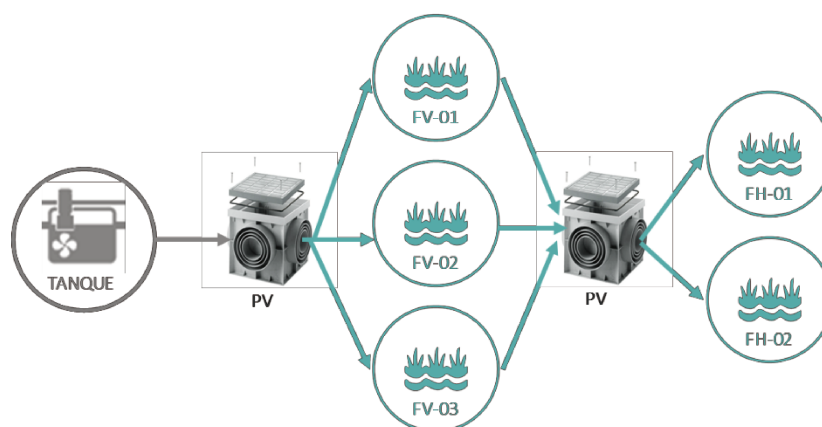
Fonte: Elaborado pela autora

A drenagem do filtro vertical foi projetada sob a superfície de fundo dos filtros. Imagina-se essa superfície como uma bandeja que deve ser inclinada ($i=0,5\%$), visando que o líquido escoado até o fundo deslize até uma das bordas desejadas. A rede hidráulica de drenagem tem uma tubulação mestra na lateral de maior diagonal do filtro e ramificações em pente até as demais extremidades (ver detalhes APÊNDICE D). Nas pontas livres dessas tubulações perpendiculares, ou seja, as que não estão ligadas a tubulação mestra, existem terminais de aeração que permitem a entrada e circulação do ar, favorecendo o meio aeróbio (ver detalhes APÊNDICE H). Todos os tubos de drenagem possuem fendas especiais cortadas em obra de acordo com o projeto executivo, seguindo o padrão: largura da fenda 5mm e comprimento da fenda $1/3$ do diâmetro do tubo (ver detalhes APÊNDICE H).

Por fim, a última rede hidráulica que compõe o FV é a tubulação de aeração natural, que fica apoiada no topo da primeira camada de brita, à 30cm do fundo (ver detalhes APÊNDICE H). O traçado desses tubos é feito em malha quadriculada de 6 em 6 metros. Como essas tubulações têm a finalidade de permitir a passagem de ar no interior filtro não há conexão com a rede de drenagem. Em suas extremidades também são instalados terminais de aeração.

Após a passagem pelo filtro vertical, o efluente segue por tubulação subterrânea para um ponto de vistoria (PV) central, que reúne a drenagem de todas as unidades de filtro vertical e redistribui a partir de válvulas para o filtro horizontal em funcionamento, conforme é explicado no tópico a seguir.

Figura 46. Segunda etapa de distribuição do fluxo para os jardins



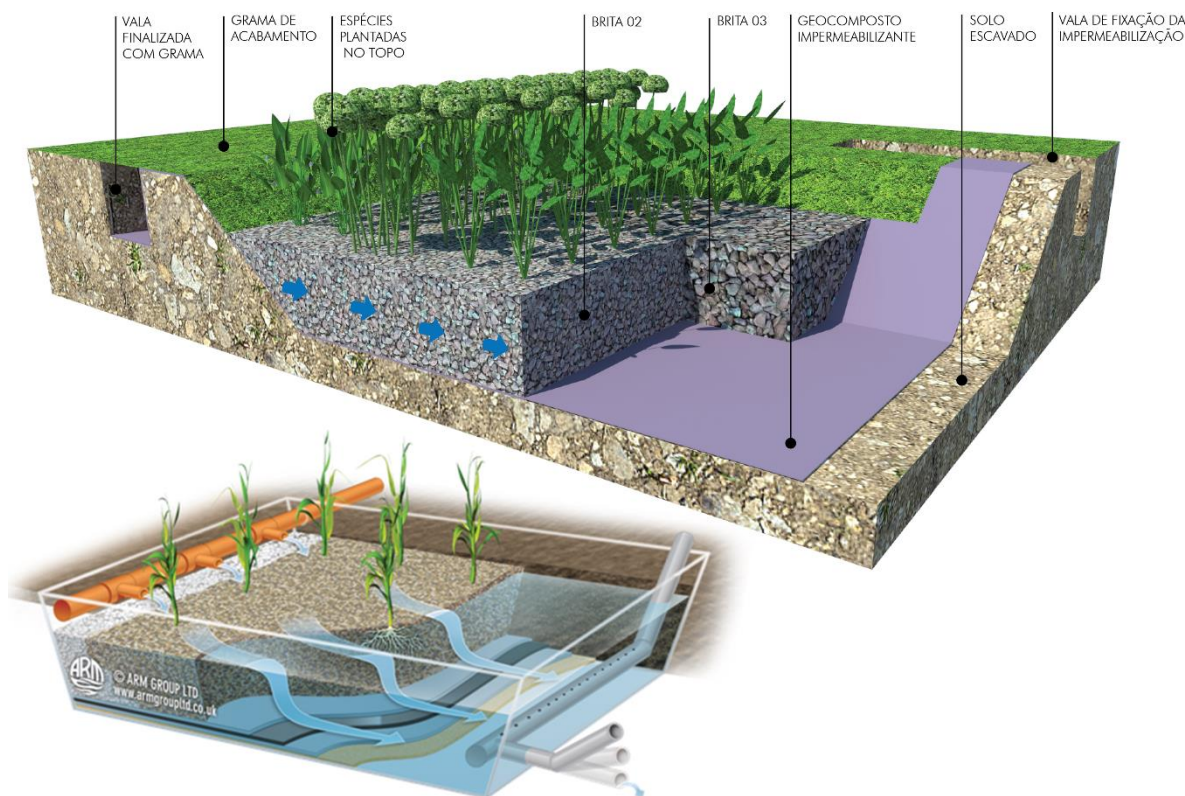
Fonte: Elaborada pela autora

f) Filtro Horizontal (FH)

O filtro horizontal recebe o esgoto semi-tratado proveniente do filtro vertical (FV) e dá início ao tratamento biológico em fase anaeróbia. Como o próprio nome sugere, o fluxo hidráulico no jardim é horizontal, ou seja, a tubulação de alimentação é instalada em uma extremidade, apoiada no substrato, à 40cm do fundo, e a drenagem na extremidade oposta, apoiada no fundo (ver detalhes APÊNDICE E). O efluente semi-tratado percola pela brita e percorre o jardim de um lado ao outro, sendo que o tempo estimado para passagem completa é de 6 a 8 horas.

Assim como os demais jardins, o filtro horizontal tem a composição básica de escavação em solo, impermeabilização por complexo impermeabilizante geotêxtil-PEAD-geotêxtil e preenchimento com duas camadas de material granular: brita média (19-38 mm) e brita grossa (38-50mm), distribuídas em camadas horizontais de 20%, 60%, 20% do volume total (ver detalhes APÊNDICE E).

Figura 47. Seção perspectivada de um filtro horizontal



Fonte: Adaptado pela autora com base em acervo cedido pela Phytorestore (acima); ARM GROUP LTD UK (abaixo)

O filtro horizontal é caracterizado por alta estabilidade hidráulica, pois o substrato permanece constantemente saturado. Dessa maneira, essa etapa do tratamento ocorre em ambiente anóxico e como resultado da baixa capacidade de transferência de oxigênio, tem destaque os processos químicos envolvidos na desnitrificação e solubilização de fosfatos. Dessa maneira, o FH é muito satisfatório na redução dos parâmetros Nitrogênio Total, Fósforo Total, DBO e DQO.

Os filtros horizontais também são operados com alternância semanal, mas neste caso, como as concentrações já foram reduzidas na etapa anterior, o “descanso” dura 7 dias. Assim, o projeto foi desenvolvido com duas unidades de FH para atender ao rodízio, sendo que, cada tubulação de entrada nos jardins possui uma válvula borboleta instalada em PV no caminho técnico. Em regime normal de operação, uma das válvulas estará fechada e a outra aberta, permitindo a passagem do efluente para um único FH. A troca de abertura de válvula é feita de maneira manual, pelo operador do Jardim Filtrante, todas as terças-feiras às 9h da manhã. Desta forma, o filtro horizontal que estava em uso até terça-feira tem uma semana de intervalo.

Tabela 33. Operação para rodízio dos jardins horizontais através das válvulas de alimentação

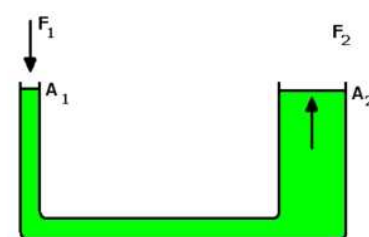
	VÁLVULA DE ALIMENTAÇÃO	
	FH-01	FH-02
Semana 01	Aberta	Fechada
Semana 02	Fechada	Aberta

Fonte: Elaborado pela autora

A drenagem do filtro horizontal é mais simplificada quando comparada ao filtro vertical, pois é composta apenas do tubo mestre, posicionado na extremidade oposta à alimentação, de preferência na menor lateral. Nas pontas livres dessas tubulações são colocadas peças “cap” para impedir o fluxo hidráulico, pois todos os tubos possuem fendas especiais cortadas em obra (ver detalhes APÊNDICE H) para melhor distribuição da vazão ao longo do comprimento.

O princípio hidráulico adotado para a drenagem dos filtros horizontais é o Princípio de Pascal, denominado vasos comunicantes, no qual a pressão feita em um líquido transmite-se de forma integral a todos os pontos do líquido, ou seja, o conjunto hidráulico em formato de “U” mantém o equilíbrio, pois o mesmo volume de líquido que entra de um lado, sai do outro lado.

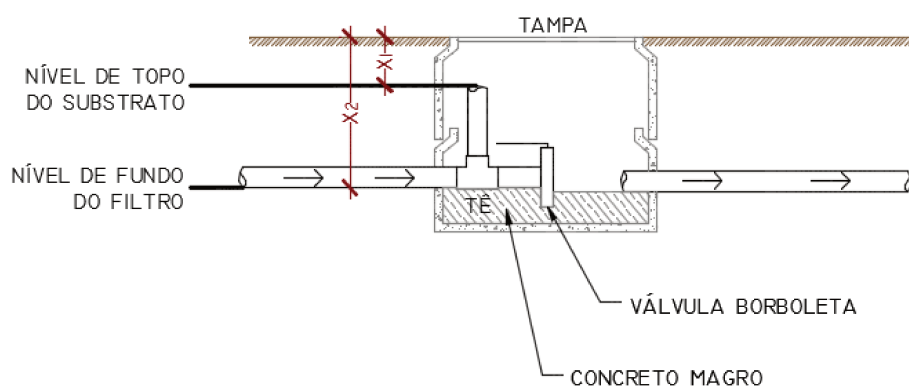
Figura 48. Princípio de Pascal



Fonte: Créditos da imagem Infoescola

Nos Jardins Filtrantes esse princípio foi convertido em um sistema de drenagem que permite manter o FH saturado, ou seja, o nível do líquido no interior do filtro é sempre igual ao nível da brita ($h=0,5\text{cm}$). Assim, quando entra efluente (à ser tratado) em uma extremidade, o mesmo volume de efluente (já tratado) é drenado na extremidade oposta. Esse sistema, denominado pela Phytorestore como “válvula rústica” devido a sua simplicidade, nada mais é do que um conjunto de peças hidrossanitárias composto por um tubo e uma conexão “Tê” instalados em um PV. A válvula rústica ainda possui uma válvula borboleta fixada na extremidade oposta do “Tê” para permitir o esvaziamento do filtro em casos de manutenção.

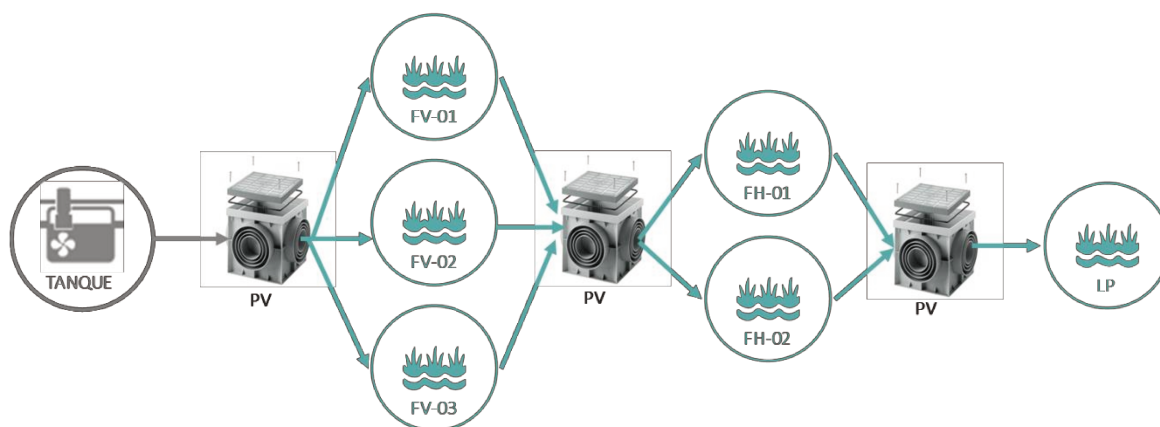
Figura 49. Seção de um PV com válvula rústica instalada



Fonte: Adaptado pela autora com base em acervo cedido por Phytorestore

Após a passagem pelo FH, o efluente segue por tubulação subterrânea para um ponto de vistoria (PV) central, que reúne a drenagem dos dois filtros horizontais e redistribui a partir de válvulas para a Lagoa Plantada (LP), próxima etapa.

Figura 50. Terceira etapa de distribuição do fluxo para os jardins



Fonte: Elaborado pela autora

g) Lagoa Plantada (LP)

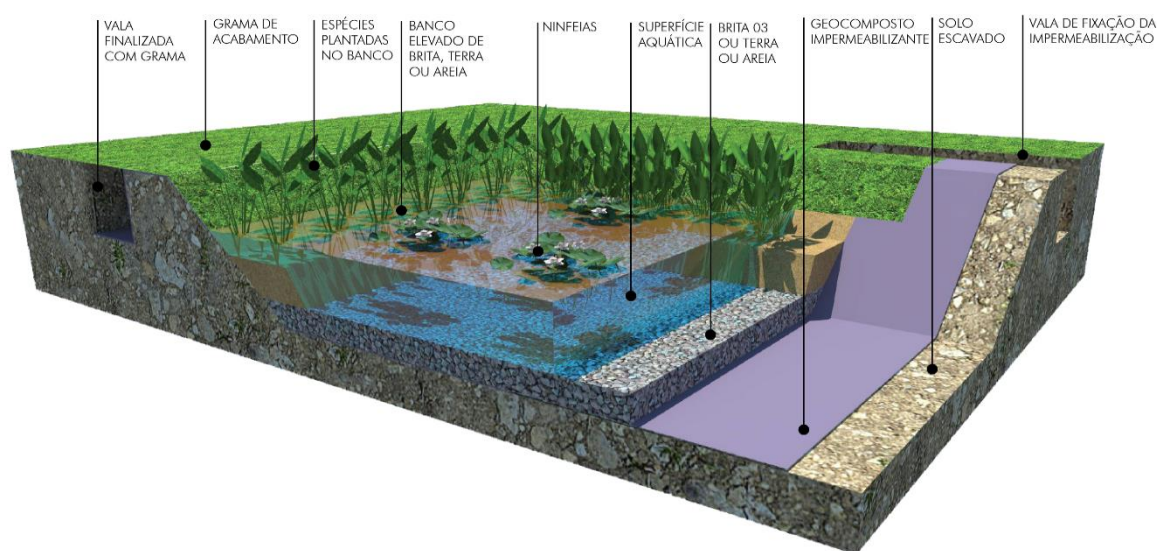
A lagoa plantada recebe o esgoto tratado proveniente do filtro horizontal e atua no polimento da água. Nesta última etapa o fluxo é superficial, ou seja, como em uma lagoa natural a lâmina d'água é aparente. Devido ao TDH estendido, de 3-5 dias, a estabilidade hidráulica favorece a sedimentação e a desinfecção através da penetração de raios solares UV. Além disso, a espécie vegetal *Nhymphea* plantada no fundo da lagoa, com folhas flutuantes, funciona como uma bomba de ar que insere de 8 a 10 litros por hora de oxigênio na água, elevando o nível de OD para até 9mg/L (SARAIVA; CALMON, 2011). A presença das ninfeias também ajuda no controle de radiação solar sob a lâmina d'água, com as suas folhas flutuantes, é formada uma

zona sombreada que inibe o crescimento de algas, soma-se a isso a pequena profundidade da lagoa (80cm), também projetada para evitar a proliferação de algas. É importante que seja mantida a proporção de aproximadamente $\frac{1}{4}$ de área da lâmina d'água coberta por ninfeias para não haver prejuízo no tratamento.

Na lagoa, também são plantadas macrófitas emergentes em um banco perimetral, com cota elevada em 0,5m em relação ao fundo. Essas plantas colaboram na redução final de nitrogênio e fósforo, atuam como abrigo para o habitat natural e, dependendo da estratégia de projeto, também funcionam como barreira de segurança, para o caso de quedas acidentais.

Assim como os demais elementos, a lagoa é moldada por escavação em solo e impermeabilizada com complexo impermeabilizante geotêxtil-PEAD-geotêxtil, porém não é preenchida por substrato, possui apenas uma camada de 30cm de areia branca lavada no fundo e sobre o banco. Esta etapa opera com apenas uma unidade que recebe constantemente a água provinda do filtro horizontal ativo.

Figura 51. Seção perspectivada de uma lagoa plantada



Fonte: Adaptado pela autora com base em acervo cedido pela Phytorestore

O fluxo hidráulico na lagoa exige muito cuidado para que não haja áreas com água parada, dessa forma, a alimentação é posicionada na maior borda para que funcione como um funil, direcionando o efluente para a menor borda, no lado oposto. O tubo de alimentação é instalado acima da lâmina d'água (1cm-5cm), e, a fim de obter bons resultados paisagísticos

são acrescentadas pedras para simular cachoeiras e esconder os tubos. A drenagem da lagoa segue o Princípio de Pascal, por isso a saída ocorre por cima, no topo da lâmina d'água (a 1.10m do fundo), assim a cada recarga na alimentação o volume que sobe de nível transborda pelo tubo, que por sua vez está conectado a um PV de saída no caminho adjacente a lagoa. Existe, ainda, aquela segunda tubulação para manutenção apoiada no fundo, completando a válvula rústica.

O efluente tratado que sai da lagoa é encaminhado para uma elevatória, que irá bombear a água para o tanque de reuso. Nessa elevatória, há, ainda, a possibilidade de recircular o líquido, bombeando-o de volta ao tanque de aeração, como uma opção de segurança, para operações emergenciais. Na Figura 52, está indicada a síntese do processo completo.

Figura 52. Síntese do processo completo



Fonte: Cedido por Phytorestore, acervo privado

h) **Vegetação**

Tabela 34. Lista de plantas e sua distribuição pelos elementos do sistema

MACRÓFITA		TIPOLOGIAS				
Nome Científico	Nome Popular	Jardim Chuva	Biovaletas	Filtros Verticais	Filtros Horizontais	Lagoa Plantada
<i>Andropogon bicornis</i>	Capim-rabo-de-burro		X	X		
<i>Canna generalis</i>	Beri	X	X	X	X	X
<i>Cyperus giganteus</i>	Papiro-brasileiro			X	X	X
<i>Echinodorus macrophyllus</i>	Chapéu-de-couro	X	X	X		
<i>Equisetum giganteum</i>	Cavalinha	X			X	X
<i>Heliconia psittacorum</i>	Helicônia-papagaio	X	X	X	X	
<i>Heliconia rostrata</i>	Bananeira-do-brejo	X		X	X	
<i>Limnocharis flava</i>	Mureré				X	X
<i>Pontederia cordata</i>	Aguapé-rainha	X				X
<i>Pontederia parviflora</i>	Aguapé-branco				X	
<i>Thalia geniculata</i>	Tália		X	X	X	
<i>Nymphaea spp.</i>	Lírio d'água					X

Fonte: Elaborado pela autora, levantamento das espécies em campo no dia 23 de agosto de 2017

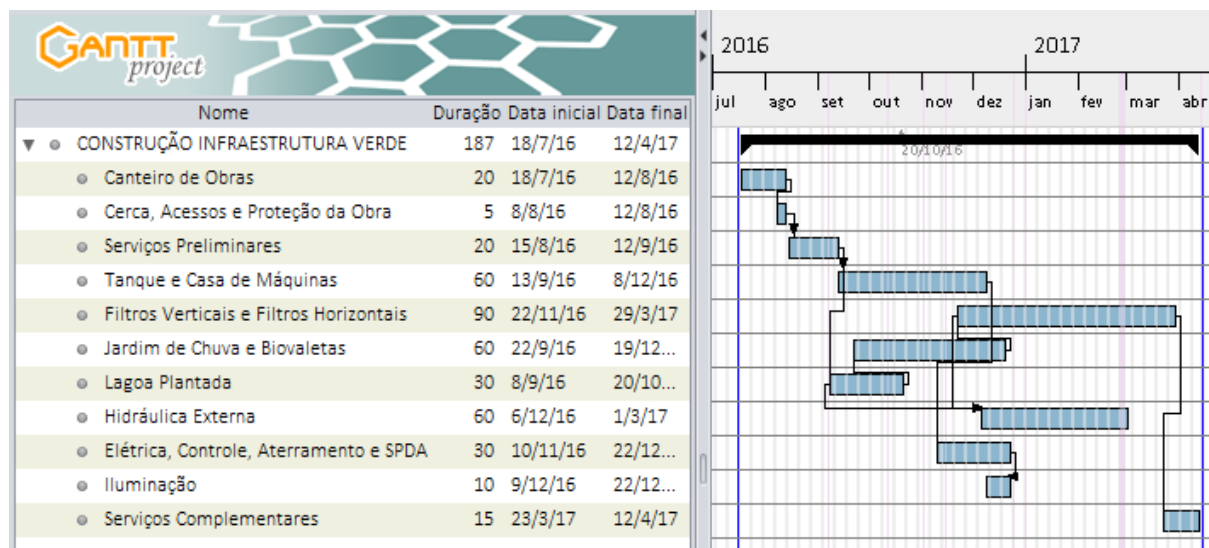
4.2.4 OBRAS CIVIS PARA CONSTRUÇÃO DO PROJETO

A obra de infraestrutura verde no Centro de Pesquisa & Inovação durou dez meses, de julho/2016 a abril/2017. A maior dificuldade da obra foi relacionada ao tipo de solo rochoso, muito comum no Rio de Janeiro, mas que inviabilizou algumas movimentações de terra e demandou ajustes pontuais no projeto, sem prejudicar o conceito do desenho. Além disso, a antiga área ocupada pelo Exército revelou surpresas escondidas no solo, como escombros de construções passadas e objetos militares.

As atividades listadas abaixo foram divididas por disciplina para facilitar o entendimento dos serviços, porém, em muitas etapas essas atividades ocorreram

paralelamente, com equipes difundidas pelo terreno. O cronograma de atividades da obra considerou a duração de tempo para o desenvolvimento das atividades, no entanto, dividido por tipologia e serviços gerais, ver Figura 53.

Figura 53. Cronograma geral de obra com macroatividades



Fonte: Elaborado pela autora

a) Movimentação de Terra

As movimentações de terra se resumiram a corte, aterro e estocagem de solo para posterior reaterro e plantio de grama. Os cortes consistem nas operações de escavação do material constituinte do terreno nos locais onde a implantação da geometria projetada requer a sua remoção, ou escavação de áreas de empréstimo de material, incluindo a carga e o transporte para seu destino final. Apenas foram transportados para constituição dos aterros, os materiais que pela classificação e caracterização efetuados nos cortes, fossem compatíveis com as especificações de execução dos aterros.

Em geral, todos os solos foram escavados por tratores escavo-transportadores de pneus, empurrados por tratores esteiras de peso compatível ou por escavadeiras hidráulicas. A atividade de corte foi realizada nas seções de solos sedimentares, não houve o emprego de explosivo para detonar rochas, quando necessário, o desenho do projeto foi minimamente ajustado para viabilizar as escavações, desviando das rochas.

Nas áreas de transição de aterros para corte, foi executada a escavação e remoção de 0,60m abaixo da cota de terraplenagem, na área de corte, na extensão mínima de 2,0 m. O material escavado foi substituído por materiais com as mesmas características dos 0,60m da camada final de aterro. As tolerâncias admitidas para acabamento dos taludes e plataforma de terraplenagem foram:

- Variação de altura máxima, para eixos e bordas, escavação em solo: $\pm 0,02$ m;
- Variação máxima de largura de + 0,10 m para cada semi-plataforma não se admitindo variação negativa.

Desde o início pensou-se na proteção contra a ação erosiva das águas pluviais, assegurando uma drenagem eficiente, por isso as biovaletas foram as primeiras escavações. Em seguida, deu-se início as escavações dos filtros verticais, horizontais, jardim de chuva, lagoa plantada e bacia de retenção, respectivamente. Essa ordem foi estabelecida pela dificuldade de acesso das máquinas aos locais com espaço restrito, como por exemplo a área à norte do terreno destinada aos Jardins Filtrantes, entre o morro rochoso e o edifício.

Figura 54. Início dos trabalhos de terraplenagem em agosto de 2016



Fonte: Acervo pessoal

Os aterros foram constituídos por solos provenientes da escavação de cortes, pois o projeto de terraplenagem foi desenvolvido com equilíbrio entre corte : aterro para que não houvesse a necessidade de comprar terra. Para reutilização nos aterros, o solo escavado teve que atender as seguintes condições:

- Ser isentos de matéria orgânica; para corpo de aterro possuir $\text{CBR} \geq 2\%$ e expansão $< 4\%$;

- A camada final dos aterros deve ser constituída de solo selecionado, dentre os melhores disponíveis, não é permitido o uso de solos com expansão maior que 2%;
- Em regiões em que ocorra a presença de materiais rochosos e ocorra falta de material de 1ª e 2ª categoria, admite-se a construção de aterros com material rochoso.

Os aterros foram executados em camadas sucessivas, com espessura solta de 30cm, resultando em espessura compactada de no mínimo de 15 cm, conferindo o grau de compactação mínimo exigido de 95% em relação ao proctor Normal, conforme NBR 7182. As condições de compactação exigidas para aterro e as variações de umidade admitidas foram:

- A variação do teor de umidade admitido para o material do corpo de aterro é de $\pm 3\%$ em relação a umidade ótima de compactação e o grau de compactação mínimo exigido é de 95% em relação à massa específica aparente seca máxima conforme NBR 7182, na energia normal;
- Para as camadas situadas no último um metro, camada final de aterro, a variação de umidade do material admitida é de $\pm 3\%$ para as camadas iniciais, e de $\pm 2\%$ para as três últimas camadas, em relação à umidade ótima de compactação determinado conforme NBR 7182, na energia adotada para compactação do material;
- O grau de compactação mínimo exigido para as camadas finais situadas no último um metro é de 100% em relação à massa específica aparente seca máxima, determinada conforme NBR 7182, na energia adotada para compactação do material.

b) Instalação dos Revestimentos

Tabela 35. Aplicação de revestimento por tipologia

TIPOLOGIA	REVESTIMENTO
Biovaletas	Geotêxtil/Geossintético, não tecido, 100% poliéster, 130g/m ²
Jardim de Chuva	Camada inferior: Geotêxtil/Geossintético, não tecido, 100% poliéster, 300g/m ² Camada intermediária: Geomembrana PEAD 1mm Camada superior: Geotêxtil/Geossintético, não tecido, 100% poliéster, 300g/m ²
Filtros Verticais	
Filtros Horizontais	
Lagoa Plantada	

Fonte: Elaborado pela autora

A camada de brita das biovaletas foram envolvidas por geotêxtil drenante para proteção contra o entupimento e para evitar que as pedras se misturem ao solo com o passar do tempo. O geotêxtil é de grande permeabilidade, permitindo a infiltração de parte da água pluvial escoada. O geocomposto utilizado para a impermeabilização dos demais elementos é

um complexo de 3 camadas sobrepostas e posicionadas acima da terraplenagem, sendo a primeira e última camadas compostas por geotêxtil e a camada do meio composta por manta geomembrana PEAD.

Para garantir o controle de qualidade e estanqueidade do complexo impermeabilizante, foi instalado o sistema de “dreno testemunho”, que visa apontar possíveis vazamentos. Esse sistema é composto por:

- Vala central ($h=0,5\text{m}$) preenchida com dreno corrugado (DN 50mm) e material granular grosso, para facilitar o escoamento do líquido infiltrado;
- Trama xadrez de geocomposto drenante (malha vazada de PEAD revestida por geotêxtil) a cada 5m (ver detalhes no APÊNDICE C).

Figura 55. Colocação de pedra britada na vala do dreno testemunho em agosto de 2016



Fonte: Acervo pessoal

Imediatamente acima do sistema de proteção da impermeabilização, foram posicionadas as camadas de geotêxtil 300g/m^2 , geomembrana PEAD 1mm e novamente geotêxtil 300g/m^2 . A instalação seguiu a recomendação da Associação Brasileira de Geosintéticos – IGSBRASIL – para a “Instalação de Geomembranas em Obras Geotécnicas e de Saneamento Ambiental” – IGSBR-IGMT-01, onde, primeiramente foi feita a limpeza completa da superfície para garantir que nenhum resíduo ou material pontiagudo pudesse danificar a impermeabilização ou mesmo interferir nos serviços de instalação.

Em seguida, as mantas foram estendidas de forma uniforme, cobrindo toda a área a ser impermeabilizada. As emendas foram feitas através de termofusão, por equipamento específico e técnico especializado no serviço. Os maiores cuidados são: evitar emendas nas áreas de maior stress ou tração e deixar uma folga para que o revestimento tenha uma acomodação no molde do terreno quando preenchido pelas camadas de material granular.

Figura 56. Instalação da manta impermeabilizante em setembro de 2016



Fonte: Acervo pessoal

Para a ancoragem do complexo impermeabilizante foram utilizadas duas técnicas, de acordo com a altura do talude e o espaço nos caminhos adjacentes para escavação das valas. Dessa maneira, nos filtros verticais e horizontais, foi utilizada a técnica de ancoragem por vala e reaterro (ver detalhes APÊNDICE C), pois os filtros apresentavam pequenos taludes e espaço suficiente para escavação. Já na lagoa plantada e jardim de chuva, foi utilizada a técnica de ancoragem por vala estruturada com barras de aço em “tê” dispostas a cada 1m e enterradas 20cm no solo. Nesta técnica, em seguida, a vala deve ser preenchida com concreto até atingir o nível, poupando espaço e desperdício de material.

As interferências entre impermeabilização e tubos da rede hidráulica interna aos jardins foram tratadas com fixação/envolvimento do complexo impermeável com abraçadeira galvanizada e parafusos em INOX, formando uma espécie de gola no tubo.

Figura 57. Reaterro da vala de fixação da impermeabilização (esquerda) e instalação de abraçadeira para montar a gola impermeabilizante no tubo, setembro de 2016



Fonte: Acervo pessoal

A finalização desta etapa foi concluída com o teste de estanqueidade denominado *Spark teste*, “também conhecido por *Holiday detector*. Neste ensaio, um operador caminha por toda superfície impermeabilizada com uma fonte de baixa amperagem e alta tensão (20 a 100 KV, em função da espessura da geomembrana), que atua como isolante entre o solo e a haste metálica, sendo que qualquer descontinuidade é detectada por uma faísca (*spark*), acompanhada de um aviso sonoro bip, acusando a falha.

c) Rede Hidráulica Interna e Meio Suporte (material granular)

Toda rede hidráulica foi montada por encaixe manual com tubos PVC (policloreto de polivinila) rígido, série especial para esgoto e junta elástica integrada, variando os diâmetros de acordo com o dimensionamento do projeto, exceto a tubulação de aeração, composta por tubo PVC tipo dreno corrugado. Conexões, válvulas e demais peças também foram instaladas em PVC com flange, quando necessário, e parafusos de inox.

A montagem da rede hidráulica aconteceu em paralelo à colocação das camadas de material granular, visto que elas se intercalam. Nos filtros verticais, por exemplo, a sequência de trabalho foi:

- I. Assentamento da malha de drenagem DN 150mm, com fendas igualmente espaçadas e de igual tamanho, cortadas em obra de acordo com orientações do projeto executivo, apoiada sob o geocomposto impermeabilizante;
- II. Colocação de material granular grosso (38 a 50mm) lavado, compondo uma camada de 30cm de altura;

- III. Assentamento da malha de aeração DN 100mm, corrugado, apoiada sob a camada de brita grossa;
- IV. Colocação de material granular médio (19 a 38mm) lavado, compondo uma camada de 20cm de altura;
- V. Colocação dos pés de sustentação (ver detalhes APÊNDICE H) da tubulação de alimentação, apoiados sob a camada de brita média;
- VI. Colocação de material granular fino (9,5 a 19mm) lavado, compondo uma camada de 20cm de altura, sob a camada de brita média;
- VII. Montagem da tubulação de alimentação DN 150mm, suspensa à 20cm da camada de brita fina, sustentada pelos pés de sustentação.

Figura 58. Instalação da rede hidráulica e material granular intercalados, outubro de 2016



Fonte: Acervo pessoal

Todas as tipologias seguiram a mesma lógica nessa etapa de “preenchimento”, ou seja, tanto os filtros verticais, horizontais, jardim de chuva e lagoa plantada foram construídos em paralelo, com a colocação das camadas hidráulicas e material granular de acordo com a especificidade de cada um, conforme apêndices. Uma exceção foi a bacia de retenção, que apresentou supressas neste período da obra. Em meados de novembro/2016, durante as escavações da ala sul do terreno, foram encontrados escombros de antigas construções militares que provocaram forte instabilidade no terreno. Como a cota de fundo da bacia de retenção é grande (1,5m de profundidade), optou-se por construir um leito estrutural de

colchão de gabião²³, também conhecido como colchão reno, visando revestir, proteger e estabilizar o terreno neste ponto.

Naquele momento, foi decidido não executar o projeto de paisagismo previsto para a bacia de retenção, devido aos imprevistos financeiros que a instalação do colchão de gabião gerou no orçamento. Dessa forma, foram mantidas as instalações hidráulicas de conexão com a bacia, mas o material granular previsto em projeto e o plantio de vegetação foi abolido. Este é o motivo pelo qual o projeto anexado à esse memorial não corresponde às fotos finais de implantação da obra, como poderá ser visto adiante.

Figura 59. Instalação do colchão de gabião na bacia de retenção, novembro/dezembro de 2016



Figura 60. Colocação de pedra britada na biovaleta (esquerda) e colocação de areia na lagoa plantada (direita)



Fonte: Acervo pessoal

²³ Colchão de gabião: São caixas de telas metálicas com enchimento de pedras, semelhantes a um gabião, porém, cada colchão é constituído por uma armação única que forma a base, as paredes laterais e o diafragma (paredes internas). Por cima, os colchões recebem uma tela que serve como tampa.

d) Civil

Foi denominado como civil, os elementos em concreto e a parte de infraestrutura elétrica. Primeiramente, o tanque de aeração foi construído em concreto armado com aditivo impermeabilizante nas faces internas, e o acesso ao interior do tanque foi viabilizado através de alçapões articulados em ferro galvanizado xadrez e pintura verniz poliuretano. O acesso externo do caminho ao topo do tanque (H=3,5m) é feito por escada tipo marinho em alumínio com pintura eletrostática amarela (segurança) e anel de proteção para acesso externo. O acesso do topo do tanque ao compartimento interno (H=2,3m) é feito por escada tipo marinho em fibra de vidro, material resistente ao contato com esgoto bruto.

A casa de máquinas foi construída em concreto armado e vedação em alvenaria com blocos de concreto 14x19x39cm assentados com argamassa traço 1:2:9 (cimento, cal e areia). Como acabamento do conjunto, foi aplicada pintura de tinta látex PVA, anti-mofo, fosca, branca, nas faces internas e externas; o piso teve acabamento cimentado liso. A casa de máquinas possui duas janelas tipo veneziana (0,6x0,6m), material alumínio, branca, instaladas em extremidades opostas para permitir a ventilação cruzada.

Os pontos de vistoria (PVs), também chamados de caixas de passagem, foram construídos em alvenaria estrutural com blocos de concreto 14x19x39cm assentados com argamassa traço 1:2:9 (cimento, cal e areia). Apenas os PVs com altura menor que 50cm não foram estruturados. Devido ao contato com esgoto bruto e semi-tratado, os PVs foram impermeabilizados na face interna com aditivo impermeabilizante na argamassa.

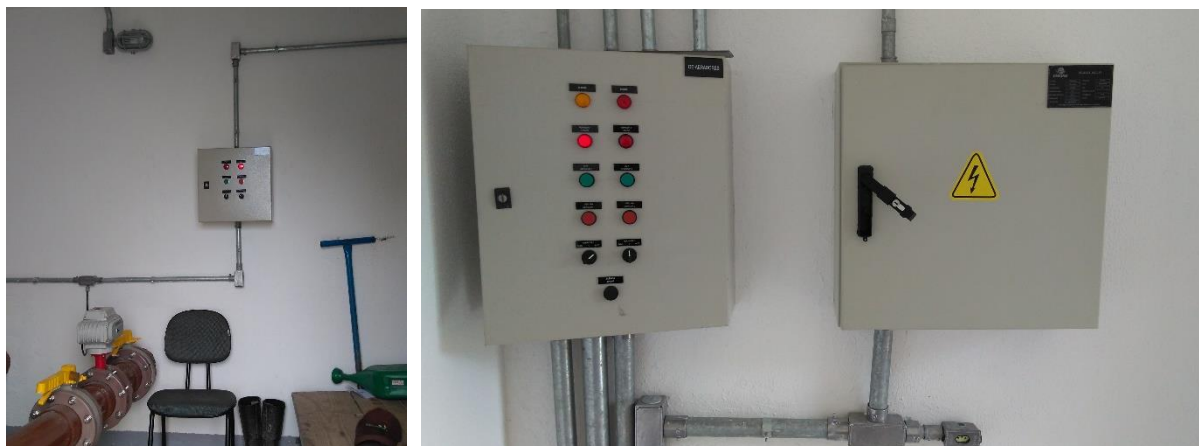
Figura 61. Construção e acabamentos do tanque de aeração em janeiro/fevereiro de 2017



Fonte: Acervo pessoal

A parte elétrica do projeto é bastante simples. Na casa de máquinas foi instalado um quadro elétrico com alimentação 380V trifásico e dois painéis; neles é possível controlar os aeradores instalados no tanque, as válvulas borboletas automatizadas, localizadas na própria casa de máquinas. Além disso, o sistema conta com alarmes sonoros e lumíscos de segurança, caso as chaves de nível falhem ou algum equipamento entre em colapso.

Figura 62. Instalação dos painéis elétricos



Fonte: Acervo pessoal

e) Rede Hidráulica Externa

Toda rede hidráulica foi montada por encaixe manual, enterrada, com tubos PVC (policloreto de polivinila) rígido, série especial para esgoto e junta elástica integrada, variando os diâmetros de acordo com o dimensionamento do projeto. Como a interligação entre os elementos é feita por gravidade, as tubulações seguiram uma inclinação mínima de 0,5%. A rede hidráulica externa interliga os elementos sequenciados, conforme foi apresentado no projeto essa conexão muitas vezes passa por pontos de redistribuição, que são os PVs, neles são instaladas as peças hidráulicas de controle, como válvulas.

Figura 63. Escavação das valas para instalação de tubulação enterrada (acima), hidráulica externa e interface com os PVs (abaixo) em março/abril de 2016





Fonte: Acervo pessoal

f) **Vegetação**

- **Vegetação rasteira: grama e forrações**

O preparo do solo para o plantio das placas de grama e forrações teve início com o reaterro e compactação da terra armazenada do início na obra, referente a retirada da primeira camada do solo existente no terreno. As placas de grama foram colocadas sobre o solo, seguindo a sequência alternada de “ponta-meio”, ou seja, a ponta de uma placa não deve ser alinhada à ponta da placa da camada de cima, e sim ao ponto central, formando uma paginação intertravada. Em taludes mais íngremes foi utilizada a fixação das leivas ao terreno utilizando ponteiros de madeira.

Em seguida, o gramado foi compactado para garantir o contato entre as raízes e o solo e recebeu uma camada de 5 kg/m² de substrato de cobertura, que ajuda a corrigir eventuais diferenças de níveis. Placas de grama recém-plantadas precisam ser regadas regularmente, até que as raízes estejam tão bem aprofundadas que você não consiga mais puxar.

- **Vegetação arbustiva: macrófitas**

As mudas de macrófitas foram distribuídas pelo local pouco antes do plantio, ainda embaladas e tendo recebido irrigação intensa, com a devida identificação da espécie e próximas às áreas de posicionamento final, conforme distribuição definida no projeto. É necessária atenção à forma de se apanhar as mudas, que deverá ser pela embalagem, nunca pelo caule. O transporte até os filtros foi feito manualmente, com auxílio de carrinho de mão.

É fundamental preencher os jardins com água até o nível do topo do substrato, garantindo um ambiente favorável para o desenvolvimento das plantas até, de fato, a contribuição de esgoto e água pluvial terem início. Neste caso, as mudas foram plantadas com 3 meses de antecedência à ocupação populacional do centro de P&I, sendo que, no ambiente alagado as espécies se desenvolveram e iniciaram o processo de amadurecimento do sistema.

A lagoa plantada foi preenchida de água em fases para facilitar o plantio de mudas. Após posicionamento do substrato, foi acrescida a água até formar uma lâmina de 10 a 20cm acima da areia para plantio das nympheas no fundo e demais espécies no banco. Em seguida, o nível da água foi completado até atingir a altura da lâmina de projeto totalizando 80cm de lâmina total (30cm substrato + 50cm água). As biovaletas não são preenchidas com água, pois não são elementos impermeabilizados, no entanto, assim como a grama, a irrigação das espécies plantadas deve ser constante, até que a planta esteja enraizada no substrato.

A marcação das covas foi feita com a determinação do ponto exato de cada uma das cavidades de plantio na superfície de britas do topo do filtro, ou na turfa para biovaletas. As covas foram marcadas com o auxílio de linhas de náilon e piquetes que simulam o traçado do projeto executivo (ver detalhes APÊNDICE B) visando reproduzir o desenho bidimensional na superfície de britas.

Delimitadas as áreas de cada espécie, foi feita a escavação manual das covas na brita (ou turfa) respeitando o espaçamento definido em projeto, com o limite de 5 (cinco) mudas/m² de superfície. A cova foi escavada até, aproximadamente, 20 cm de profundidade e largura suficiente para abrigar o torrão da muda. A parte superior do torrão foi recoberta

suavemente com britas do substrato, evitando o sufocamento das mudas, porém em quantidade suficiente para sua fixação.

Figura 64. Plantio das macrófitas, abril 2017

Plantio na pedra britada (esquerda), plantio na turfa (direita)



Plantio nos filtros verticais (abaixo)



Plantio na lagoa, banco e lâmina d'água (abaixo)



Fonte: Acervo pessoal

4.2.5 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Os Jardins Filtrantes são um sistema dinâmico e a execução adequada da operação é essencial para seu pleno funcionamento, visando a constância da alta eficiência de tratamento e a longevidade dos filtros, peças e equipamentos. Entre as atividades de operação estão as manobras de válvulas, observação e manutenção dos elementos dos jardins, manutenção verde, recirculação e monitoramento hídrico e analítico da estação.

a) Manobra de Válvulas

Os Jardins Filtrantes possuem um sistema de válvulas que permite (1) controlar o fluxo de alimentação dos filtros; (2) a abertura e fechamento de suas saídas, permitindo acúmulo ou purga de água estocada dentro deles; (3) o direcionamento de efluente pela Lagoa Plantada ou por sistema de recirculação/by-pass; (4) e o esvaziamento da lagoa em casos especiais de operação. Desta forma, são previstas manobras de válvulas rotineiras para rodízio da alimentação dos filtros verticais e horizontais e demais manobras em casos especiais de operação.

A operação padrão de rodízio dos filtros é executada semanalmente considerando-se as seguintes observações e recomendações:

FILTROS VERTICAIS (FV)

- O FV em operação deverá estar com a válvula rústica “baixa” na saída, deixando o nível de efluente dentro do filtro em 30 cm;
- Os FV em descanso deverão estar com a válvula rústica “alta” na saída, de modo que os filtros estejam completamente preenchidos com efluente;
- Essa operação tem frequência semanal e deve ser definido um dia da semana para efetuar-la. Se, por algum motivo, não houver atividade na fábrica no dia demarcado, executar a operação no dia seguinte. O indicado é que a operação seja realizada na terça feira;
- Sempre seguir a ordem crescente dos números dos filtros, para facilitar a operação. Quando terminar o ciclo, voltar a atividade para o primeiro filtro;
- Caso haja coleta de amostras para análise no dia, realizar a troca de filtros no dia posterior ou depois que a coleta já tiver sido realizada;
- Quando os FV estiverem com efluente estocado, a abertura de suas válvulas de saída deve ser sempre feita no máximo 1/3 de sua abertura total, para evitar transbordamento de caixas de passagem;
- É importante atentar que sempre deve haver pelo menos uma válvula aberta em cada linha de alimentação. Em termos práticos, deve-se sempre iniciar a operação abrindo uma válvula antes de fechar a que estava anteriormente aberta. A válvula deve sempre estar aberta ou fechada por completo, nunca meio-termo.

O procedimento de manobra de válvulas dos Filtros Verticais para alimentação é:

1. Verificar se está ocorrendo alimentação no instante da operação. Se sim, aguardar terminar antes de iniciar a manobra de válvulas;
2. Remover a válvula rústica alta do FV que entrará em operação na semana e colocar a válvula rústica baixa nele;
3. Colocar a válvula rústica alta no Filtro Vertical que estava em operação e aguardar dar bateladas de alimentação vindas do tanque de aeração, para que chegue até o nível máximo da válvula rústica de saída;

4. Quando o nível for atingido, abrir completamente a válvula de alimentação do Filtro Vertical que entrará em operação na semana;
5. Fechar completamente a válvula de alimentação do Filtro Vertical que estava em operação na semana anterior;
6. Anotar na planilha de registro a confirmação de que a operação foi executada e quais filtros entraram em funcionamento após a manobra de válvulas.

FILTROS HORIZONTAIS (FH)

1. Abrir completamente a válvula de alimentação do FH que entrará em operação na semana. A válvula deve sempre estar aberta ou fechada por completo, nunca meio-termo;
2. Fechar completamente a válvula de alimentação do FH que estava em operação na semana anterior. A válvula deve sempre estar aberta ou fechada por completo, nunca meio-termo;
3. Anotar na planilha de registro a confirmação de que a operação foi executada e quais filtros entraram em funcionamento após a manobra de válvulas.
4. Não há ações na válvula de saída do FH. O Filtro deve sempre permanecer saturado com a válvula de saída fechada.

Durante o período de seca, a atenção em relação à saúde das plantas deve ser ainda maior que o normal. Caso as plantas depuradoras estejam apresentando sinais de stress, a empresa Phytorestore é comunicada, para que diferencie se é stress hídrico ou químico e instrua quanto à correta operação nesse caso.

Tabela 36. Instruções para manobra das válvulas por semana, durante cinco semanas

Semana	FV01		FV02		FV03		FH01		FH02	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
Sem 01	A	↓	F	↑	F	↑	A	F	F	F
Sem 02	F	↑	A	↓	F	↑	F	F	A	F

Sem 03	F	↑	F	↑	A	↓	A	F	F	F
Sem 04	A	↓	F	↑	F	↑	F	F	A	F
Sem 05	F	↑	A	↓	F	↑	A	F	F	F

Legenda: A = Aberta; F = Fechada; ↓ = baixa; ↑ = alta Fonte: Adaptado pela autora de arquivos cedidos por Phyto restore

b) Monitoramento Analítico do Efluente

O monitoramento operacional do sistema é realizado mensalmente, nos mesmos horários e nos mesmos pontos de amostragem, pré-determinados no início da operação. São eles:

Tabela 37. Pontos de amostragem para monitoramento operacional do esgoto

Pontos de Amostragem (PA)	Característica do Efluente	Etapa do Sistema
PA-01	Efluente Bruto	Poço de Esgoto
PA-02	Efluente Bruto	Saída do Tanque de aeração, no momento da batelada
PA-03	Efluente semi-tratado	Saída do FV em operação, 15min após o início da drenagem
PA-04	Efluente semi-tratado	Saída do FH em operação, 15 min após o início da drenagem
PA-05	Efluente tratado	Saída da LP

Fonte: Adaptado pela autora de arquivos cedidos por Phyto restore

Os parâmetros monitorados mensalmente são: DBO, DQO, Temperatura, pH, Nitrogênio total, Nitrogênio amoniacal, Fósforo total e Coliformes termotolerantes; sendo que a cada três meses são monitorados os parâmetros completos especificados no CONAMA 430/11 Art. 16.

DBO e DQO são indicadores de matéria orgânica na água, portanto são os principais parâmetros referentes ao tratamento biológico do sistema. Nitrogênio e Fósforo representam os nutrientes presentes no efluente, e indicam o risco de eutrofização de meios que recebam esse efluente. Coliformes representam a contaminação por microrganismos patogênicos.

Temperatura e pH são parâmetros analíticos físicos de fácil medição, que auxiliam no controle imediato da operação. Qualquer variação significativa nesses parâmetros pode indicar a entrada de um efluente não esperado ou um mau funcionamento do sistema naquele momento, criando um estado de alerta para tomada de decisões. Dessa forma, o monitoramento analítico operacional atua prevenindo, minimizando ou evitando danos aos Jardins Filtrantes e meio ambiente.

Devido à variação de vazão e de qualidade do efluente ao longo do dia, é recomendável que as coletas de amostras sejam compostas, para representar de forma mais precisa a caracterização do efluente. Por amostragem composta, entende-se como uma mistura de várias amostras simples colhidas no mesmo ponto de amostragem durante um período de tempo pré-estabelecido. Ao longo do período comercial (das 8h às 17h), são coletadas quantidades iguais de amostras com periodicidade de duas horas entre as coletas. Ao final do período, homogeneizar a amostra e transferir para frascos adequados para armazenamento e transporte até o laboratório de análises.

Para se realizar a coleta de amostras, o coletor deve estar equipado de luvas de procedimento e camisa de manga longa. Devem ser utilizados frascos individuais devidamente lavados e identificados para cada um dos pontos de coleta. Nos pontos onde não há acesso direto do colaborador ao efluente que será amostrado, como na lagoa ou em caixas de passagem, deve-se utilizar um equipamento coletor formado por um recipiente e uma corda para alcançar a amostra. O coletor não deve ser inserido dentro da tubulação nem se deve fazer movimento de raspagem pela parede da válvula rústica. Além disso, o ideal é que se tenha um equipamento coletor diferente para cada uma das etapas a serem analisadas, para evitar interferências.

Os dados abaixo apresentados nas Tabela 38, Tabela 39 e Tabela 40, mostram um compilado dos resultados analíticos dos primeiros seis meses de operação do sistema implementado no Centro de Pesquisa e Inovação. De maneira geral, por se tratar de um sistema “vivo”, o tempo de amadurecimento dos Jardins Filtrantes até atingir o ápice do desempenho é de oito à doze meses, dessa forma é esperado que os resultados ainda não sejam completamente satisfatórios. Além disso, é possível observar que em alguns meses os

parâmetros DBO, DQO e, principalmente o Nitrogênio Amoniacal entraram no tratamento com concentrações acima das estimativas previstas no dimensionamento, por isso o resultado do tratamento não foi completamente satisfatório.

Mesmo sem atingir o amadurecimento completo, o sistema foi muito satisfatório na redução da DBO/DQO e coliformes termotolerantes, sendo que mesmo nos meses de agosto, outubro e novembro, quando as entradas foram acima das estimativas base para o dimensionamento ($DBO < 400 \text{ mg/L}$ e $DQO < 1000 \text{ mg/L}$), o resultado foi satisfatório. No mês de setembro, quando a entrada de Nitrogênio Amoniacal ficou dentro do previsto ($N_{\text{amoniaco}} < 33,70 \text{ mg/L}$), o resultado também foi satisfatório, ver Tabela 38, Tabela 39 e Tabela 40.

Tabela 38. Resultado do monitoramento analítico do esgoto nos meses de julho e agosto, 2017

Data de coleta da amostra →	18/07/2017 (JUL)						23/08/2017 (AGO)					
Parâmetros ↓	Ponto de Amostragem					Redução	Ponto de Amostragem					Redução
	PA-01	PA-02	PA-03	PA-04	PA-05		PA-01	PA-02	PA-03	PA-04	PA-05	
<i>pH (a 25°C)</i>	6,87	7,82	7,55	7,4	7,36	-	7,05	7,01	6,9	6,8	6,9	-
<i>DBO (mg/L)</i>	394	114	104	86,2	29,2	92,6%	476	140	96	51,6	26,2	94,5%
<i>DQO (mg/L)</i>	988	373	249	217	64	93,5%	986	308	235	114	74	92,5%
<i>Temperatura (°C)</i>	21,9	23	22,5	20,8	19,6	-	23,1	23,6	23	23,7	23,4	-
<i>Nitrogênio Amoniacal (mg/L)</i>	97,3	55,4	55,1	48,5	26,8	72,5%	96,8	14,8	51,9	45,7	34,4	64,5%
<i>Nitrogênio Total (mg/L)</i>	106	55,5	63,5	56,9	26,8	74,7%	111	58,2	61	48,7	44,5	59,9%
<i>Fosfato (mg/L)</i>	2,15	1,4	1,35	1,9	1,2	44,2%	19,9	70	13,8	17,3	15,9	20,1%
<i>Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)</i>	2,42E+06	2,90E+05	3,25E+05	1,37E+05	3,55E+04	98,5%	2,42E+06	1,20E+05	2,48E+05	1,12E+06	5,91E+04	97,6%

Fonte: Elaborado pela autora com base nas análises laboratoriais cedidas por Phytorestore. O laboratório responsável pela coleta e análise das amostras é o Mérieux NutriSciences, localizado em Piracicaba-SP. As análises estão certificadas pelo processo comercial N°9601/2017-8

LEGENDA:

	Parâmetro com entrada acima do previsto na estimativa de caracterização do esgoto (Tabela 29. Estimativa de caracterização do efluente misturadoTabela 29)
	Parâmetro com saída que atende às exigências do CONAMA 430/2011
	Parâmetro com saída que não atende às exigências do CONAMA 430/2011

Tabela 39. Resultado do monitoramento analítico do esgoto nos meses de setembro e outubro, 2017

Data de coleta da amostra →		21/09/2017 (SET)					11/10/2017 (OUT)					
Parâmetros ↓	Ponto de Amostragem					Redução	Ponto de Amostragem					Redução
	PA-01	PA-02	PA-03	04	PA-05		PA-01	PA-02	PA-03	PA-04	PA-05	
<i>pH (a 25°C)</i>	7,1	7,15	7,11	-	6,91	-	7,35	7,27	7,18	7,17	7,15	-
<i>DBO (mg/L)</i>	226	63,3	55,8	-	24,9	89,0%	418	157	53,3	38,7	28,5	93,2%
<i>DQO (mg/L)</i>	578	182	137	-	76	86,9%	962	470	149	105	72	92,5%
<i>Temperatura (°C)</i>	25,9	25,9	25,5	-	25,4	-	26,9	25,9	25,9	25,5	25,6	-
<i>Nitrogênio Amoniacal (mg/L)</i>	27,8	41,4	46,1	-	18,8	32,4%	131	48,8	56,3	47,1	29	77,9%
<i>Nitrogênio Total (mg/L)</i>	53,5	54,4	48,7	-	29	45,8%	149	114	59,5	57,5	38,6	74,1%
<i>Fosfato (mg/L)</i>	7,35	12,3	12,9	-	5,9	19,7%	13,3	12,2	13,6	14,4	10,7	19,5%
<i>Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)</i>	2,42E+06	8,42E+04	2,43E+04	-	3,50E+02	100,0%	2,42E+06	9,80E+05	5,48E+05	3,45E+05	2,65E+04	98,9%
<i>Sólidos Suspensos Totais (mg/L)</i>	336	44	5	-	5	98,5%	207	302	33	11	5	97,6%

Fonte: Elaborado pela autora com base nas análises laboratoriais cedidas por Phytoresource. O laboratório responsável pela coleta e análise das amostras é o Mérieux NutriSciences, localizado em Piracicaba-SP. As análises estão certificadas pelo processo comercial N°9601/2017-8

LEGENDA:

	Parâmetro com entrada acima do previsto na estimativa de caracterização do esgoto (Tabela 29. Estimativa de caracterização do efluente misturadoTabela 29)
	Parâmetro com saída que atende às exigências do CONAMA 430/2011
	Parâmetro com saída que não atende às exigências do CONAMA 430/2011

Tabela 40. Resultado do monitoramento analítico do esgoto nos meses de novembro e dezembro, 2017

Data de coleta da amostra →	14/11/2017 (NOV)						18/12/2017 (DEZ)					
Parâmetros ↓	Ponto de Amostragem					Redução	Ponto de Amostragem					Redução
	PA-01	PA-02	PA-03	PA-04	PA-05		PA-01	PA-02	PA-03	PA-04	PA-05	
<i>pH (a 25°C)</i>	7,11	7,07	7,06	7,08	7,1	-	6,33	-	-	-	7,16	-
<i>DBO (mg/L)</i>	567	236	11,9	31,3	22,9	96,0%	490	-	-	-	24,5	95,0%
<i>DQO (mg/L)</i>	1300	566	286	95	134	89,7%	1930	-	-	-	60	96,9%
<i>Temperatura (°C)</i>	26,6	25,9	25,8	26,4	25,5	-	27,6	-	-	-	26,7	-
<i>Nitrogênio Amoniacal (mg/L)</i>	113	30,9	42,7	46,8	28,2	75,0%	85,9	-	-	-	39,5	54,0%
<i>Nitrogênio Total (mg/L)</i>	139	57,6	55,6	59,5	37,3	73,2%	119	-	-	-	46,4	61,0%
<i>Fosfato (mg/L)</i>	14,4	10,9	11,8	12,8	8,16	43,3%	29,4	-	-	-	12,2	58,5%
<i>Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)</i>	2,42E+06	1,55E+06	6,02E+05	1,85E+05	5,10E+03	99,8%	2,42E+06	-	-	-	2,00E+03	99,9%
<i>Sólidos Suspensos Totais (mg/L)</i>	212	341	138	22	5	97,6%	596	-	-	-	5	99,2%

Fonte: Elaborado pela autora com base nas análises laboratoriais cedidas por Phytoresource. O laboratório responsável pela coleta e análise das amostras é o Mérieux NutriSciences, localizado em Piracicaba-SP. As análises estão certificadas pelo processo comercial N°9601/2017-8

LEGENDA:

	Parâmetro com entrada acima do previsto na estimativa de caracterização do esgoto (Tabela 29. Estimativa de caracterização do efluente misturadoTabela 29)
	Parâmetro com saída que atende às exigências do CONAMA 430/2011
	Parâmetro com saída que não atende às exigências do CONAMA 430/2011

c) Monitoramento Hídrico

O operador deve fazer leituras diárias do registro de contagem de bateladas de alimentação dos Jardins Filtrantes. Uma vez que o volume de cada batelada é constante, é possível estimar aproximadamente a vazão diária de recebimento de efluente. A leitura deve ser realizada sempre na mesma hora do dia (de preferência pela manhã) e o valor deve ser anotado em planilha de registro assim que coletado. A diferença entre o volume acumulado, ou número de bateladas, de um dia e o volume acumulado, ou número de bateladas, no dia anterior resulta na vazão diária que foi lançada no JF.

d) Observação dos elementos dos Jardins Filtrantes

A observação rotineira dos elementos dos Jardins Filtrantes é uma medida de manutenção preventiva, uma vez que permite aos operadores reparar eventuais problemas na iminência de sua formação. Toda observação que fuja do comportamento convencional do JF, seja em relação a estruturas físicas, à saúde das plantas, ou a situações de operação/manutenção, devem ser registradas em diário de operação e comunicadas à Phytorestore, para avaliação da necessidade de se tomar ações corretivas imediatas, planejamento de ações a longo prazo ou um acompanhamento mais crítico dos eventos pertinentes.

A observação dos elementos dos Jardins Filtrantes deve ser incorporada à rotina dos operadores e recomenda-se que ela seja realizada diariamente. Para cada elemento do JF, algumas particularidades devem ser consideradas:

AERAÇÃO E BOMBEAMENTO

Durante a observação dos elementos do JF, deve-se atentar aos aeradores e às boias de nível situados no tanque de aeração. Os primeiros são componentes de insumo elétrico e a interrupção de seu funcionamento pode afetar a qualidade do tratamento ou causar transbordamento no tanque. Já as boias de nível, devido ao acionamento mecânico, podem ficar presas, enroscadas ou travadas, o que afeta diretamente nos níveis de acionamento e desligamento das bateladas.

Portanto, diariamente, deve-se observar pelas tampas de inspeção o nível de efluente no tanque, que em situação normal não deve ultrapassar 200cm nem estar abaixo de 145cm de profundidade. Se o nível estiver fora desse campo, pode ter ocorrido problema na alimentação automática ou nas boias de nível, que devem ser avaliados. Deve-se atentar também às luzes e sons de alerta no painel elétrico. Eles indicam se algum dos elementos está com problemas elétricos e qual deles foi afetado.

O funcionamento do aerador pode ser facilmente distinguido por audição ou observação. Quando ele está funcionando, ele emite um ruído característico e agita visivelmente o efluente contido no tanque. Portanto, deve-se diariamente abrir a tampa de inspeção do tanque de aeração para verificação do funcionamento do aerador. Caso ele não esteja agitando o efluente, pode ser devido ao descanso programado, portanto recomenda-se nova observação depois de 15 min, se ele persistir desligado, pode haver algum problema. A luz amarela no painel indica se houve defeito técnico.

Os aeradores devem agitar todo o volume do tanque. Caso a área de atuação esteja menor, o aerador pode ter sofrido uma perda de potência ou estar entupido. Em ambos os casos, deve-se remover o aerador do tanque de forma adequada para identificação e solução do problema antes de retorná-lo ao seu funcionamento normal.

SAÚDE DAS PLANTAS

Caso seja identificado qualquer um desses fenótipos, o operador deverá registrar a situação observada no diário de operação, manter um acompanhamento crítico dessa ocorrência e determinar como devem atuar para sanar o problema, monitorando até que seja solucionado. É importante analisar a possível causa da ocorrência, para que possa ser controlada e não só remediada.

Assim, se a saúde da planta não estiver boa, haverá sinais identificáveis ao olhar, ao tato, olfato, etc. Pode-se enumerar, por exemplo:

- áreas amareladas ou com colorações que fogem à normalidade;
- áreas corroídas (com buracos ou falhas nas folhas);

- desidratação das partes aéreas;
- aglomeração de massas anormais em regiões específicas (como textura de espuma ou emulsificações)
- corpo do vegetal pendente para um lado (não consegue se sustentar);
- bolinhas, calosidades ou outros tipos de corpos que formem relevos não típicos da espécie.

Algumas situações que podem ser observadas nas plantas do Jardim Filtrante são:

- Mudanças de coloração

Assumindo que a maior parte dos vegetais utilizados possui seu caule e folhas em matizes de verde, é comum que os mesmos apresentem amarelamento. O amarelamento de folhas pode acontecer em decorrência de diversos fatores, por exemplo:

- presença de insetos, como ácaros e nematoides;
- falta de nutrientes ou de hidratação;
- troca natural de folhagem devido a sazonalidade
- alta exposição à luz solar (pode não indicar um problema)

Espécies que não são verdes (como a *Colocasia esculenta* var. *nigra*) também podem apresentar variações de coloração que indicam problemas. É necessário atentar para qualquer desvio das condições normais, avaliar e tomar a providência correta.

- Insetos

É típico de alguns insetos fazerem seus ninhos em plantas ou utilizarem-nas para construir estruturas ou, ainda, para alimentação. Formigas, gafanhotos, libélulas, entre outros são alguns exemplos de insetos que podem estabelecer relações (saudáveis ou não) com as plantas do Jardim Filtrante.

É preciso atentar para as nervuras e embaixo das folhas, detectando se não há pequenos pontos que, muitas vezes, ainda podem ser verdes, tornando a identificação mais

difícil. Tais pontos podem ser ovos ou insetos em fase inicial de vida (como cochonilhas ou trips) e, se não forem removidos, podem se alastrar por todo o Jardim Filtrante.

Os insetos que cortam parte da planta (como formigas cortadeiras) devem ser observados e os olhos dos formigueiros prontamente identificados para sua remoção, evitando que colônias se instalem perto do sistema. É importante nunca usar nenhum tipo de inseticida químico que possa contaminar o líquido em tratamento e comprometer os resultados finais. Sempre utilizar de técnicas naturais e que não prejudiquem a biodiversidade saudável do local.

- Manchas

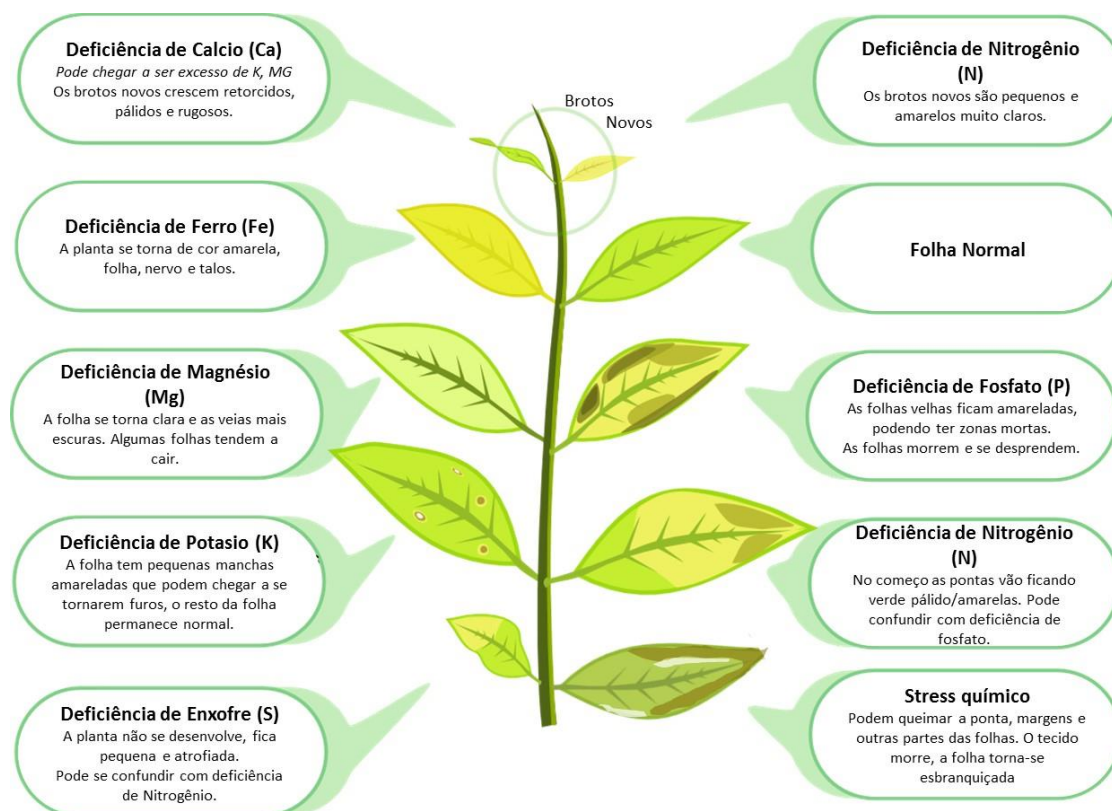
As manchas podem caracterizar sintomas de doenças fúngicas. Podem ter tons de vermelho, alaranjado, branco ou amarelo. A ferrugem é um tipo de ataque fúngico comum que necessita de remoção completa das partes afetadas, uma vez que o tratamento não é possível sem o uso de defensivos (que devem ser evitados).

Manchas pretas podem caracterizar fumagina, um fungo que se desenvolve sobre a seiva da planta expelida pelas cochonilhas. Neste caso, deve-se procurar pelos insetos e também pela presença de formigas, que fazem a consorciação com a cochonilha.

Os dois exemplos citados são bastante comuns entre os diversos que podem acometer os vegetais. Muitas vezes não é necessário identificar exatamente qual o organismo que causa a patologia, mas apenas sabendo sua origem (fúngica, bacteriana, virótica, etc.) já é possível selecionar um tratamento adequado.

Além do diagnóstico da saúde das plantas, outros aspectos devem ser observados nos Jardins Filtrantes. A aparição de ervas daninhas e pragas, a competição por espaço entre as espécies, alterando a configuração determinada em projeto, e a formação de espaços vazios e clarões entre as touceiras são determinantes para controlar o momento de se realizar as atividades de manutenção.

Figura 65. Sinalizadores de deficiência de nutrientes nas plantas



Fonte: Imagem cedida por Phytorestore Brasil

COLMATAÇÃO

A colmatação nada mais é do que a obstrução, o entupimento, de parte do filtro. Essa obstrução pode se dar pelo acúmulo de matéria orgânica do efluente, acúmulo de biomassa das plantas (raízes, folhas e flores decompostas...), lançamentos de efluentes que possam ser agressivos aos Jardins, entre outros. **A colmatação não deve existir no sistema quando houver correta operação do mesmo.**

Deve-se realizar o rodízio dos filtros corretamente para mineralização dos sólidos, não acumular água nos FV, manutenção verde adequada e controle dos efluentes lançados nos Jardins, essas são algumas das medidas preventivas quanto à colmatação. No entanto, quando esse fenômeno ocorre, são formados caminhos preferenciais do fluxo de efluente, afetando a eficiência de tratamento e contribuindo para a aceleração do processo de colmatação no filtro inteiro.

No FV, a colmatção é identificada quando o efluente não percola pelo filtro após a alimentação. É normal uma lâmina de efluente de 3 cm por até 5 minutos após o término do lançamento. Mais que isso já indica princípios de colmatção. Nesses filtros, o período de descanso seco é importante para a mineralização da carga orgânica acumulada na superfície, além da remoção constante de biomassa morta das plantas depuradoras.

No FH, a colmatção é perceptível quando, em operação a nível normal, começa a ser visível lâmina de água nos filtros. Ou seja, existe algum bloqueio dentro do filtro que faz com que o efluente busque a superfície com caminho preferencial. As principais causas de colmatção no FH são a deposição de matéria orgânica das plantas depuradoras sem a remoção adequada e o acúmulo de sólidos no fundo do filtro, geralmente provenientes de cargas de efluente não suportadas pelos Jardins.

LAGOA PLANTADA

Assim como foi descrito para a saúde das plantas, os operadores deverão ter um olhar crítico em relação à lagoa plantada. Alguns pontos a serem observados são o surgimento de algas, a cor e a transparência da água, a competição por espaço entre as espécies, o surgimento de novas espécies de plantas e a ocorrência de eutrofização.

No caso de surgimento de algas ou novas espécies, ou de competição por espaço entre as plantas, o operador deve seguir as instruções descritas no item Manutenção Verde. No caso de águas mais escuras, turvas ou com aparência esverdeada (eutrofização), deve ser feita a recirculação da água da lagoa até que a aparência e a qualidade analítica apresentem melhores resultados. No caso de persistir, além dessas medidas, deve-se avaliar se o efluente que entra na lagoa está com qualidade alterada e tomar as devidas providências para que ele volte a verter como o esperado.

CAIXAS DE PASSAGEM E TUBULAÇÕES

As caixas de passagem, ou poços de visita (PV) são os elementos de inspeção e acesso às tubulações e válvulas do sistema. Por eles, é capaz de se identificar entupimentos de

tubulação, eventuais infiltrações e contaminações, além de fornecerem acesso para manobra de válvulas e coleta de amostras.

Como há passagem de efluente tratado por eles, é interessante que estejam sempre limpos e em bom estado de conservação. Deve ser realizada observação semanal dos PVs, abrindo as tampas das caixas e verificando se há necessidade de manutenção ou limpeza de algum dos elementos.

e) Manutenção Verde

Dentre os principais objetivos das tarefas de manutenção verde a serem apresentadas, destacam-se:

- Garantir o crescimento saudável dos vegetais;
- Evitar que resíduos orgânicos possam se acumular nos substratos e interferir nos resultados do tratamento;
- Garantir que o plano de plantação original permaneça com sua forma concebida em projeto;
- Dar continuidade às qualidades estéticas do conjunto;
- Identificar problemas em seu estágio inicial, para rápida correção sem prejuízos ao tratamento.

O principal processo de manutenção para as plantas dos Jardim Filtrantes são as podas. Com objetivos e procedimentos variados, elas se dividem em 3 tipos:

- Poda de limpeza;
- Poda de alinhamento;
- Poda de regeneração.

Além das podas, há processos auxiliares que devem ser considerados. São eles:

- Remoção de daninhas e pragas;
- Remoção de matéria orgânica acumulada;

- Divisão de touceiras;
- Replantio;
- Manejo de resíduos.

A seguir estão apresentadas cada atividade a ser desenvolvida durante a execução da Manutenção das Plantas Depurativas, desde os diferentes tipos de poda até os demais procedimentos a serem adotados. A maior parte desses procedimentos parte de situações analisadas na observação da saúde das plantas e das condições da lagoa plantada.

PODA DE LIMPEZA

A poda de limpeza é caracterizada pela remoção das partes aéreas (folhas, caules e flores) mortas, danificadas ou doentes. Uma vez observados os sinais de saúde/patologia, deve-se remover todas as partes danificadas ou em processo de definhamento que podem estar conectadas à planta. As partes que porventura já tenham caído no substrato também devem ser removidas, a fim de não recobrir sua superfície e criar uma camada de matéria em decomposição.

Caso a poda das partes mortas acabe por desequilibrar a haste principal do espécime, fazendo-o pender para algum lado ou tombar, pode-se tomar como medida a poda de partes saudáveis para que o balanceamento de pesos mantenha o vegetal em posição vertical. É necessário ter cuidado para não podar além do necessário.

Tabela 41. Instruções para realização da poda de limpeza

NOME	ATIVIDADE	PERÍODO	REPETIÇÃO
Poda de limpeza	Remover folhas, galhos, flores e outros que estejam mortos ou danificados, na planta ou no substrato	Diariamente (notar quantos dias são necessários para limpeza total do Jardim Filtrante)	Iniciar novamente quando terminar a limpeza do último filtro

Fonte: Adaptado pela autora de arquivos cedidos por Phytoresource

PODA DE ALINHAMENTO

A poda de alinhamento é caracterizada pela retirada parcial ou total de vegetais que estejam fora dos canteiros que foram designados no plano de plantação original. Com o

crescimento e as diferenças do ciclo de vida de cada espécie, as plantas tendem a se misturar e o desenho traçado na etapa de plantio começa a se dissolver dentro das massas de vegetação.

Para manter o alinhamento dos limites dos canteiros conforme projetado, é necessário ter em mãos o Plano de Plantação desenvolvido em projeto. Uma vez identificada a espécie a ser podada, deve-se tentar manter a organização espacial com as curvas e retas de acordo com o traçado no papel. Se necessário, pode-se usar materiais auxiliares como:

- Linhas de náilon (ou barbantes)
- Piquetes de marcação

Caso a retirada das mudas invasoras ocasione buracos vazios nos maciços de plantas, deve-se posicionar um novo exemplar da espécie de interesse no mesmo lugar, a fim de manter a uniformidade das massas. O novo exemplar poderá ser obtido por divisão de touceira ou compra de outro exemplar da mesma espécie.

Tabela 42. Instruções para realização da poda de alinhamento

NOME	ATIVIDADE	PERÍODO	REPETIÇÃO
Poda de alinhamento	Remover plantas ou parte delas que estejam invadindo outros maciços, a quantidade necessária de cada espécie para tratamento	Observação diária	Sempre que algum maciço estiver perdendo sua forma inicial projetada.

Fonte: Adaptado pela autora de arquivos cedidos por Phytorestore

PODA DE REGENERAÇÃO

A poda de regeneração se caracteriza por uma remoção radical de quase toda a parte aérea da planta, deixando de 5 a 10 cm de altura apenas, a contar da superfície do substrato até a haste mais alta que ficar remanescente. Esta poda se faz necessária porque visa a promover um brotamento completamente novo da planta, retomando sua força para o desenvolvimento satisfatório em um novo ciclo.

Cada espécie plantada no Jardim Filtrante apresenta ciclo de vida de tamanho característico e, para aliar a necessidade funcional da poda à manutenção paisagística dos

jardins, recomenda-se que a poda de regeneração seja feita para cada espécie separadamente. Assim, deve-se seguir as frequências da tabela abaixo:

Tabela 43. Instruções sobre frequência da poda de regeneração

NOME CIENTÍFICO	NOME POPULAR	FREQUÊNCIA DE PODA DE REGENERAÇÃO
<i>Canna x generalis</i> <i>Thalia geniculata</i> <i>Heliconia rostrata</i>	Biri Tália Helicônia Bananeira	Quadrimestral
<i>Echinodorus macrophyllus</i> <i>Heliconia psittacorum</i> <i>Andropogon bicornis</i> <i>Limnocharis flava</i> <i>Equisetum giganteum</i> <i>Pontederia cordata</i> <i>Pontederia parviflora</i> <i>Cyperus giganteus</i>	Chapéu de couro Helicônia papagaio Rabo de burro Mureré Cavalinha Pontedéria Orelha de veado Papiro gigante	Anual
<i>Nymphaea spp.</i>	Ninfeia	Devem ser realizadas apenas as podas de limpeza e de alinhamento, não havendo programação para poda regenerativa dessa espécie

Fonte: Adaptado pela autora de arquivos cedidos por Phytoresource

Para as plantas cujo ciclo é mais extenso que um ano, será feita uma poda de regeneração anual. É recomendado que essa poda seja efetuada durante o início da estação mais extrema (desfavorável ao crescimento). No caso do Brasil, o inverno. Durante o inverno, diversas gemas e ápices entram em dormência, fazendo com que a planta apenas gaste energia para mantê-los vivos sem que, de fato, estes contribuam com a estrutura da mesma. Portanto, é vantajoso deixá-la com pouca massa que consuma energia para que brote na primavera com bastante força.

A poda de regeneração é severa, porém deve ser parcimoniosa. Não se pode cortar as folhas da planta em sua totalidade. Deve-se preferir remover as mais velhas, de aspecto mais desgastado. As folhas jovens, de verde vivo e com textura tenra devem ser mantidas para garantir o mínimo de fotossíntese para o vegetal.

Deve-se atentar para a remoção de resíduos de poda e matéria orgânica que se depositam sobre o substrato nessa operação. Esse material deve ser removido antes de sua decomposição e destinado juntamente com a biomassa podada.

Tabela 44. Instruções para realização da poda de regeneração

NOME	ATIVIDADE	PERÍODO	REPETIÇÃO
Poda de regeneração	Remoção de toda a parte aérea da planta deixando de 5 a 10 cm de caule com algumas folhas	Para cada espécie, seguir instruções da Tabela 43	Quadrimestral ou anual, dependendo da espécie.

Fonte: Adaptado pela autora de arquivos cedidos por Phytoresource

REMOÇÃO DE DANINHAS E PRAGAS

As ervas daninhas e pragas podem aparecer de forma espontânea no Jardim Filtrante, tanto sobre o substrato quanto sobre os taludes que contornam os filtros. Apesar de configurarem parte do equilíbrio natural, sua presença não é desejada porque estabelecem competição com as plantas depurativas em matéria de nutrientes, luz e água. Além disso, desconfiguram a estética do Plano de Plantação.

O monitoramento do surgimento de ervas daninhas e pragas deve ser feito diariamente, evitando que infestações muito grandes se alastrem por muito tempo. Em geral, a distinção das diferentes ervas é feita com base no seu tipo de propagação: por rizoma ou por semente. Para conseguir controlar as ervas com eficácia e a longo prazo, deve saber a que tipo pertencem.

As ervas de propagação por semente, por norma, florescem no verão. Suas sementes podem regressar à superfície quando o substrato é escavado e voltar a germinar. O corte das ervas de propagação por semente enquanto estão em flor encoraja o crescimento. É recomendável remover este tipo de erva na primavera, antes de sua floração (caso haja uma infestação muito grande). Alguns exemplos comuns de ervas de propagação por semente são: bolsa-de-pastor, morrião, catassol e tanchagem.

As ervas de propagação por rizoma disseminam-se em grande parte subterraneamente através das suas raízes e só numa pequena escala através das sementes. Se

involuntariamente deixar algumas raízes para trás durante a sua remoção, a erva reaparecerá. Exemplos comuns de ervas de propagação por rizoma: relvados temporários, dentes-de-leão e grama resistente.

Para evitar ter de recorrer a herbicidas químicos, recomenda-se a utilização de métodos naturais e tradicionais, como a retirada manual da erva, ou a utilização de uma técnica de calor (fogo). A retirada da erva à mão nem sempre é prática se esta for muito numerosa. A erva na camada mais superficial pode ser facilmente removida. A chamasca é também um modo eficaz de destruir erva. Este método é particularmente útil em locais que não possam ser sachados. O calor tem a duração de poucos segundos, mas destrói completamente a erva em poucos dias.

Tabela 45. Instruções para remoção de daninhas e pragas

NOME	ATIVIDADE	PERÍODO	REPETIÇÃO
Remoção de daninhas e pragas	Remover espécimes que eventualmente apareçam nos Jardins e nos taludes, sem que esteja definido no projeto	Diariamente (notar quantos dias são necessários para limpeza total do Jardim Filtrante)	Iniciar novamente quando terminar a limpeza do último filtro

Fonte: Adaptado pela autora de arquivos cedidos por Phytoresource

DIVISÃO DE TOUCEIRAS

A divisão de touceiras, ou também chamada de divisão de rizomas, é uma das técnicas mais utilizadas na jardinagem para propagação vegetativa de plantas. A técnica consiste no corte dos rizomas subterrâneos, gerando novas plantas. As plantas utilizadas no Jardim Filtrante têm como característica um grande desenvolvimento dos seus rizomas, sendo esta característica favorável para a divisão de touceiras.

As plantas denominadas “entouceiradas”, geralmente não podem ser reproduzidas por estaquia, enxertia ou alporquia. Normalmente essas plantas podem ser reproduzidas por sementes, demorando mais a atingir a fase adulta e florescer, do que as mudas geradas por divisão de touceiras. Além disso, a divisão de touceiras é um método fácil e mais garantido, ideal para multiplicações em pequena escala.

PROCEDIMENTOS:

- Remoção da planta do substrato - Certifique-se de que a planta já pode ser dividida, contando-se o número de brotações, que em geral, devem ser de no mínimo 6. A planta deve ser totalmente retirada do substrato de britas (ou areia) para avaliação. A retirada deve ser realizada com muito cuidado para que o rizoma não seja prejudicado e se separe da parte aérea.
- Divisão das partes - Retire o excesso de solo ou material agregado, para que o rizoma e as raízes possam ser vistos melhor. Separe a planta em partes que contenham pelo menos 3 brotações, para que haja melhor fixação. Assim, obtém-se novas mudas da planta.
- Plantação - A nova muda já pode ser plantada em seu local definitivo.

Tabela 46. Instruções para divisão de touceiras

NOME	ATIVIDADE	PERÍODO	REPETIÇÃO
Divisão de touceiras	Separar uma planta que possa ser dividida em mudas e replantar em espaços vazios do maciço	Eventual	Sempre que algum maciço apresentar espaços vazios ou clarões entre as plantas

Fonte: Adaptado pela autora de arquivos cedidos por Phytorestore

REPLANTIO

Mesmo com o cuidado constante do Jardim Filtrante, pode acontecer de alguns vegetais definharem por não serem resistentes o suficiente. Uma vez que morrem, devem ser substituídos por outros exemplares da mesma espécie. O replantio pode acontecer através da obtenção de novos exemplares por divisão de touceiras das plantas remanescentes ou pela compra direta de mudas.

Na divisão de touceiras (explicitada no item anterior), deve-se atentar para a saúde geral dos indivíduos e se o número de brotos é adequado para que formem novas plantas com força suficiente para sobreviver. No caso de compra direta, é necessário observar se o torrão da nova planta não traz consigo ervas daninhas, pragas ou outros elementos estranhos que possam se alastrar pelo Jardim Filtrante. Limpar adequadamente o torrão antes de posicioná-lo no local de plantação. Jamais adubar o substrato ou a cova onde será planto o vegetal. O

adubo contém nutrientes que podem adulterar os resultados de tratamento. Os nutrientes oferecidos pelo efluente em tratamento serão suficientes para o desenvolvimento das plantas.

Tabela 47. Instruções para replantio

NOME	ATIVIDADE	PERÍODO	REPETIÇÃO
Replântio	Plantio de novas plantas adquiridas de uma espécie que esteja em deficiência numérica	Eventual	Sempre que algum maciço apresentar espaços vazios ou clarões entre as plantas, e não houver como fazer divisão de touceiras

Fonte: Adaptado pela autora de arquivos cedidos por Phytorestore

MANEJO DE RESÍDUOS

As atividades de poda, remoção de daninhas, limpeza verde dos filtros e dos taludes geram uma quantidade considerável de biomassa toda semana. Essa biomassa é de caráter inerte e não contaminante, sendo considerada resíduo de Classe II – Não Perigoso. Mesmo assim, deve ser definida uma destinação ambientalmente adequada para esses resíduos, uma vez que o seu acúmulo pode gerar poluição visual e odores, além de atrair animais e insetos. Uma solução interessante é a valorização dessa biomassa em composto.

f) Recirculação

A estrutura hidráulica de recirculação visa melhorar a qualidade do efluente final, proteger e preservar a lagoa plantada, em casos de anormalidade na caracterização do efluente que chega do FH. Os principais objetivos da recirculação de operação são:

- aumentar a velocidade de fluxo dentro da lagoa plantada, evitando a estagnação da água, que gera condições ideais para o desenvolvimento de algas;
- renovar a massa de água da lagoa, utilizando os filtros para reter possíveis algas e fazer um polimento da qualidade dessa água antes de retornar à lagoa plantada.

Na operação normal do sistema, não deve haver necessidade de recirculação. A necessidade de recirculação aparece quando há entrada de algum efluente desconhecido, dano de alguma fase do sistema, necessidade de irrigação, baixo lançamento de efluente comparado à capacidade máxima, entre outros motivos.

g) Manutenção de equipamentos e partes do sistema

Existem dois tipos de manutenção que devem ser contemplados em todos os equipamentos e partes do sistema: manutenção preventiva e manutenção corretiva. A manutenção preventiva é feita periodicamente, de forma a manter todos os equipamentos e partes do sistema em bom funcionamento, diminuindo-se assim a probabilidade da ocorrência de problema e, portanto, de manutenção corretiva.

Tabela 48. Instruções para manutenção preventiva

MANUTENÇÃO PREVENTIVA DOS JARDINS FILTRANTES			
Parte/Equipamento	Operação	Frequência	Descrição
Bombas e aeradores	Seguir orientações do manual do fabricante		Remover a bomba ou aerador por içamento, sempre que for necessário
Válvulas	Checagem e movimentação	Mensal	Uma vez por mês, abrir e fechar as válvulas que não estão sendo utilizadas e depois voltar para a posição em que estava. As demais já são manobradas semanalmente na operação.
Painel elétrico	Verificação e checagem de funcionamento	Diária	Verificar se todos os elementos elétricos estão funcionando bem

Fonte: Adaptado pela autora de arquivos cedidos por Phytorestore

A manutenção corretiva deve ser feita sempre que for identificado um problema em alguma parte ou equipamento do sistema. Deve ser feita de modo a corrigir o problema com o menor impacto possível para o sistema. Se as atividades relacionadas à manutenção preventiva forem executadas adequadamente, a manutenção corretiva só será necessária em casos de adversidade muito raros.

Os problemas de maior frequência podem ocorrer nos equipamentos de insumo elétrico, como as bombas, os aeradores e os sensores de nível. Dessa maneira, é sempre previsto em projeto um equipamento reserva para continuar a operação enquanto o que apresentou defeito passa pela manutenção.

Outros equipamentos que podem ser danificados ao longo do processo e estão sujeitos à manutenção corretiva são as válvulas, tubulações e acessórios, a manta

impermeabilizante e o geotêxtil de proteção da manta. Para válvulas, tubulações e acessórios, deve-se primeiro considerar o conserto e a limpeza antes de optar pela troca do equipamento. Já para a manta e o geotêxtil, é importante verificar se o dano está em um nível que pode causar vazamentos ou infiltrações, o que passa a caracterizá-lo como uma situação de crise.

h) Sistemas elétricos e automatizados

O quadro elétrico instalado na casa de bombas da ETE tem como função controlar a distribuição de energia e o funcionamento dos equipamentos que a exigem no JF. São eles: válvulas automáticas de alimentação, aeradores, sensores de nível e bombas de recalque e recirculação. Todos esses elementos são automatizados, de forma que não é necessária nenhuma atividade de operação rotineira utilizando o quadro de energia. Entretanto, é possível passar a alimentação dos Jardins para operação manual, alterar os níveis de trabalho dos filtros e ligar e desligar manualmente o aerador, caso haja alguma operação especial.

O quadro elétrico também conta com sistemas de aviso luminoso e sonoro em caso de falha no sistema, portanto deve sempre ser observado para monitoramento do funcionamento adequado dos elementos controlados por ele. Por eventos de mau funcionamento das boias das elevatórias, deve-se fazer checagem diária do funcionamento das boias de nível da Elevatória 02.

i) Segurança e Meio Ambiente

A operação do JF envolve atividades que estão susceptíveis a riscos de acidentes ergonômicos (abertura e fechamento de caixas de passagem e válvulas), físicos (radiação solar) e biológicos (bactérias, fungos, etc), segundo nas normas de segurança do trabalho. Portanto, é importante se realizar um mapeamento de riscos dessa operação.

Cada atividade demanda a utilização de EPIs específicos, mas podem ser citados, como exemplo, botas, perneiras, óculos escuros, luvas de borracha para análises, filtro solar. Como o JF desenvolve uma biodiversidade atrativa e natural, a presença de animais peçonhentos e/ou vetores de doença pode ser esperada, caso o entorno dos jardins o permita.

Portanto, é imprescindível que sempre haja atenção durante as atividades e a utilização de EPIs adequados.

j) **Síntese das atividades de operação e manutenção**

Tabela 49. Compilado de atividades realizadas na operação e manutenção dos Jardins Filtrantes

OPERAÇÃO				
ATIVIDADE	FREQUÊNCIA			
	Diária	Semanal	Mensal	Eventual
Rodízio de filtros				
Monitoramento Analítico Operacional				
Monitoramento Hídrico				
Observação dos elementos				
Recirculação				
Checagem do painel elétrico				
Movimentação de válvulas				
Manutenção Corretiva dos Equipamentos				
Verificação das boias Elevatória 02				
MANUTENÇÃO				
ATIVIDADE	FREQUÊNCIA			
	Diária	Quinzenal	Quadrimestral	Eventual
Poda de limpeza				
Poda de alinhamento				
Poda de regeneração				
Remoção de daninhas e pragas				
Divisão de touceiras				
Replântio				
Manejo de resíduos				
Lagoa plantada: poda, daninhas e pragas				
Lagoa plantada: algas				

Fonte: Adaptado pela autora de arquivos cedidos por Phytorestore

4.2.6 ESTÁGIO ATUAL DO SISTEMA

O sistema foi analisado durante os seis primeiros meses de operação, até o mês de dezembro de 2017. Neste último mês, os filtros verticais e horizontais, lagoa plantada e biovaletas encontravam-se quase totalmente preenchidos, com vegetação em porte médio. Os jardins ainda não se encontravam em grau de amadurecimento completo, porém as análises foram satisfatórias para a maior parte dos parâmetros monitorados.

Todas as atividades de manutenção foram desenvolvidas, sendo que a resposta da vegetação às podas, divisão de touceiras e replantio foram bem sucedidas. Todas as espécies se adaptaram ao clima, porém como o desenvolvimento ocorre em velocidades diferentes, foi observado que espécies mais robustas, como o biri, tinham a tendência de dominar o espaço, matando algumas mudas próximas. Devido a poda de limpeza, o controle de espécies foi bem sucedido e mantido o desenho do paisagismo original.

A bacia de retenção também apresentou bom desempenho, embora com seis meses de operação, o sistema passou por um dos meses mais chuvosos do ano de 2017 e não atingiu sua capacidade máxima de armazenamento. Segundo dados do Sistema Alerta Rio – Prefeitura do Rio de Janeiro, o acumulado do mês de novembro/2017, atingiu 92,2 mm de chuva, sendo que a bacia de retenção foi dimensionada para armazenar essa precipitação em 1 hora de evento chuvoso. O mês de maior chuva em 2017 foi janeiro, com acumulado mensal de 113,2 mm, conforme Tabela 50.

Tabela 50. Acumulados Mensais do ano de 2017

Dados Pluviométricos Mensais do ano 2017													
Nº	Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	Vidigal	109,4	6,4	132,2	194,6	23,6	131,8	20,0	46,6	8,6	63,4	85,0	68,4
2	Urca	116,4	18,0	124,6	125,2	21,8	124,4	21,0	40,2	7,4	57,2	67,2	52,4
3	Rocinha	149,8	5,4	172,2	276,6	15,2	219,4	37,6	72,4	17,6	100,8	119,6	109,4
4	Tijuca	122,4	33,2	66,6	73,8	11,2	163,0	41,0	64,8	10,8	61,6	105,8	109,0
5	Santa Teresa	80,0	11,0	144,0	160,6	31,2	193,0	23,2	57,6	9,8	55,8	89,0	73,0
6	Copacabana	50,8	5,8	165,2	155,4	23,8	125,2	21,0	43,0	7,8	53,2	66,0	75,6
7	Grajaú	133,0	20,0	103,0	166,2	32,8	185,4	28,2	52,6	9,2	36,4	80,0	81,4
8	Ilha do Governador	113,2	26,4	83,8	101,4	30,6	88,0	19,8	39,6	8,0	51,0	92,2	86,4

Fonte: Rede Alerta Rio – Prefeitura do Rio de Janeiro, em: <http://alertario.rio.rj.gov.br/acumulados-mensais>

Figura 66. Filtro Vertical 01



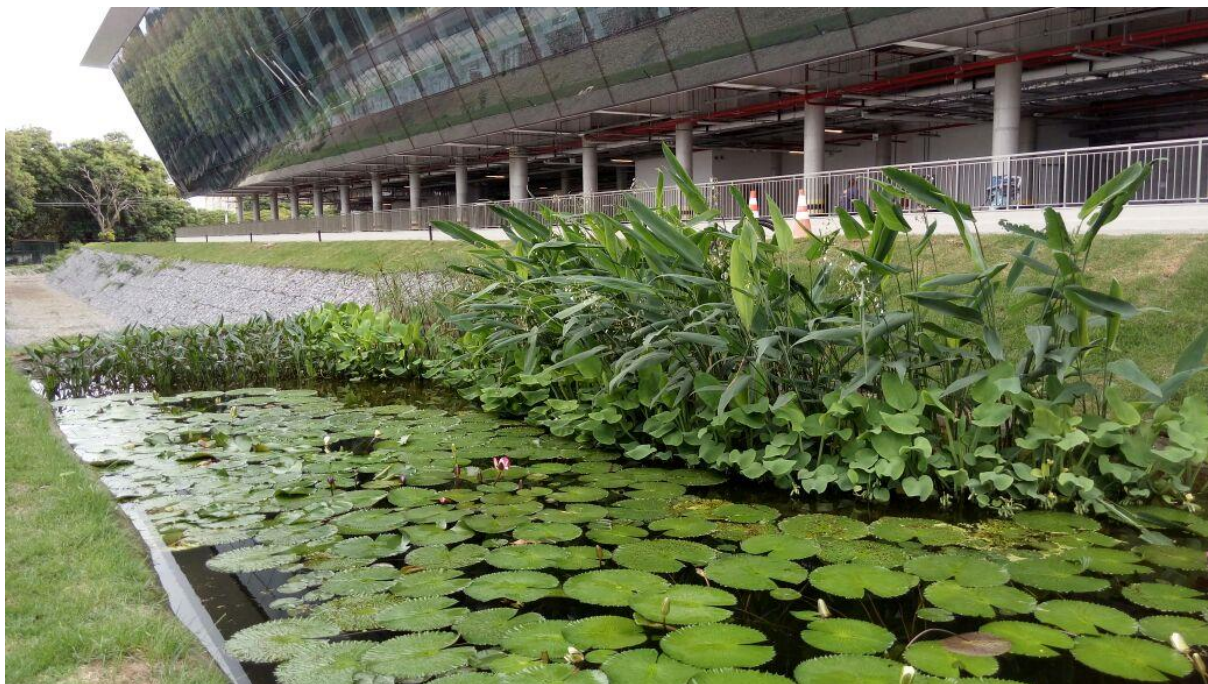
Fonte: Imagem cedida do acervo privado de Phytorestore Brasil

Figura 67. Filtros Horizontais (01 e 02)



Fonte: Imagem cedida do acervo privado de Phytorestore Brasil

Figura 68. Lagoa Plantada



Fonte: Imagem cedida do acervo privado de Phytorestore Brasil

Figura 69. Passeio entre jardins, olhar o espectador e percepção do espaço (tanque de aeração ao fundo)



Fonte: Imagem cedida do acervo privado de Phytorestore Brasil

Figura 70. Biovaleta leste, margeando a rua interna de acesso ao estacionamento



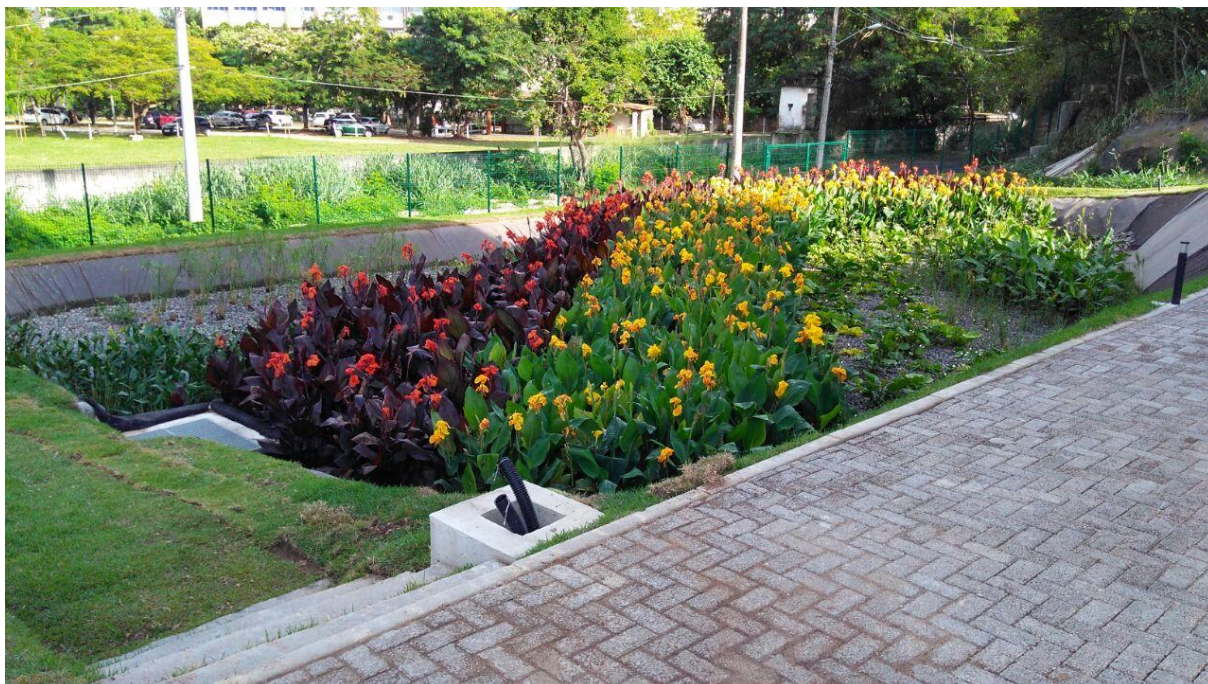
Fonte: Imagem cedida do acervo privado de Phytoresource Brasil

Figura 71. Biovaleta central do estacionamento



Fonte: Imagem cedida do acervo privado de Phytoresource Brasil

Figura 72. Jardim de chuva



Fonte: Imagem cedida do acervo privado de Phytorestore Brasil

Figura 73. Bacia de retenção após evento chuvoso intenso (novembro/2017)



Fonte: Imagem cedida do acervo privado de Phytorestore Brasil

5. CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve as raízes de sua motivação pautadas na relação entre o homem, a cidade e a natureza, mais especificamente no que tange as discussões sobre a corrente ecológica do novo urbanismo (FARR, 2006). A sobrevivência dos ecossistemas e das populações humanas exige uma mudança de perspectiva para ótica sistêmica entre as conexões da ecologia e do desenho urbano, unindo as ciências sociais e naturais com o fenômeno da urbanização, principalmente no que diz respeito ao uso e ocupação do solo (ALMEIDA et al., 2004; LEITE & AWAD, 2012).

“No plano da distribuição dos espaços, o capitalismo não sustentável caracteriza-se pela simultânea degradação do meio ambiente e pelo aprofundamento da desigualdade econômica.” (FIGUEIREDO, 2005)

O desenvolvimento urbano futuro está diretamente vinculado em como será a adaptação das cidades aos novos padrões de organização, harmonizando o trinômio água-solo-vegetação com as necessidades básicas das atividades humanas. Na visão do urbanismo ecológico existe uma preocupação em introduzir e manter os elementos naturais na cidade, fazendo da infraestrutura verde um mecanismo de resiliência na relação homem-natureza (PICKETT, CADENASSO, MCGRATH, 2013).

“Os fluxos de água têm um importante papel nos sistemas urbanos. No passado foram negligenciados e canalizados, o que tem causado grandes impactos ambientais em quase todas as cidades do mundo. Assim, a releitura desses fluxos pode contribuir para a conexão da ciência do Desenho Urbano e a ciência ecológica, como o desenho urbano sensível à água.” (ANDRADE, 2014, p.124)

A sociedade vem progredindo na maneira de administrar os resíduos humanos. À medida que a urbanização cresceu, o esgoto foi identificado como uma fonte de doenças e o que era completamente ignorado, passou a ser considerado. Os primeiros tratamentos de esgoto visavam apenas o descarte, isolando os dejetos do contato humano, sendo esta

melhoria claramente perceptível no nível visual e olfativo. A partir da segunda metade do século XX, o tratamento de esgoto passou a considerar o potencial nutritivo dos elementos presentes nesse líquido, como o nitrogênio, fósforo e potássio; incorporando o reuso para irrigação. O que era antes apenas um passivo financeiro e ambiental, passou a ser visto como recurso, aprimorando os métodos de tratamento e reutilização. Mais recentemente, os sistemas de tratamento com base ecológica vêm ganhando força, sendo que essa tecnologia é livre de produtos químicos, sequestra carbono, permite o reuso e pode ser integrada ao paisagismo urbano local, promovendo a valorização estética agregada a multifuncionalidade (GAUZIN-MULLER, 2002).

Essas estratégias buscam o equilíbrio entre população e sua base ecológica, bem como incentivo a responsabilidade ambiental e inovação tecnológica científica através de alternativas "limpas", ou seja, de baixo impacto. A meta é que a taxa de emissão de poluentes não supere a capacidade de absorção e transformação por parte do ar, da água e do solo. As respostas arquitetônicas às demandas da cidade representam um agente para transição de um meio urbano insustentável para o meio urbano sustentável através de um desenho estratégico e progressivo integrando pessoas, local e natureza.

Nesse contexto, a pesquisa buscou reconhecer a colaboração técnica da fitorremediação enquanto estratégia de projeto para a sustentabilidade urbana através de sua incorporação no desenho urbano por meio de dispositivos sensíveis à água e composição da infraestrutura verde urbana. Para isso uma revisão de literatura foi realizada, levantando dados relevantes já pesquisados nessa temática e, especialmente, um estudo de caso foi apresentado com aplicação prática da temática central – a Fitorremediação.

A técnica de fitorremediação aplicada a estruturas projetadas, também denominados como dispositivos fitorremediadores nesta dissertação, mostrou-se um processo natural, pouco intrusivo, eficiente e amplamente compatível com áreas verdes como jardins e parques, compondo áreas de convívio e lazer, além do enriquecimento da biodiversidade local. Justamente por ser um processo natural, podemos também observar algumas adversidades relacionadas a vulnerabilidade das plantas quanto às variações climáticas e doenças/pragas. Além disso, leva um certo tempo para o completo amadurecimento do dispositivo,

considerando o desenvolvimento da planta e a formação de uma robusta zona de raízes, sendo que a atuação ideal da fitorremediação não é imediata.

Muito além das questões de eficiência da fitorremediação, o estudo de caso trouxe a tendência participativa e integradora dos profissionais de arquitetura em projetos que integram o manejo das águas urbanas e a composição da infraestrutura verde. Para tanto, foi apresentado o processo integrado e multidisciplinar do projeto, desde o dimensionamento até a espacialização das tipologias em composição da paisagem. Além disso, o acompanhamento das obras civis e dos primeiros seis meses de operação e manutenção confirmam a viabilidade de implementação dessa solução.

O reconhecimento da colaboração técnica da fitorremediação a define como alternativa viável para composição de estratégias relacionadas ao manejo das águas urbanas e mitigação dos efeitos da urbanização em escala local. Embora esta pesquisa tenha-se voltado para a aplicação em terreno privado, as tipologias apresentadas podem ser aplicadas na escala urbana da bacia hidrográfica.

A aplicação da fitorremediação em escala urbana como uma estratégia capaz de colaborar na gestão das águas da cidade é uma proposta viável visto que o estudo de caso confirmou a flexibilidade da aplicação das tipologias e a eficiência técnica na melhoria da qualidade da água e mitigação da poluição difusa devido as características: (1) amortecimento e retenção dos escoamentos superficiais; (2) favorecimento da infiltração, evaporação e evapotranspiração; (3) promoção de processos físicos, químicos e biológicos responsáveis pela transformação dos contaminantes e (4) valorização da paisagem com a combinação das tipologias. No entanto há necessidade de monitoramento e manutenção à longo prazo para validação da solução ao longo do ciclo de vida. Entretanto, os aspectos relativos à manutenção do sistema ainda necessitam de outros estudos e análise. O estudo de caso aqui analisado não se aproxima das condições urbanas de manutenção das estruturas fitorremediadoras geralmente aplicadas no país. Para isto, é necessária a continuidade dos estudos de maneira a fomentar sua replicação extensiva em cidades brasileiras. No estudo de caso, por se tratar de área de propriedade privada, foram mantidas condições ideais de manutenção, como irrigação, poda e limpeza durante o período de monitoramento. Em contrapartida, em

aplicações públicas, seria necessário estudar um programa mínimo de manutenção, sem prejuízo à eficiência, mas talvez com menor rigor estético de jardinagem.

Além do aspecto positivo do processo de projeto integrador e participativo, os resultados deste trabalho abrem outras possibilidades para dispositivos fitorremediadores como o dimensionamento, desenho, manutenção e até mesmo nomenclatura dos elementos, pois as orientações apresentadas, bem como as terminologias adotadas neste trabalho, representam uma boa prática no assunto, mas que deve ser ampliada e aprimorada. A técnica de fitorremediação em si é de amplo conhecimento e seu uso e difusão podem ser reinterpretados, redesenhados e adaptados conforme com a visão de cada profissional e, especialmente, de acordo as condicionantes de cada região do país.

Uma das grandes vantagens na adoção desse sistema é a flexibilidade de tipologias e de arranjos, bem como diversas maneiras de dimensionar e desenhar de acordo com o objetivo de cada projeto. Ao projetar para metrópoles já consolidadas, por exemplo, onde o espaço é limitado, seria possível considerar biovaletas que se integram aos jardins de chuva, alargando sua seção em alguns momentos e depois retornando à uma seção mais estreita. É importante que o profissional entenda a liberdade criativa que esta estratégia apresenta, sendo que esse é um viés que valoriza ainda mais sua aplicação.

A partir do aprendizado com o estudo de caso em questão e das referências teóricas da temática, salientam-se as principais recomendações:

- É fundamental que a fase de concepção do projeto seja desenvolvida de maneira integrada entre arquitetos e demais frentes de trabalho. Nesta etapa, a compatibilização interdisciplinar promove ganhos técnicos, financeiros e valorização da paisagem;
- As disposição dos jardins deve levar em conta a topografia do terreno, horas de iluminação solar, interação homem-natureza e dimensionamento do sistema (áreas);
- O design dos jardins está relacionado com a sua tipologia, embora haja liberdade para criação, diretrizes mínimas devem ser atendidas para garantir a eficiência. Dessa maneira, os filtros horizontais devem seguir uma proporção retangular, para que a água

percorra o maior caminho, e a lagoa plantada deve evitar desenhos com cantos hidraulicamente inertes para atingir eficiência hídrica e evitar água parada;

- Os sistemas fitorremediadores são dimensionados para atender um determinado evento, selecionado de acordo com critérios de projeto, que permita a viabilidade espacial e financeira; ou seja, sempre deve-se prever um sistema reserva (backup), para caso de eventos acima do calculado ou crises;
- Por se tratar de um sistema natural, determinadas variáveis não podem ser controladas por ações antrópicas, o sistema depende de tempo para amadurecimento e deve respeitar a velocidade das reações simbióticas nas raízes;
- Os jardins filtrantes são sistemas naturais projetados para máximo aproveitamento, dessa maneira, não se pode cometer o equívoco de negligenciar a operação e manutenção por se tratar de uma solução baseada na natureza.

Os espaços verdes têm sido mais valorizados na paisagem urbana, sendo que, repensar a ocupação pós-industrial de maneira a recuperar solos e corpos hídricos contaminados é parte das metas de desenvolvimento sustentável. Porém essa abordagem não deve ser apenas uma resposta as pressões ambientais no meio urbano, e sim soluções integradas e desenvolvidas por uma equipe multidisciplinar que visam colaboração para o planejamento holístico.

A inovação em misturar plantas e soluções de tratamento dos recursos naturais poluídos permitem alternativas de desenho da paisagem urbana onde a questão estética, social e econômica pode ser considerada de maneira integrada. Nesse contexto, o arquiteto e urbanista tem em mãos ferramentas para criar um desenho inclusivo, socialmente integrado entre população e meio ambiente, ao mesmo tempo que a técnica de remediação baseada nas plantas cumpre sua função química e biológica. A infraestrutura verde se torna uma rede estratégica e multifuncional que conecta a cidade, sociedade e meio ambiente de maneira mitigatória.

Essa visão projetiva e antecipada do arquiteto, pode transformar os projetos de fitorremediação – que atualmente tem um caráter efêmero na aplicação por profissionais das áreas de engenharia, biologia e química, em projetos de reabilitação urbana, bem como

um planejamento de expansão das cidades em harmonia com as áreas verdes. O trabalho em equipe pretende preencher os déficits da área, contando com o conhecimento técnico de remediação, biologia e geoquímica e o caráter holístico do arquiteto, capacitado para integrar as frentes em um projeto com identidade social e paisagística.

Neste sentido, é fundamental que tais conceitos e práticas estejam presentes na formação dos arquitetos e urbanistas, seja no conteúdo atualizado das infraestruturas verdes, mas principalmente no trabalho integrado e estratégico com as demais disciplinas do campo da Arquitetura e Urbanismo, como o projeto arquitetônico, o planejamento urbano, a drenagem urbana, dentre outras.

O envolvimento do profissional de arquitetura e urbanismo é importante para recuperação completa da área de intervenção, caso contrário, é grande o risco da área tornar-se vulnerável mesmo depois da remediação. Com o envolvimento do arquiteto nos projetos de fitorremediação demais usos produtivos são integrados ao planejamento, tornando-o um projeto vitalício, com a fitorremediação como desenho final da paisagem.

REFERÊNCIAS

- AHERN, Jack F. 7 Principles of Sustainable Design. **American Nurseryman**, [s. l.], v. 208, n. 4, 2008.
- ALBERTI, Marina et al. Integrating Humans into Ecology: Opportunities and Challenges for Studying Urban Ecosystems. **BioScience**, [s. l.], v. 53, n. 12, p. 1169–1179, 2003.
- ANDRADE, Lisa Maria Souza De; ROMERO, Marta Adriana Bustos. Construção de indicadores de eficiência hídrica urbana: Desafio para gestão ambiental urbana. In: CHALLENGES OF URBANIZATION 2005, Brasília. **Anais...** . In: I INTERNACIONAL CONGRESS ON ENVIRONMENT PLANNING AND MANAGEMENT. Brasília: Paranoá: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, 2005.
- ANDRADE, Liza Maria Souza De; BLUMENSCHIEIN, Raquel Naves. Cidades sensíveis à água: cidades verdes ou cidades compactas, eis a questão? **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, [s. l.], n. 10, p. 59, 2013.
- ANDRADE, Liza Maria Souza; BLUMENSCHIEIN, Raquel Naves. A nova Ecologia da Cidade: uma conexão importante para a ciência do Desenho Urbano. In: APP URBANA 2014, Belém, Pará Brasil. **Anais...** . In: III SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE O TRATAMENTO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM MEIO URBANO E RESTRIÇÕES AMBIENTAIS AO PARCELAMENTO DO SOLO. Belém, Pará Brasil Disponível em: <<http://anpur.org.br/app-urbana-2014/anais/ARQUIVOS/GT1-289-95-20140530013207.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2017.
- ANDRADE, Liza Maria Souza de Souza. **Conexão dos padrões espaciais dos ecossistemas urbanos : a construção de um método com enfoque transdisciplinar para o processo de desenho urbano sensível à água no nível da comunidade e da paisagem**. 2014. Doutorado em Arquitetura e Urbanismo - Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/18042>>
- BASTOS, Francisco Suetônico; SPERLING, Marcos Von (EDS.). **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. 1ª Edição ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. v. Tema 2
- BONOMA, Thomas V. Case Research in Marketing: Opportunities, Problems, and a Process. **Journal of Marketing Research**, [s. l.], v. 22, n. 2, p. 199–208, 1985.
- BONZI, Ramón Stock. O ZONEAMENTO AMBIENTAL GEOMORFOLÓGICO COMO MÉTODO PARA PLANEJAR A INFRAESTRUTURA VERDE EM ÁREAS DENSAMENTE URBANIZADAS. **Revista LABVERDE**, [s. l.], v. 1, n. 10, p. 104, 2015.
- BRAGA, Eduardo Cardoso. Desenvolvimento sustentável: paradoxos e contradições. Em busca de um design ecocêntrico. In: ANAIS DO 2º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESIGN SUSTENTÁVEL (II SBDS) 2009, São Paulo. **Anais...** . In: 2º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESIGN SUSTENTÁVEL (II SBDS). São Paulo: Rede Brasil de Design Sustentável – RBDS, 2009.
- BRASIL, Mozart da Silva; MATOS, Antonio Teixeira De; SOARES, Antônio Alves. Plantio e desempenho fenológico da taboa (*Thypha sp.*) utilizada no tratamento de esgoto doméstico

em sistema alagado construído. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 266–272, 2007.

BRIX, Hans. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? **Water Science and Technology**, [s. l.], v. 35, n. 5, p. 11–17, 1997.

CAMPANA, Néstor A.; MENDIONDO, Eduardo M.; TUCCI, Carlos E. M. A multi-source approach to hydrologic parameter estimation in urban basins. **Water Science and Technology**, [s. l.], v. 32, n. 1, 1995. Disponível em: <<http://wst.iwaponline.com/content/32/1/233>>. Acesso em: 12 dez. 2017.

CAMPOS, José Roberto (ED.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. 1ª Edição ed. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos et al. **Águas pluviais : técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas**: Guia do Profissional em Treinamento. Belo Horizonte: ReCESA, 2007. Disponível em: <<http://nucase.desa.ufmg.br/wp-content/uploads/2013/08/APU-TCCU.2-e-3.pdf>>.

COOPER, P. et al. Design of a hybrid reed bed system to achieve complete nitrification and denitrification of domestic sewage. **Water Science and Technology**, [s. l.], v. 40, n. 3, p. 283–289, 1999. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0273122399004424>>. Acesso em: 22 jul. 2015.

CORMIER, Nathaniel S.; PELLEGRINO, Paulo Renato Mesquita. INFRA-ESTRUTURA VERDE: UMA ESTRATÉGIA PAISAGÍSTICA PARA A ÁGUA URBANA. **Paisagem Ambiente: ensaios**, [s. l.], v. 25, p. 125, 2008.

CORRÊA, Sonia; ALVES, José Eustáquio Diniz. As Metas de Desenvolvimento do Milênio: grandes limites, oportunidades estreitas? **Revista Brasileira de Estudos de População**, [s. l.], v. v. 22, n. n. 1, p. 177–189, 2005.

COSTA, Heloisa Soares de Moura. Desenvolvimento urbano sustentável: uma contradição de termos? **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, [s. l.], v. n. 2, p. 55–71, 1999.

COUTINHO, Leopoldo Magno. The biome concept. **Acta Botanica Brasilica**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 13–23, 2006.

DAHL, Thomas E. Wetlands losses in the United States, 1780's to 1980's. **Washington D.C.: U.S. Dept. of the Interior, Fish and Wildlife Service**, [s. l.], v. IV, p. 13, 1990.

DAVEY, Mary Ellen; O'TOOLE, George A. Microbial Biofilms: from Ecology to Molecular Genetics. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, [s. l.], v. 64, n. 4, p. 847–867, 2000.

DAVIS, Luise. **A Handbook of Constructed Wetlands** Washington, DC: U.S. G.P.O., Supt. of Docs, , 1994. Disponível em: <<http://water.epa.gov/type/wetlands/restore/upload/constructed-wetlands-handbook.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2015.

DE OLIVEIRA, Carlos José; DOS SANTOS, Madeleine Alves. Os Canais de Saturnino: documentário conta história de um projeto pioneiro. **Risco: Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (Online)**, [s. l.], n. 22, p. 120–133, 2016.

DEMANTOVA, Graziella; RUTKOWSKI, Emília Wanda. A sustentabilidade urbana: simbiose necessária entre a sustentabilidade ambiental e a sustentabilidade social. **Arquitextos**, [s. l.], v. n. 088.07, n. ano 08, 2007. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/08.088/210>>. Acesso em: 8 nov. 2015.

DORNELAS, Filipe Lima. **Avaliação do desempenho de wetlands horizontais subsuperficiais como pós-tratamento de efluentes de reatores UASB**. 2008. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2008.

EPA. **Subsurface Flow Constructed Wetlands For WasteWater Treatment** United States Environmental Agency, , 1993. Disponível em: <http://water.epa.gov/type/wetlands/restore/upload/2003_07_01_wetlands_pdf_sub.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2015.

EPSTEIN, Emanuel; BLOOM, Arnold J. **Nutrição Mineral de Plantas. Princípios e Perspectivas**. Edição: 2ª ed. Londrina: Planta, 2006.

FARR, Douglas. **Urbanismo Sustentável - Desenho Urbano Com A Natureza**. Tradução Alexandre Salvaterra. Brasil: Bookman, 2013.

FLORENCIO, Lourdinha; BASTOS, Rafael Kopschitz Xavier; AISSE, Miguel Mansur (EDS.). **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários**. 1ª Edição ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

FRISCHENBRUDER, Marisa T. Mamede; PELLEGRINO, Paulo. Using greenways to reclaim nature in Brazilian cities. **Landscape and urban planning**, [s. l.], v. 76, n. 1, p. 67–78, 2006.

GAUZIN-MÜLLER, Dominique; FAVET, Nicolas. **Sustainable architecture and urbanism: concepts, technologies, examples**. Basel ; Boston: Birkhauser, 2002.

GOODE, William; HATT, Paul. **Métodos em Pesquisa Social**. São Paulo: Cia Editora Nacional, 1967. v. 3 ed.

GRAEDEL, T. E.; ALLENBY, Braden R. **Industrial ecology**. 2nd ed ed. Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall, 2003.

GRANJA, Ariovaldo Denis; RUIZ, João Álvaro. Um mapeamento sistemático da literatura sobre a relação entre valor e colaboração na construção. In: 2013, Salvador. **Anais...** . In: 8º VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO. Salvador

HERZOG, Cecilia Polacow; ROSA, Lourdes Zunino. Infraestrutura verde: sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. **Revista Labverde**, [s. l.], p. 92–115, 2010. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/61281>>. Acesso em: 14 abr. 2015.

IGNATIEVA, Maria. Design and Future of Urban Biodiversity. In: MÜLLER, Norbert; WERNER, Peter; KELCEY, John G. (Eds.). **Urban Biodiversity and Design**. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2010. p. 118–144.

IWUGO, K. O.; ANDOH, R. Y. G.; FEEST, A. F. Cost-Effective Integrated Drainage and Wastewater Management Systems. **Water and Environment Journal**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 53–57, 2002.

JACOBS, Jane. **The Death and Life of Great American Cities**. New York: Random House, 1961.

KADLEC, Robert H.; KNIGHT, Robert L.; WALLACE, Scott. **Treatment wetlands**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1996.

KADLEC, Robert H.; WALLACE, Scott D. **Treatment wetlands**. 2nd ed ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2009.

LEITE, Carlos; AWAD, Juliana di Cesare Marques. **Cidades sustentáveis, cidades inteligentes: desenvolvimento sustentável num planeta urbano**. Porto Alegre, RS: Bookman, 2012.

LEPAGE, Ben A. (ED.). **Wetlands: integrating multidisciplinary concepts**. Dordrecht ; New York: Springer, 2011.

MAHLER, Julio Cesar da Matta e Andrade, Sílvia Roberto de Lucena Tavares, Cláudio Fernando; MATTA, Julio Cesar Da; TAVARES, Sílvia Roberto de Lucena. **Fitorremediação: O uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. [s.l.] : Oficina de Textos, 2007.

MARICATO, Ermínia. **Brasil, cidades: alternativas para a crise urbana**. Petrópolis: Editora Vozes, 2001.

MASI, Fabio. **Le Esperienze italiane nel settore della depurazione naturale**. Italia

MASI, Fabio. **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment**. Itália

MCCLINTOCK, Charles C.; BRANNON, Diane; MAYNARD-MOODY, Steven. Applying the Logic of Sample Surveys to Qualitative Case Studies: The Case Cluster Method. **Administrative Science Quarterly**, [s. l.], v. 24, n. 4, p. 612–629, 1983.

MCHARG, Ian L. **Design with nature**. 25th anniversary ed ed. New York Chichester Brisbane Toronto Singapore: John Wiley & Sons, Inc, 1992.

MENDES, Maria Estela Ribeiro; PINA, Silvia Mikami G. Phytoremediation: An Urban Landscape Strategy for Sustainable and Healthy Cities. In: SBDS + ISSD 2017 2017, Belo Horizonte, Brazil. **Anais...** . In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESIGN SUSTENTÁVEL (SBDS) AND THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE DESIGN (ISSD). Belo Horizonte, Brazil: Editora Blucher, 2017. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/26514>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

METCALF AND EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. New York: McGraw-Hill Education, 1991.

MIGUEZ, Marcelo Gomes; DE MAGALHAES, Luiz Paulo Canedo. Urban Flood Control, Simulation and Management - an Integrated Approach. In: PINA FILHO, Armando Carlos De; DE PI, Aloisio Carlos (Eds.). **Methods and Techniques in Urban Engineering**. [s.l.] : InTech, 2010.

MIGUEZ, Marcelo Gomes; VERÓL, Aline Pires; REZENDE, Osvaldo Moura. **Drenagem Urbana - do Projeto Tradicional À Sustentabilidade**. Brasil: Campus, 2016. Disponível em: <<https://www.saraiva.com.br/drenagem-urbana-do-projeto-tradicional-a-sustentabilidade-9212842.html>>. Acesso em: 19 out. 2017.

MILARÉ, Edis. **Direito do ambiente: a gestão ambiental em foco: doutrina, jurisprudência, glossário**. 7a. ed. rev., atualizada e reformulada ed. São Paulo, SP, Brasil: Editora Revista dos Tribunais, 2011.

MOITAS, Danielle. Estado e L'Oréal apresentam Centro de Pesquisa e Inovação. **Governo do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.rj.gov.br/web/imprensa/exibeconteudo?article-id=1138314>>

MOURA, Newton Celio Becker De. **Biorretenção: tecnologia ambiental urbana para manejo das águas de chuva**. 2014. text - Universidade de São Paulo, [s. l.], 2014. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16135/tde-30052014-104153/>>. Acesso em: 19 out. 2017.

NASCIMENTO, Nilo de Oliveira; BERTRAND-KRAJEWSKI, Jean-Luc; BRITTO, Ana Lúcia. Águas Urbanas e Urbanismo na passagem do século IXI ao XX. **Revista da Universidade Federal de Minas Gerais**, [s. l.], v. 20, n. 1, 2016.

PÁDUA, Valter Lúcio De (ED.). **Remoção de microorganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano**. 1ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. v. Tema 1

PAOLI, André Cordeiro De. **Análise de desempenho e comportamento de wetlands horizontais de fluxo subsuperficial baseado em modelos hidráulicos e cinéticos**. 2010. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/839M.PDF>>. Acesso em: 22 jul. 2015.

PICKETT, S. T. A.; CADENASSO, M. L.; MCGRATH, Brian (EDS.). **Resilience in Ecology and Urban Design**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013. v. 3 Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-94-007-5341-9>>. Acesso em: 29 fev. 2016.

PINHEIRO, Maitê Bueno. **Plantas para infraestrutura verde e o papel da vegetação no tratamento das águas urbanas de São Paulo: identificação de critérios para seleção de espécies**. 2017. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

POÇAS, Cristiane Dias et al. Panorama das macrófitas e substratos aplicados nos jardins filtrantes no Brasil. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE WETLANDS CONSTRUÍDOS 2017, Campo Grande, MS, Brasil. **Anais...** . In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE WETLANDS CONSTRUÍDOS. Campo Grande, MS, Brasil: Wetlands Brasil, 2017.

REZENDE, Osvaldo Moura. **Manejo sustentável de águas pluviais: uso de paisagens multifuncionais em drenagem urbana para controle das inundações**. 2010. Especialização em Engenharia Urbana - UFRJ/Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2010.

RIGHETTO, Antônio Marozzi (ED.). **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. 1ª Edição ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. v. Tema 4

SACHS, Jeffrey. **The age of sustainable development**. New York: Columbia University Press, 2015.

SCHIVARTCHE, Fabio. **Poluição urbana: as grandes cidades morrem, você pode salvá-las**. São Paulo, SP: Editora Terceiro Nome : Mostarda Editora, 2005.

SCHUELER, Thomas R.; BOARD, Metropolitan Washington Water Resources Planning. **Controlling urban runoff : a practical manual for planning and designing urban BMPs**. [s.l.] : Washington, D.C. (1875 Eye St., N.W., Suite 200, Washington 20006) : Order copies from, Metropolitan Information Center, 1987. Disponível em: <<http://trove.nla.gov.au/version/21200326>>. Acesso em: 19 out. 2017.

SEZERINO, Pablo Heleno et al. Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 151–158, 2015.

SILVA, Keli de Oliveira. A periferização causada pela desigual urbanização brasileira. **Revista Urutágua**, [s. l.], v. 11, p. 10, 2007.

SILVESTRE, A.; PEDRO-DE-JESUS, M. **Tratamento de Águas Residuais Domésticas em Zonas Húmidas Artificiais**. 2002. Monografia de Final de Curso - Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Biológica e Química, [s. l.], 2002.

SPIRN, Anne Whiston. **The language of landscape**. New Haven, Conn.: Yale University Press, 2000.

SPIRN, Anne Whiston. Ecological urbanism: a framework for the design of resilient cities. In: **Resilience in Ecology and Urban Design**. Massachusetts: Springer Verlag, 2011.

TODD, Leila Fazel. **Phytoremediation: An Interim Landscape Architecture Strategy For Canadian Municipalities**. 2013. Dissertação de Mestrado - University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada, 2013.

TODD, Leila Fazel; LANDMAN, Karen; KELLY, Sean. Phytoremediation: An interim landscape architecture strategy to improve accessibility of contaminated vacant lands in Canadian municipalities. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s. l.], v. 18, n. Supplement C, p. 242–256, 2016.

TOMAZ, Plínio. Capítulo 32 - Rain Garden. In: **Poluição Difusa II**. [s.l.] : Livro Digital, 2008. p. 9.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Águas urbanas. **Estudos avançados**, [s. l.], v. 22, n. 63, p. 97–112, 2008.

VALLESE, Giustino; ZAZZERO, Ester. **Rijeka/Pescara: progettare la città sostenibile**. Pescara: Sala, 2012.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. v. 1

VYMAZAL, Jan. Types of constructed wetlands for wastewater treatment. In: 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WETLANDS SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL 1998, **Anais...** [s.l: s.n.]

VYMAZAL, Jan. **Wastewater treatment in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow**. New York: Springer, 2008.

WANG, David; GROAT, Linda N. **Architectural research methods /: David Wang, Linda N. Groat**. Second Edition ed. Hoboken: Wiley, 2013.

WU, Jianguo. Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], v. 125, p. 209–221, 2014.

YIN, Robert K. **Case Study Research: Design and Methods**. Fifth Edition edition ed. Los Angeles: SAGE Publications, Inc, 2013.

YU, Kongjian; PADUA, Mary G. China's cosmetic cities: Urban fever and superficiality. **Landscape Research**, [s. l.], v. 32, n. 2, p. 255–272, 2007.

APÊNDICES

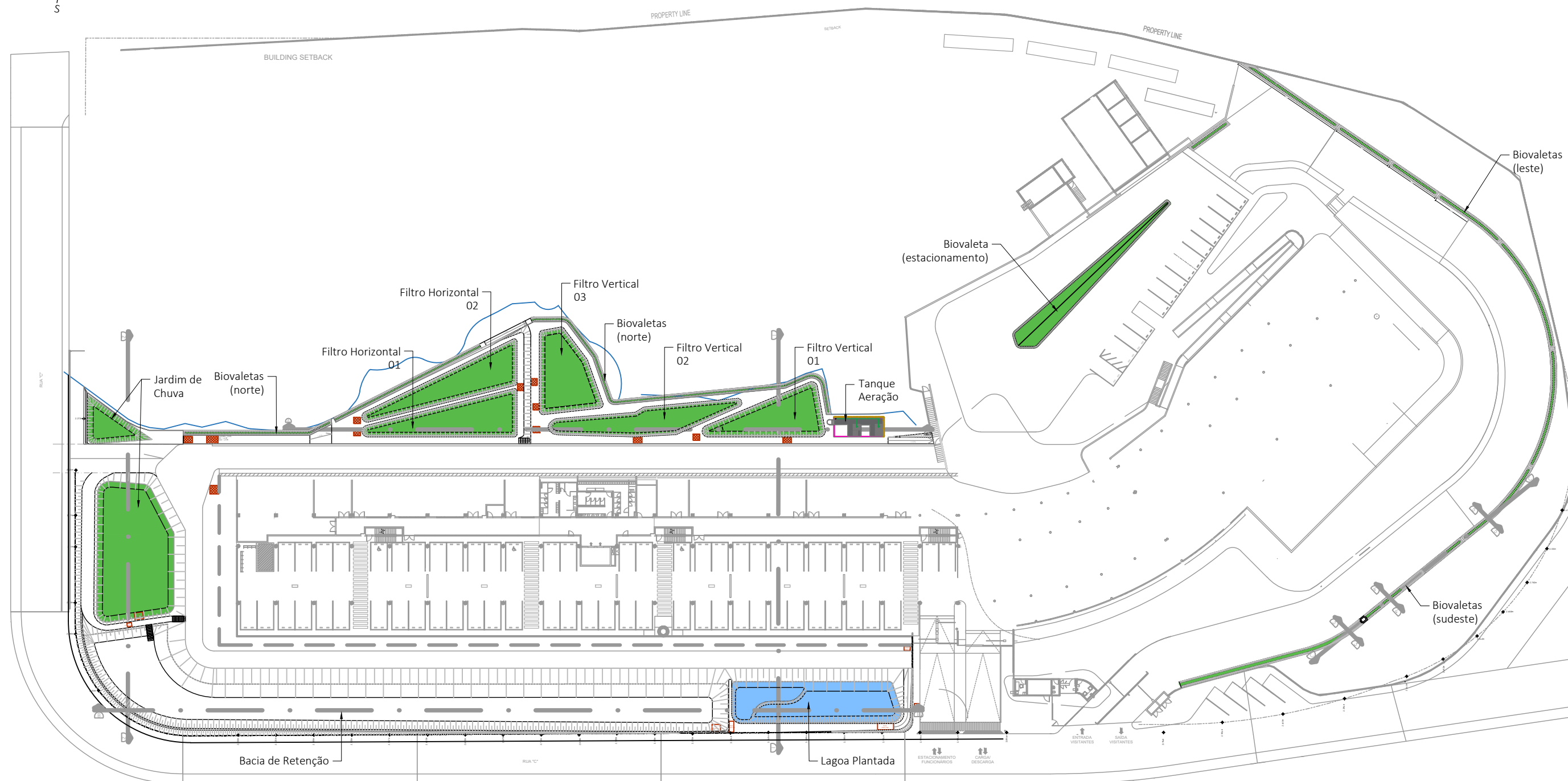
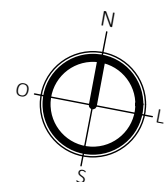
Apêndice A. Implantação infraestrutura verde.....	208
Apêndice B. Cortes longitudinais.....	209
Apêndice C. Cortes transversais e detalhes impermeabilização.....	210
Apêndice D. Instalações hidráulicas: tanque de aeração e filtro vertical.....	211
Apêndice E. Instalações hidráulicas: filtro horizontal e biovaleta.....	212
Apêndice F. Instalações hidráulicas: jardim de chuva.....	213
Apêndice G. Instalações hidráulicas: bacia de retenção e lagoa plantada.....	214
Apêndice H 8. Instalações hidráulicas: detalhes.....	215
Apêndice I. Planta de plantio: macrófitas.....	216



Aluna: Maria Estela Ribeiro Mendes

Orientadora: Profª. Dra. Sílvia Aparecida Mikami G. Pina

ESTUDO DE CASO: Centro de Pesquisa & Inovação – Rio de Janeiro/RJ

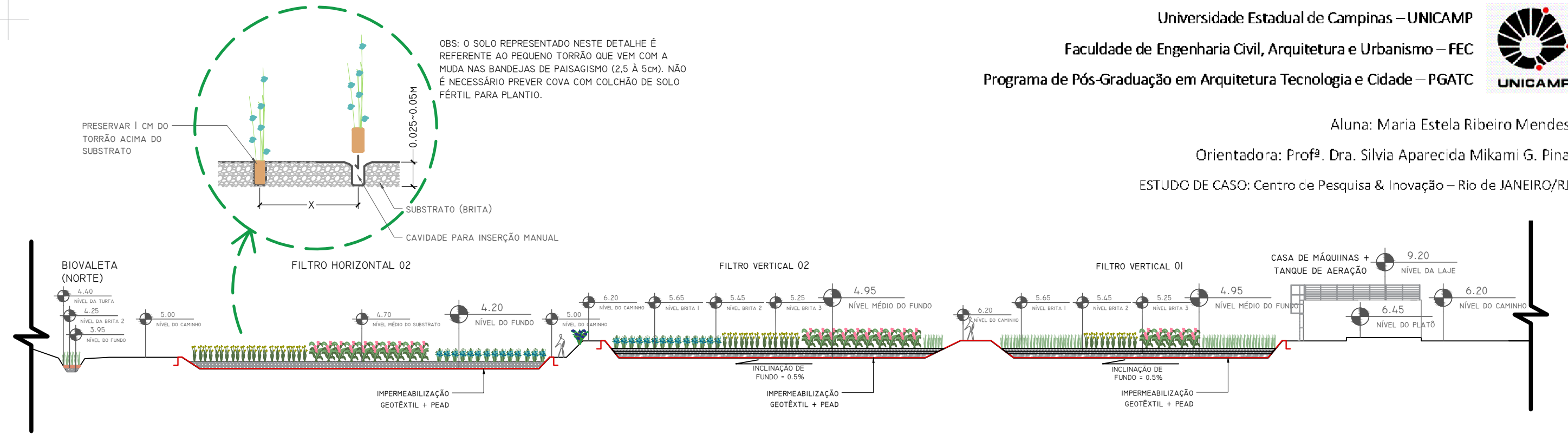


IMPLANTAÇÃO INFRAESTRUTURA VERDE
ESCALA 1:750

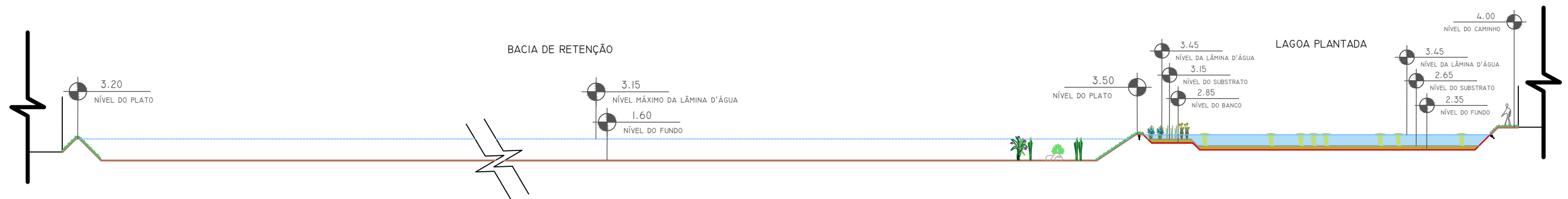
Aluna: Maria Estela Ribeiro Mendes

Orientadora: Profª. Dra. Sílvia Aparecida Mikami G. Pina

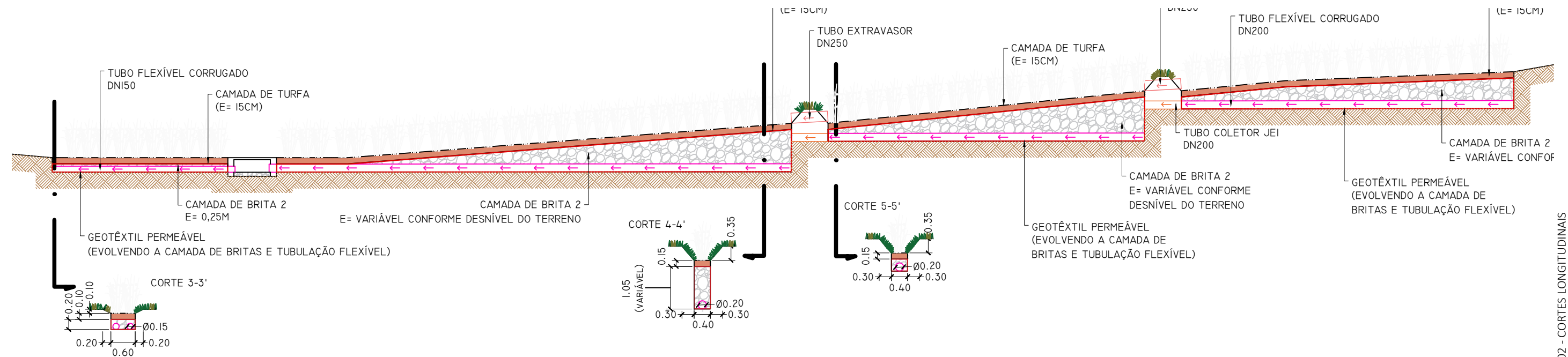
ESTUDO DE CASO: Centro de Pesquisa & Inovação – Rio de JANEIRO/RJ



CORTE LONGITUDINAL A-A'
ESCALA 1:300



CORTE LONGITUDINAL B-B'
ESCALA 1:300



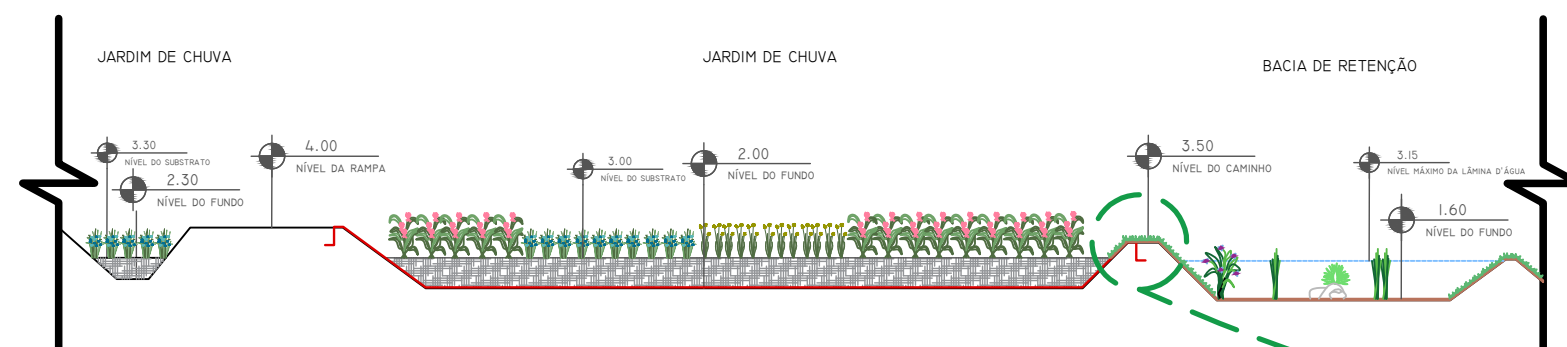
CORTE LONGITUDINAL C-C'
ESCALA 1:100



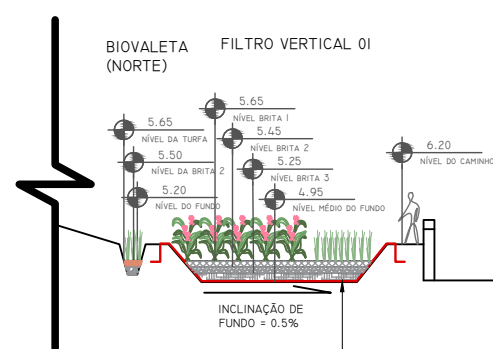
Aluna: Maria Estela Ribeiro Mendes

Orientadora: Profª. Dra. Sílvia Aparecida Mikami G. Pina

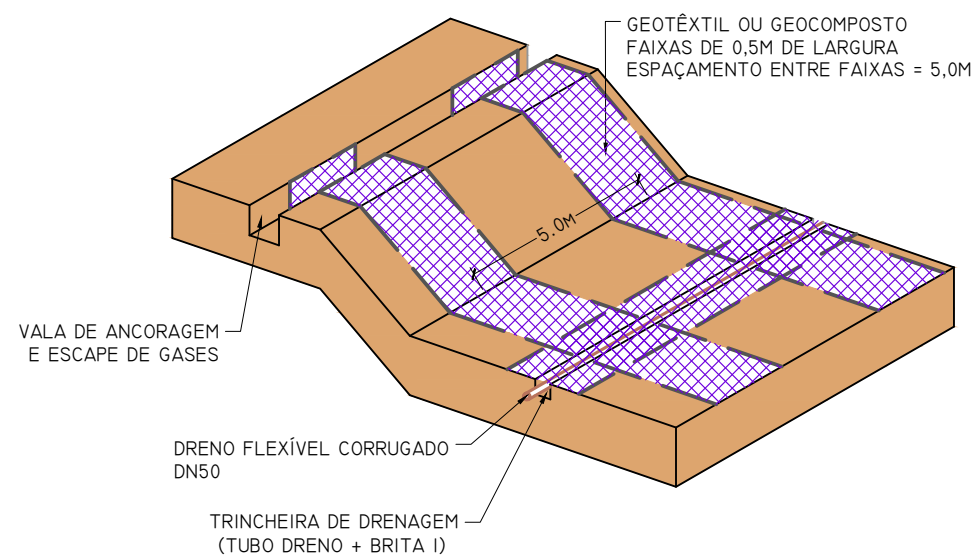
ESTUDO DE CASO: Centro de Pesquisa & Inovação – Rio de Janeiro/RJ



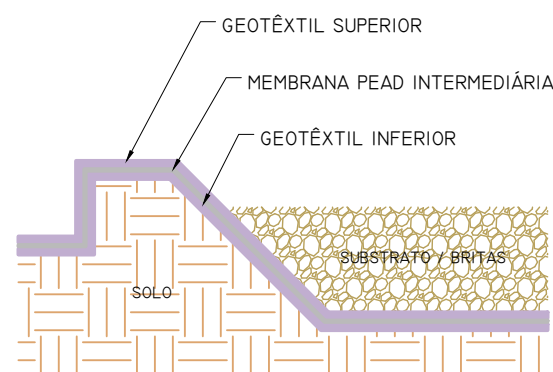
CORTE TRANSVERSAL 2-2'
ESCALA 1:250



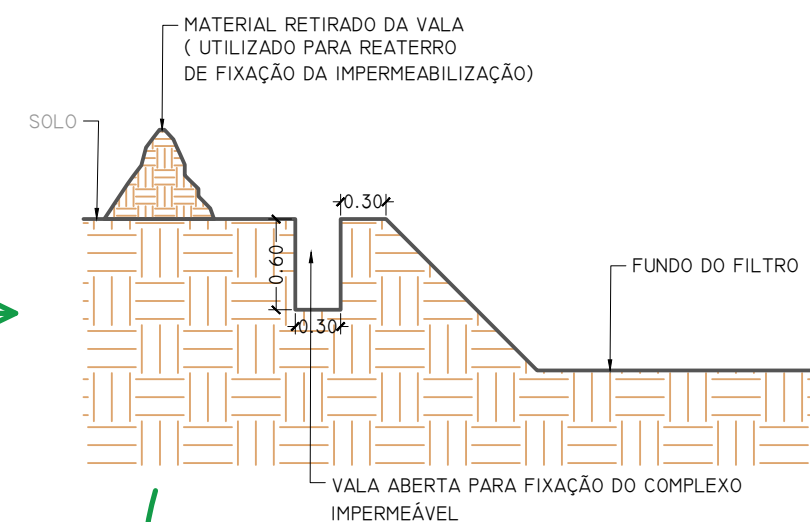
CORTE TRANSVERSAL 1-1'
ESCALA 1:250



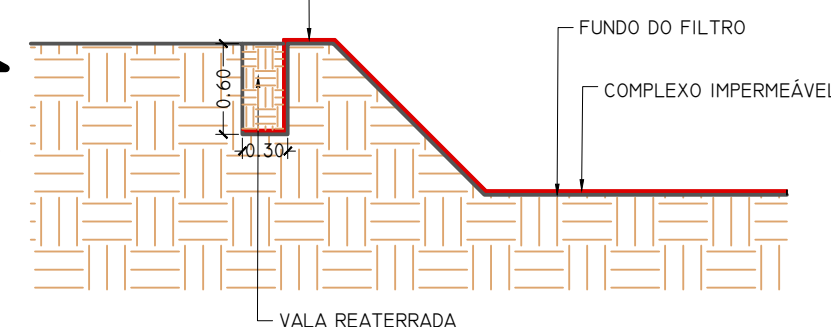
DETALHE - INSTALAÇÃO DRENO TESTEMUNHO
SEM ESCALA



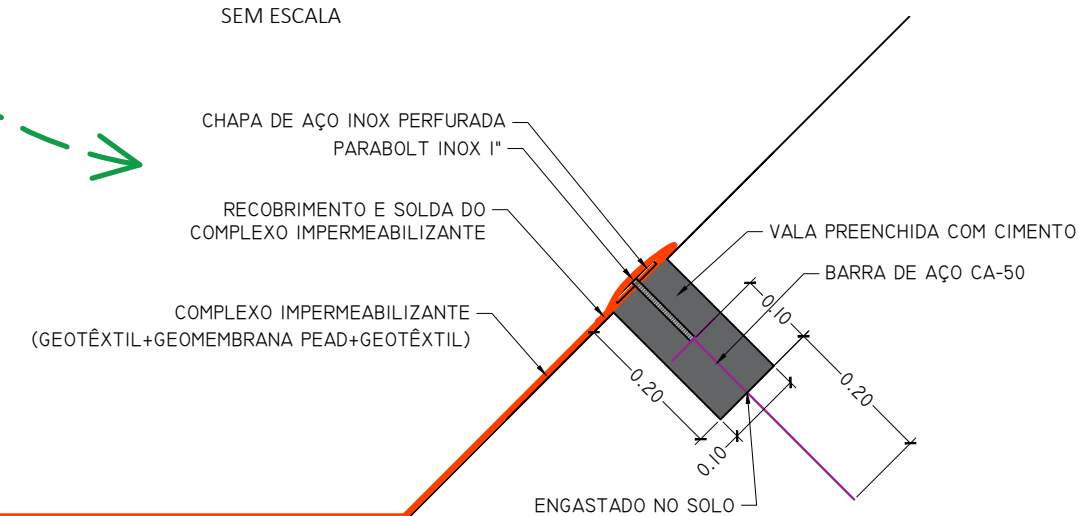
DETALHE - MANTAS IMPERMEABILIZAÇÃO
SEM ESCALA



1. O COMPLEXO IMPERMEÁVEL RECOBRE A PAREDE E O FUNDO DA VALA.
2. O SOLO É RECOLOCADO E COMPACTADO COM PRANCHA VIBRATÓRIA PARA FIXAR A COMPOSIÇÃO.



DETALHES - TÉCNICAS DE FIXAÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO
SEM ESCALA



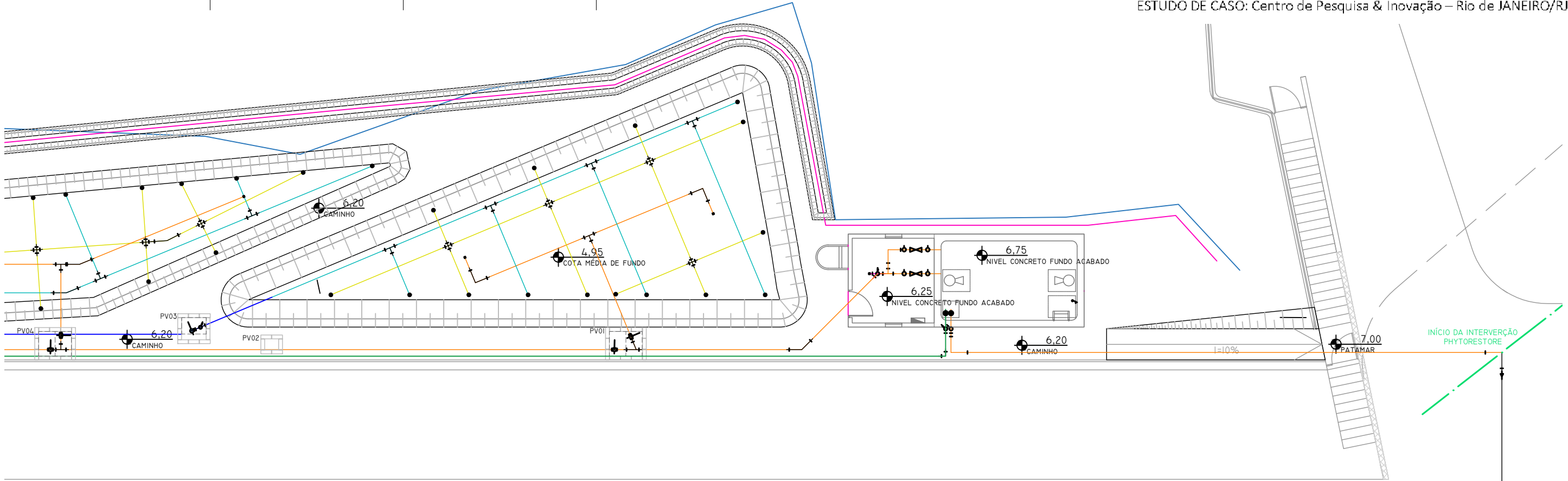


Aluna: Maria Estela Ribeiro Mendes

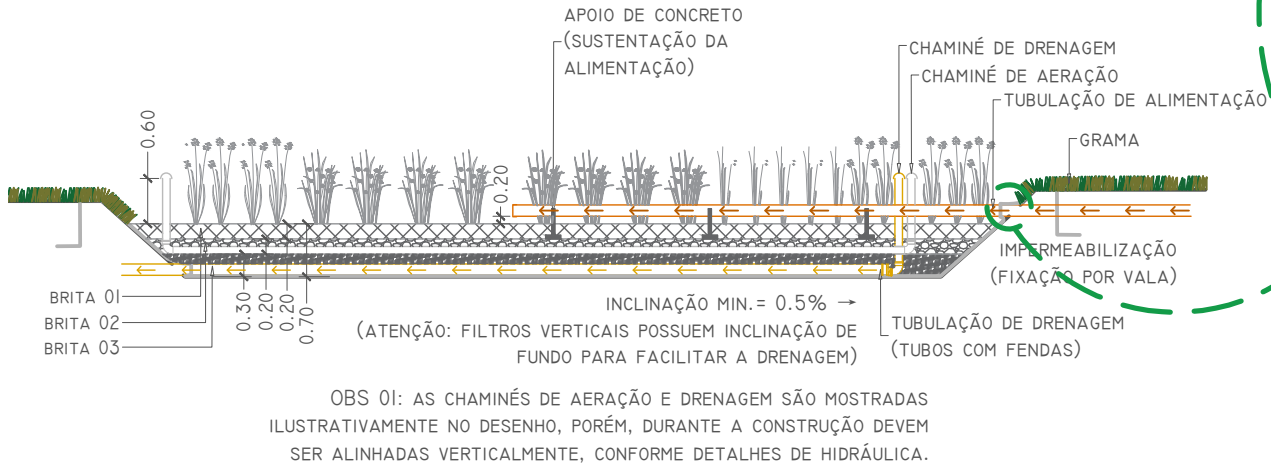
Orientadora: Profª. Dra. Sílvia Aparecida Mikami G. Pina

ESTUDO DE CASO: Centro de Pesquisa & Inovação – Rio de Janeiro/RJ

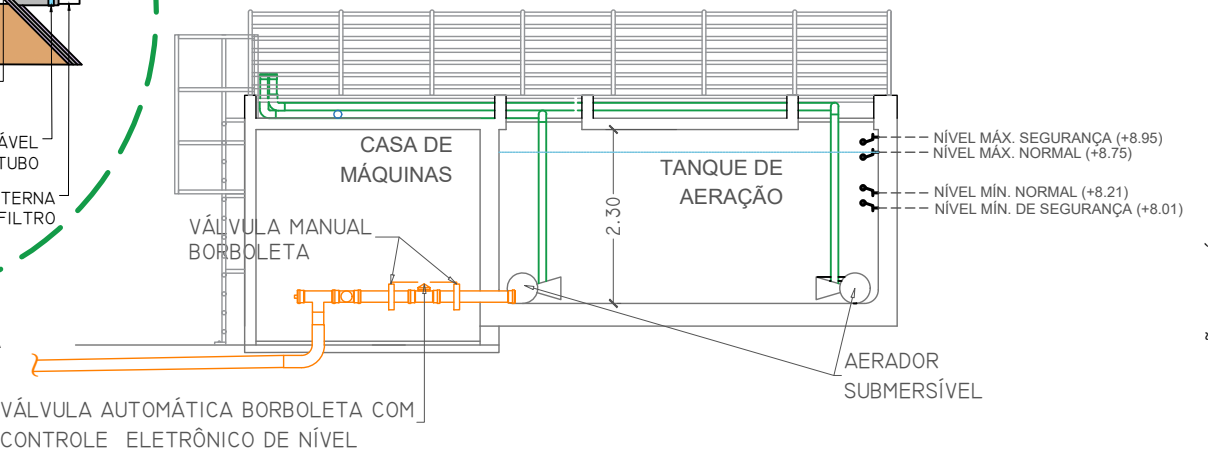
$\varnothing 200$ TUBO COLETOR ESGOTO JEI	$\varnothing 150$ TUBO COLETOR ESGOTO JEI	$\varnothing 150$ TUBO COLETOR ESGOTO JEI COM RASGOS	$\varnothing 100$ TUBO COLETOR ESGOTO JEI COM RASGOS
$\varnothing 250$ TUBO COLETOR ESGOTO JEI	$\varnothing 150$ TUBO COLETOR ESGOTO JEI	$\varnothing 200 / 150$ DRENO FLEXÍVEL CORRUGADO	$\varnothing 100$ TUBO PARA ESGOTO PRESSURIZADO



PLANTA DE INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS - TANQUE DE AERAÇÃO E FILTRO VERTICAL 1
ESCALA 1:150



DETALHE - FIXAÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO NO TUBO PVC
SEM ESCALA



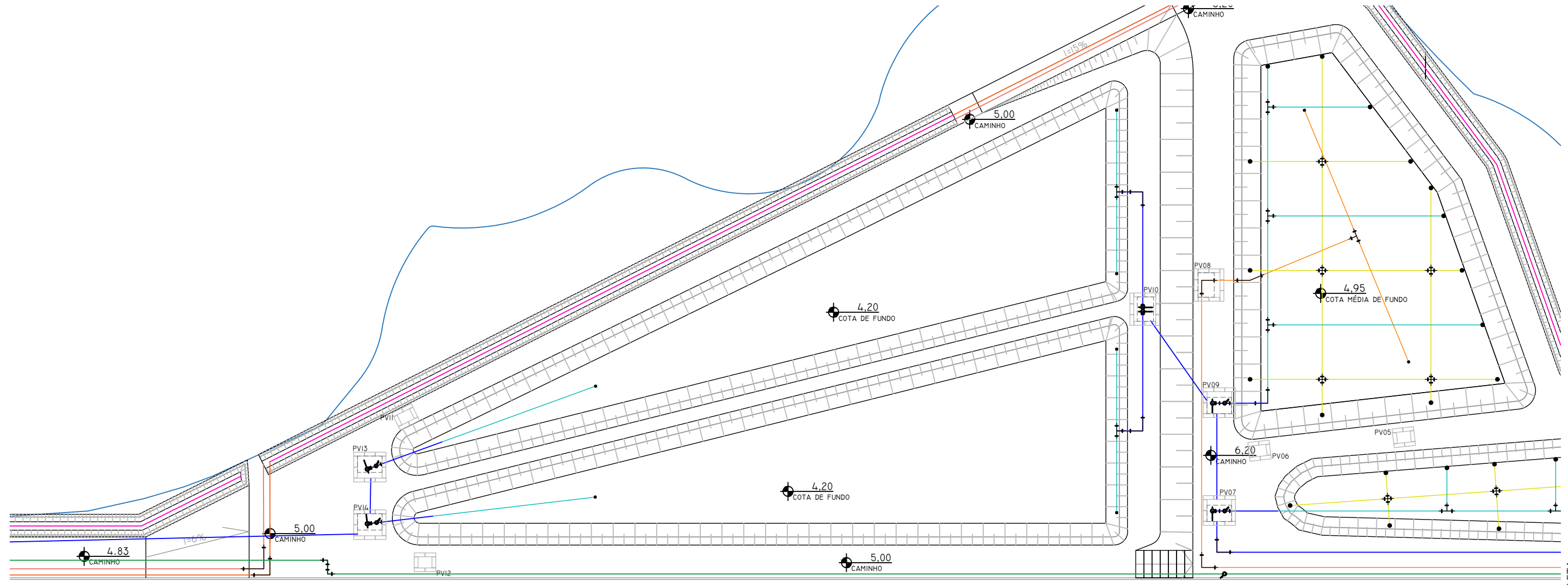


$\varnothing 200$ TUBO COLETOR ESGOTO JEI	$\varnothing 150$ TUBO COLETOR ESGOTO JEI	$\varnothing 150$ TUBO COLETOR ESGOTO JEI COM RASGOS	$\varnothing 100$ TUBO COLETOR ESGOTO JEI COM RASGOS
$\varnothing 250$ TUBO COLETOR ESGOTO JEI	$\varnothing 150$ TUBO COLETOR ESGOTO JEI	$\varnothing 200 / 150$ DRENO FLEXÍVEL CORRUGADO	$\varnothing 100$ TUBO PARA ESGOTO PRESSURIZADO

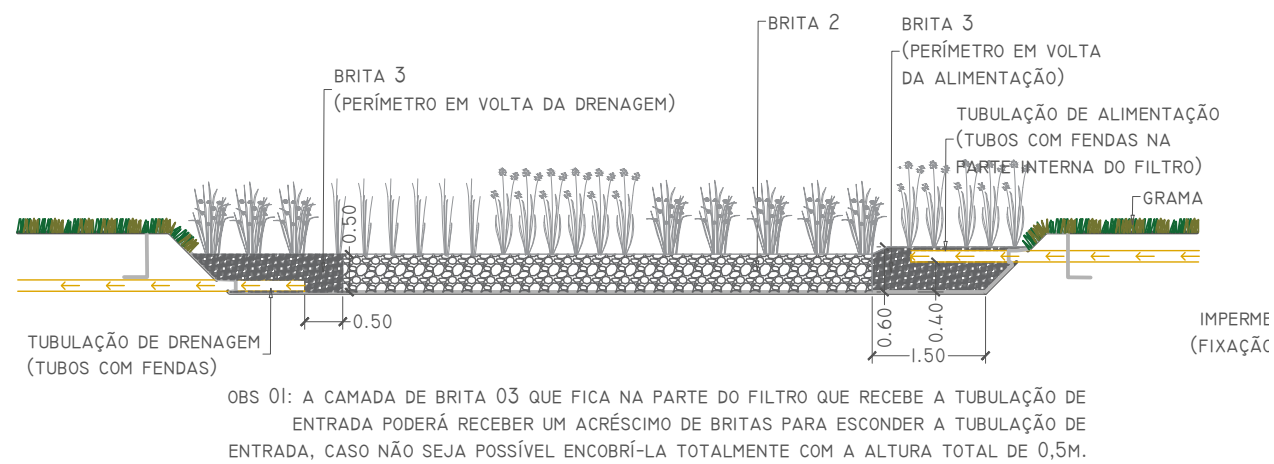
Aluna: Maria Estela Ribeiro Mendes

Orientadora: Profª. Dra. Sílvia Aparecida Mikami G. Pina

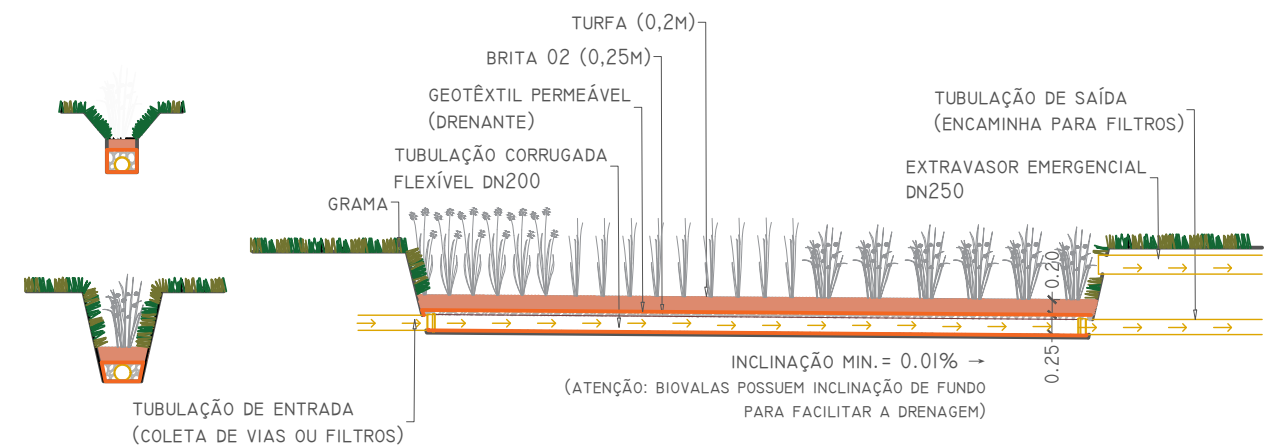
ESTUDO DE CASO: Centro de Pesquisa & Inovação – Rio de JANEIRO/RJ



PLANTA DE INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS - FILTROS HORIZONTAIS E BIOVALETA NORTE
ESCALA 1:150



SEÇÃO LONGITUDINAL DO FILTRO HORIZONTAL
ESCALA 1:100

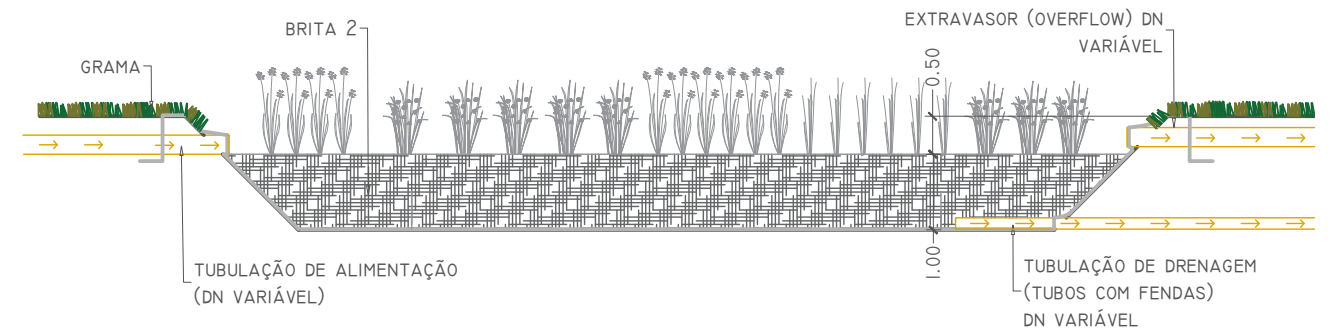


SEÇÃO LONGITUDINAL E TRANSVERSAIS DA BIOVALETA
ESCALA 1:100

Aluna: Maria Estela Ribeiro Mendes

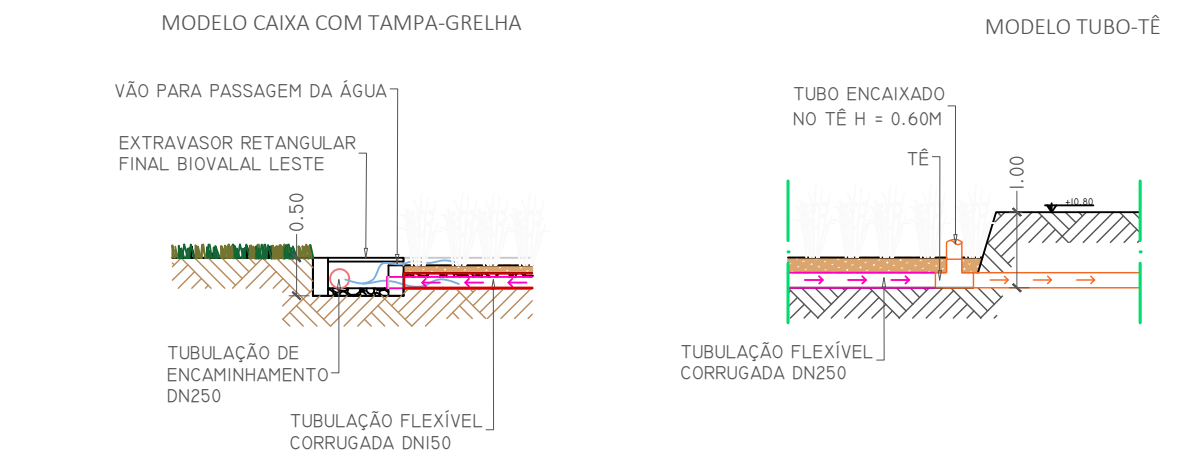
Orientadora: Profª. Dra. Sílvia Aparecida Mikami G. Pina

ESTUDO DE CASO: Centro de Pesquisa & Inovação – Rio de JANEIRO/RJ

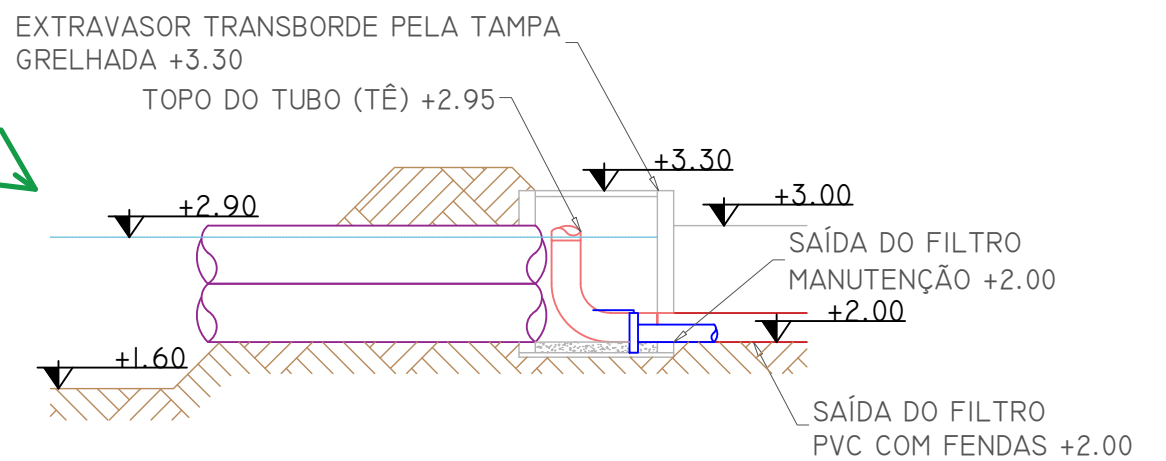


OBS 01: A CAMADA DE BRITA 02 PODERÁ RECEBER UM ACRÉSCIMO DE BRITAS PARA ESCONDER A TUBULAÇÃO DE ENTRADA, CASO NÃO SEJA POSSÍVEL ENCOBRÍ-LA TOTALMENTE COM A ALTURA TOTAL DE 0,5M.

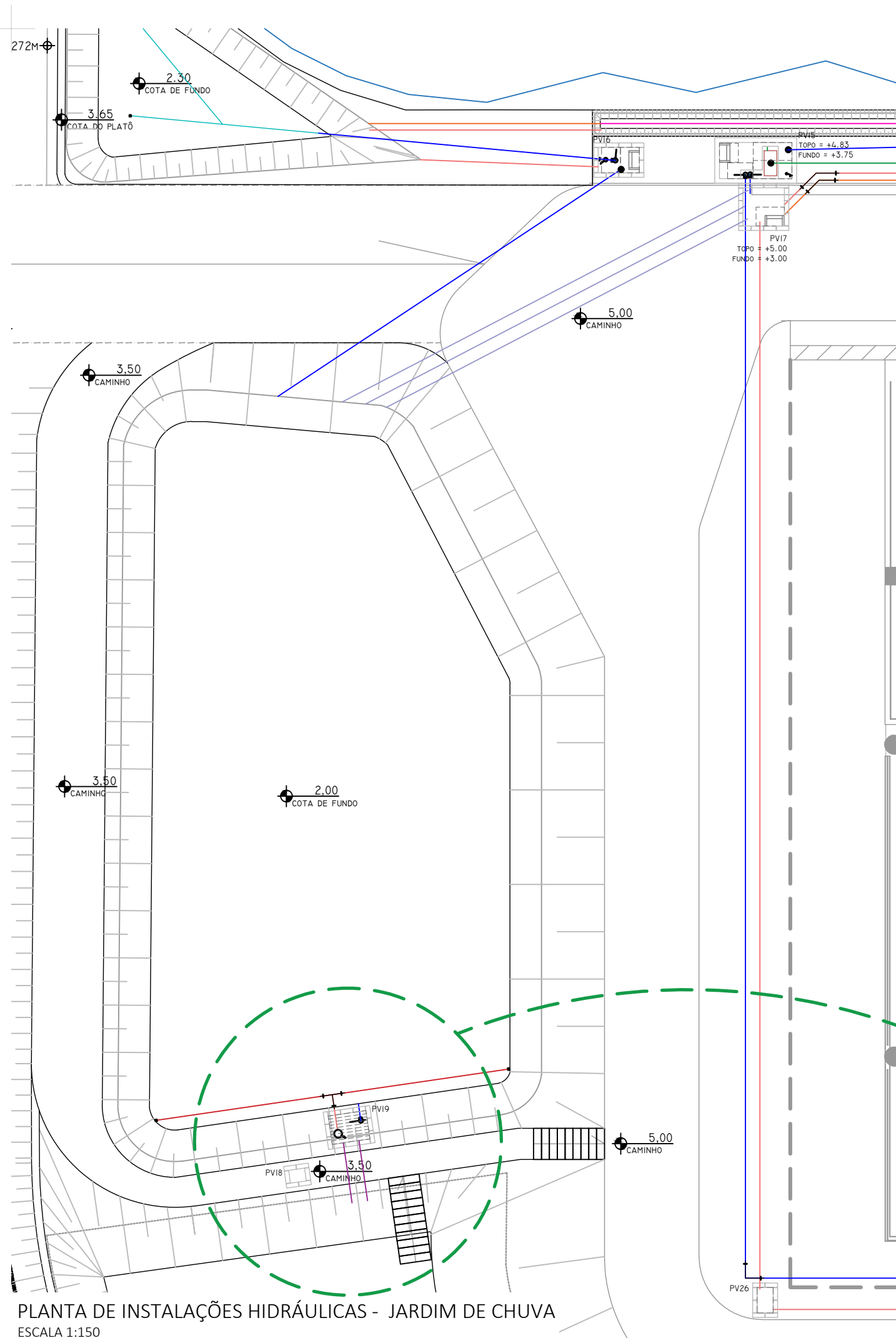
SEÇÃO LONGITUDINAL DO JARDIM DE CHUVA
ESCALA 1:100



DETALHE - EXTRAVASOR BIOVALETA ("bverflow")
ESCALA 1:100

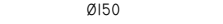
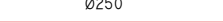
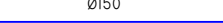
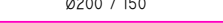


DETALHE - EXTRAVASOR JARDIM DE CHUVA ("bverflow")
ESCALA 1:100

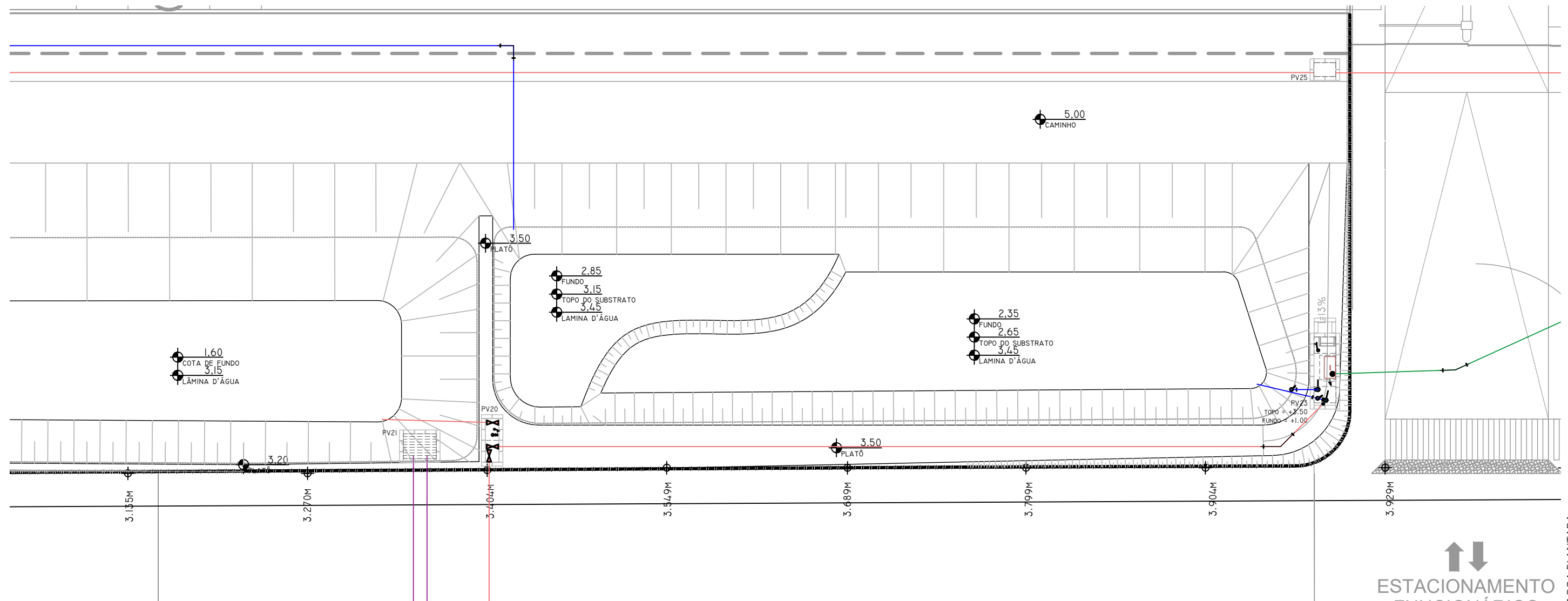


PLANTA DE INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS - JARDIM DE CHUVA
ESCALA 1:150

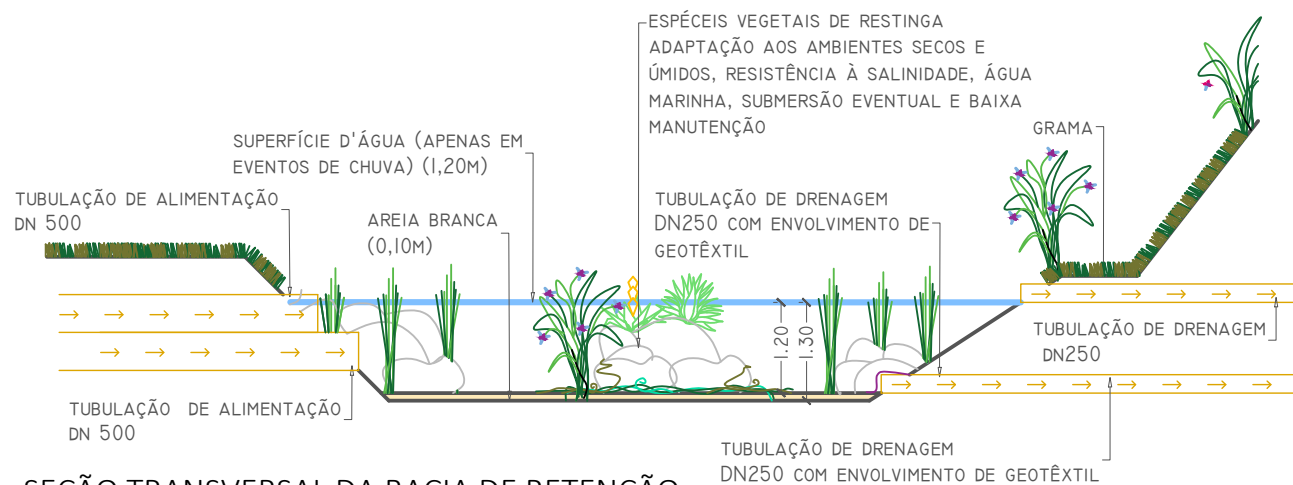


 Ø200 TUBO COLETOR ESGOTO JEI	 Ø150 TUBO COLETOR ESGOTO JEI	 Ø150 TUBO COLETOR ESGOTO JEI COM RASGOS	 Ø100 TUBO COLETOR ESGOTO JEI COM RASGOS
 Ø250 TUBO COLETOR ESGOTO JEI	 Ø150 TUBO COLETOR ESGOTO JEI	 Ø200 / 150 DRENO FLEXÍVEL CORRUGADO	 Ø100 TUBO PARA ESGOTO PRESSURIZADO

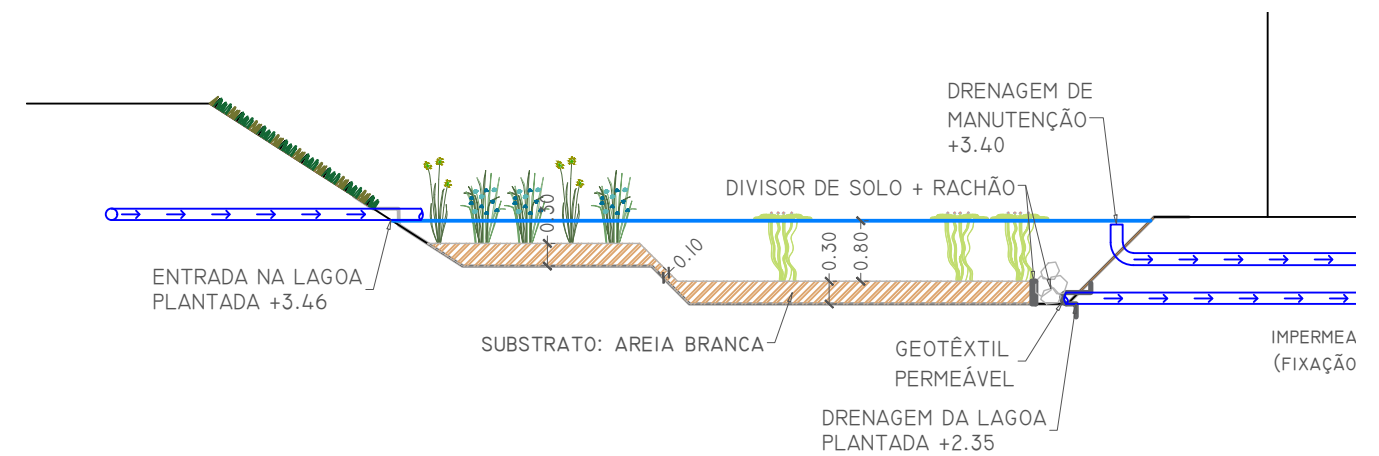
Aluna: Maria Estela Ribeiro Mendes
Orientadora: Profª. Dra. Sílvia Aparecida Mikami G. Pina
ESTUDO DE CASO: Centro de Pesquisa & Inovação – Rio de JANEIRO/RJ



PLANTA DE INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS - BACIA DE RETENÇÃO E LAGOA PLANTADA
ESCALA 1:150



SEÇÃO TRANSVERSAL DA BACIA DE RETENÇÃO
ESCALA 1:100



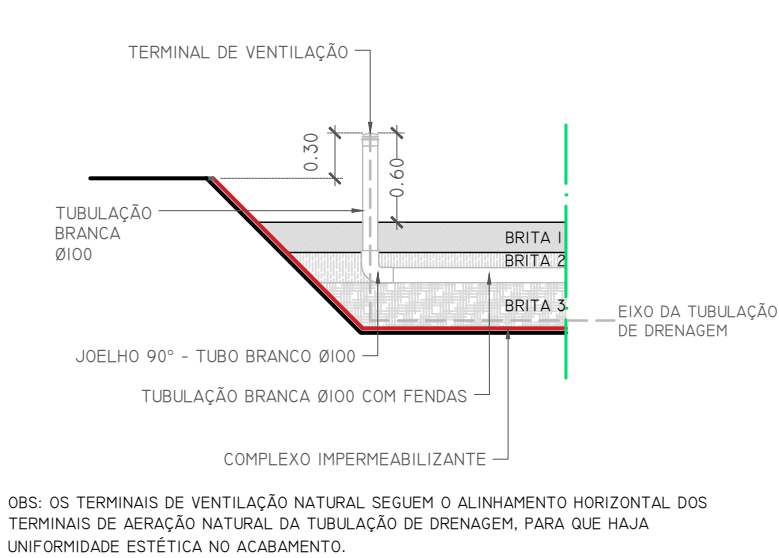
SEÇÃO TRANSVERSAL DA LAGOA PLANTADA
ESCALA 1:100



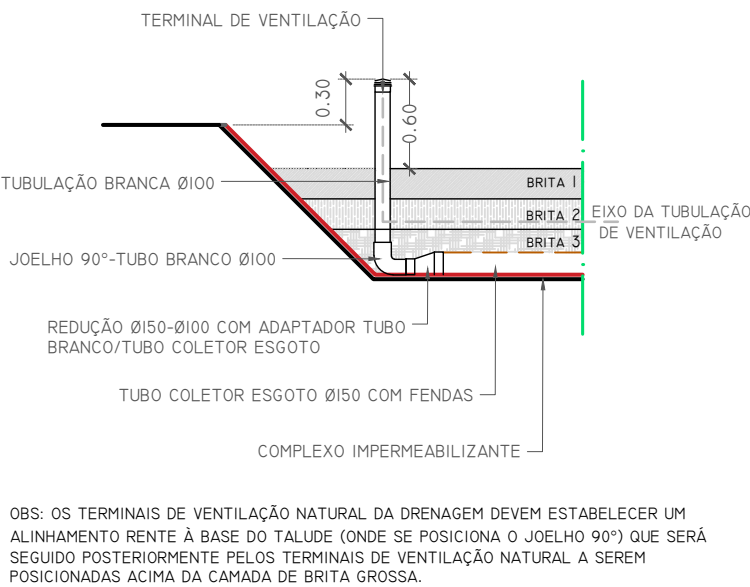
Aluna: Maria Estela Ribeiro Mendes

Orientadora: Profª. Dra. Sílvia Aparecida Mikami G. Pina

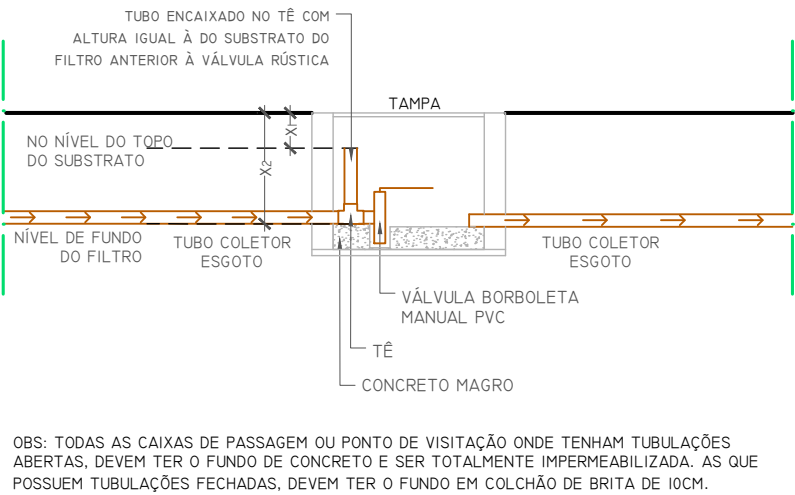
ESTUDO DE CASO: Centro de Pesquisa & Inovação – Rio de JANEIRO/RJ



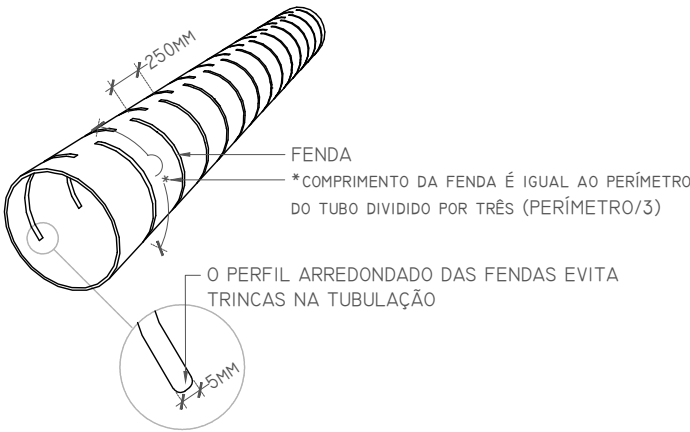
DETALHE - TUBO DE AERAÇÃO
SEM ESCALA



DETALHE - TUBO DE DRENAGEM COM AERAÇÃO
SEM ESCALA

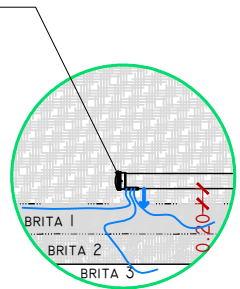


DETALHE - DRENAGEM DOS JARDINS FILTRANTES
SEM ESCALA

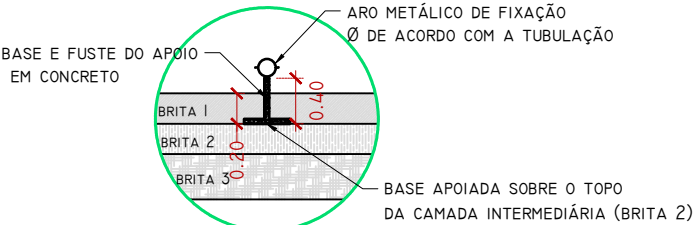


DETALHE - RASGOS DO TUBO DE DRENAGEM
SEM ESCALA

FINAL DA TUBULAÇÃO DE ALIMENTAÇÃO PROTEGIDA COM CAP PARA BARRAR O FLUXO DO EFLENTE, A ALIMENTAÇÃO SERÁ FEITA ATRAVÉS DA EXECUÇÃO DE UM ORIFÍCIO DE DN150 (IGUAL AO DA TUBULAÇÃO) NA PARTE INFERIOR DA TUBULAÇÃO, CONFORME INDICADO.



DETALHE - TUBO DE ALIMENTAÇÃO
SEM ESCALA



OBS: OS APOIOS DE SUSTENTAÇÃO DA TUBULAÇÃO DE ALIMENTAÇÃO DOS FILTROS VERTICAIS SÃO DISPOSTOS EM TODAS AS CONEXÕES E QUANDO EM TRECHOS RETOS COM NÃO MAIS DE 3,0M DE ESPAÇAMENTO OU EM ÚLTIMO CASO, CONFORME NECESSIDADE NA OBRA COM ORIENTAÇÃO ESPECÍFICA.

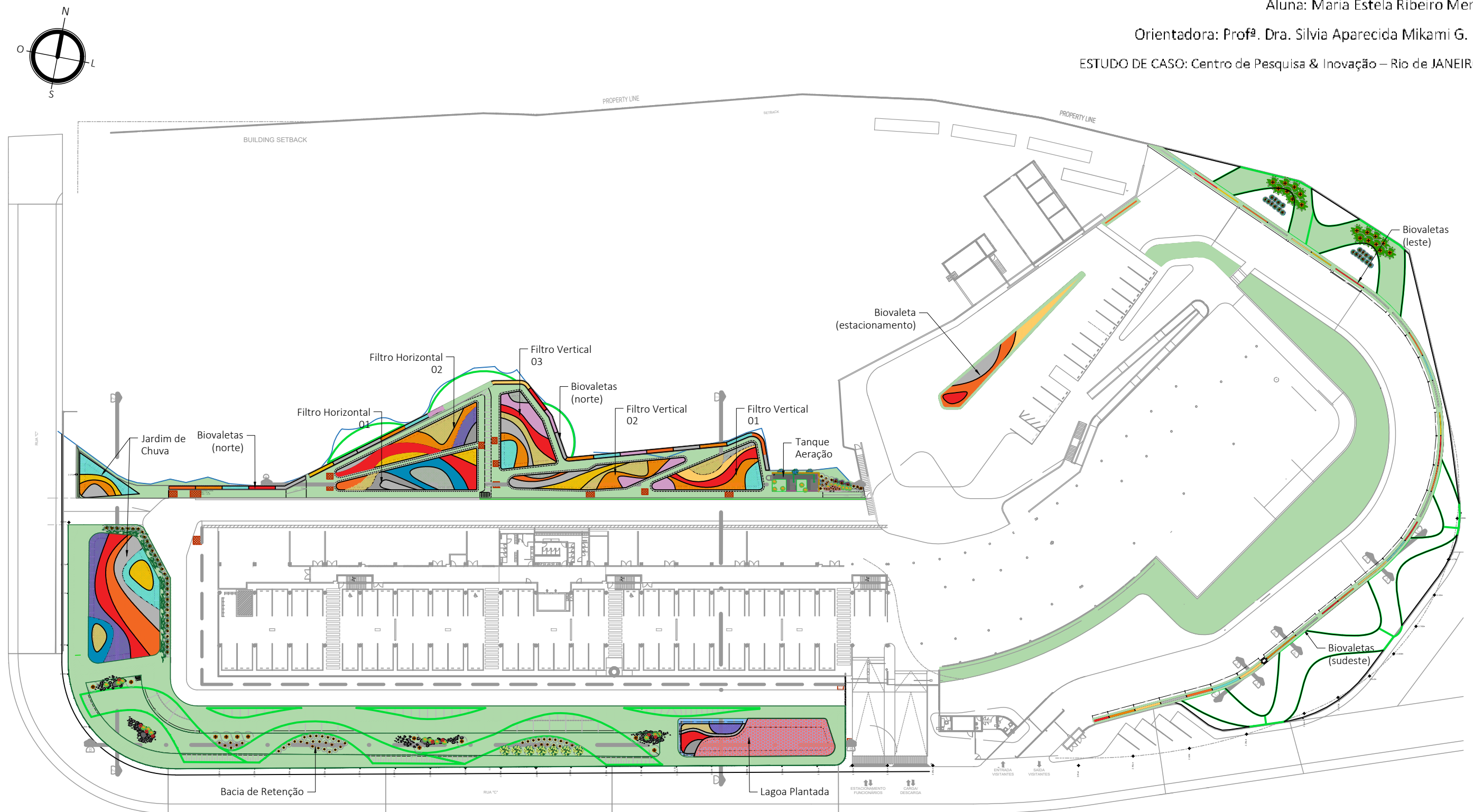
DETALHE - SUPORTE DO TUBO DE ALIMENTAÇÃO
SEM ESCALA



Aluna: Maria Estela Ribeiro Mendes

Orientadora: Profª. Dra. Sílvia Aparecida Mikami G. Pina

ESTUDO DE CASO: Centro de Pesquisa & Inovação – Rio de Janeiro/RJ



PLANTA DE PLANTIO - MACRÓFITAS
ESCALA 1:750

- | | | |
|---|---|--|
| ● Capim-rabo-de-burro (<i>Andropogon bicornis</i>) | ● Cavalinha (<i>Equisetum giganteum</i>) | ● Aguapé-rainha (<i>Pontederia cordata</i>) |
| ● Beri (<i>Canna generalis</i> var. <i>rosa</i> , vermelha, amarela) | ● Helicônia-papagaio (<i>Heliconia psittacorum</i>) | ● Aguapé-branco (<i>Pontederia parviflora</i>) |
| ● Papiro-brasileiro (<i>Cyperus giganteus</i>) | ● Bananeira-do-brejo (<i>Heliconia rostrata</i>) | ● Tália (<i>Thalia geniculata</i>) |
| ● Chapéu-de-couro (<i>Echinodorus macrophyllus</i>) | ● Muréré (<i>Limnocharis flava</i>) | ● Lírio d'água (<i>Nymphaea</i> spp.) |